Identifikacija utjecaja odlagališta Jakuševec - Prudinec na podzemne vode zagrebačkog vodonosnika

Vasiljević, Ratko

Doctoral thesis / Disertacija

2012

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:023447

Rights / Prava: Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Ratko Vasiljević

IDENTIFIKACIJA UTJECAJA ODLAGALIŠTA JAKUŠEVEC – PRUDINEC NA PODZEMNE VODE ZAGREBAČKOGA VODONOSNIKA

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2012.

University of Zagreb

FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND PETROLEUM ENGINEERING

Ratko Vasiljević

IDENTIFICATION OF JAKUŠEVEC–PRUDINEC LANDFILL IMPACT TO GROUNDWATER OF ZAGREB AQUIFER

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2012.

Sveučilište u Zagrebu

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Ratko Vasiljević

IDENTIFIKACIJA UTJECAJA ODLAGALIŠTA JAKUŠEVEC – PRUDINEC NA PODZEMNE VODE ZAGREBAČKOGA VODONOSNIKA

DOKTORSKI RAD

Mentor: Prof.dr.sc. Kristijan Posavec

Zagreb, 2012.

University of Zagreb

FACULTY OF MINING, GEOLOGY AND PETROLEUM ENGINEERING

Ratko Vasiljević

IDENTIFICATION OF JAKUŠEVEC–PRUDINEC LANDFILL IMPACT TO GROUNDWATER OF ZAGREB AQUIFER

DOCTORAL THESIS

Supervisor: Prof.dr.sc. Kristijan Posavec

Zagreb, 2012.

Doktorska disertacija je izrađena u Zavodu za geologiju i geološko inženjerstvo, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor: dr. sc. Kristijan Posavec, izvanredni profesor Rudarsko – geološko – naftnog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu.

Doktorska disertacija ima: 173 stranica teksta, 118 slika, 16 Tablica i 129 Literaturnih navoda od kojih su, 74 objavljena rada, 36 radova iz fonda stručne dokumentacije, 12 standarda i pravilnika i 7 web stranica.

Z A H V A L A

Zadovoljstvo mi je zahvaliti svima koji su pripomogli u izradi disertacije. Zahvaljujem voditelju prof. dr. sc. Kristijanu Posavcu koji mi je pomogao u određivanju ciljeva te odabiru odgovarajućih analitičkih metoda. Zahvaljujem članovima odbora i komisije na čitanju rukopisa i pomoći pri oblikovanju rada. Kolegama iz tvrtke ECOINA, d.o.o. na nesebičnoj podršci. Također zahvaljujem djelatnicima Državnog hidrometeorološkog zavoda, tvrtke Hidroing, d.o.o., Zagrebačkog Holdinga i Instituta za Elektroprivredu na pripremi neophodnih podataka. Najveću zahvalu upućujem svojoj supruzi – Josipi, a disertaciju posvećujem svojoj kćerki Leoni.

SAŽETAK

Odlagalište otpada Jakuševec-Prudinec od 1965. godine služi kao odlagalište komunalnog, neopasnog i industrijskog otpada Grada Zagreba i njegove okolice. Odlagalište je smješteno na području Zagrebačkog vodonosnog sustava koji predstavlja strateške zalihe podzemne vode. Nizvodno od odlagališta nalazi se područje „Kosnica“ koje je rezervirano u Prostornom planu Zagrebačke županije za izgradnju budućeg vodocrpilišta koje će zbog strateški značajnih zaliha podzemne vode biti okosnica vodoopskrbe Grada Zagreba i Zagrebačke županije. Zbog potrebe za zaštitom strateških zaliha podzemne vode, pristupilo se izradi planova sanacije ovog odlagališta. Sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća, započeti su radovi na sanaciji koji su završeni 2003. godine, s nastavkom odlaganja do 2017. godine. Tijekom sanacije odlagališta praćena je kakvoća zraka i podzemne vode prema kojima je bila ocijenjena uspješnost sanacije. U disertaciji se analizom kakvoće i razina podzemne vode rekonstruiraju smjerovi toka podzemne vode na području odlagališta Jakuševec u vremenu i prostoru te se određuju promjene koncentracija pojedinih onečišćivača. U disertaciji je prezentirana povijest rada odlagališta Jakuševec koja uključuje povijest odlaganja otpada, te količine i njegov sastav, radove sanacije i monitoring. Na osnovi rezultata istraživanja rekonstruirani su smjerovi toka podzemne vode na području odlagališta Jakuševec, identificiran je i kvantificiran utjecaj procjednih na podzemne vode, ocijenjeni su uspješnost rada Interventnog crpnog sustava i uspješnost provedene sanacije, a na kraju je dan prijedlog mjera zaštite podzemnih voda. Analizom smjerova toka, utvrđeno je da se podzemna voda dominantno giba u smjeru jugoistoka i istoka, a manjim dijelom i prema vodocrpilištu Petruševec. Nakon početka radova sanacije došlo je do značajnog porasta koncentracije pojedinih onečišćivača, a pad koncentracija je uslijedio po završetku sanacije s time da treba napomenuti da su današnje koncentracije pojedinih onečišćivača u podzemnoj vodi još uvijek veće od onih prije početka sanacije tj. još se uvijek nisu snizile na koncentracije kakve su u podzemnoj vodi bile u vrijeme kad odlagalište nije bilo sanirano. U smjeru istoka, u rubnim piezometrima je registriran značajan pad koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi međutim i dalje su prisutne visoke razine metala registrirane u podzemnoj vodi, posebice željeza, a koje upućuju na dodatan oprez i potrebu uključivanja piezometara koji se nalaze istočno u sustav monitoringa.

Ključne riječi: Odlagalište Jakuševec, kakvoća podzemne vode, onečišćenje, zagrebački vodonosnik, sanacija, vodocrpilišta.

ABSTRACT

Landfill Jakuševec-Prudinec since 1965 was used as a municipal hazardous and industrial waste landfill of the Zagreb city and its surroundings. The landfill is located on the Zagreb aquifer system which represents the strategic groundwater reserves. Downstream of the landfill is located the "Kosnica" area which is reserved in the Zagreb County Regional Plan for the future construction of water wells that will be strategically important because of the stock of groundwater supply will be the backbone of the City of Zagreb and Zagreb County. Because of the need to protect strategic reserves of groundwater, remediation of the landfill was designed. The remediation started at the mid nineties, and they are completed in 2003, and landfill will operate until 2017. During the remediation, air quality and ground water quality were monitored due judging success ability of the remediation.

The history of the Jakuševec landfill was presented in dissertation which includes the waste disposing history, its content quantities, remediation activities and monitoring. Based on research results, groundwater flow direction on the landfill area was detected, influence of leachate on groundwater quality was quantified, the success of the remediation and work of the Intervention pumping system were evaluated, and at the end, the proposals for further activities on groundwater protection were given. By analysis of groundwater flow was established that dominant groundwater flow is toward southeast and east, and in some conditions, toward the Petruševec water supply well field. After the start of remediation activities, the concentration of some pollutants raised in groundwater, and decrease of pollutant concentrations in groundwater started after remediation activities, with remark that the pollutant concentrations are still higher than before the start of remediation, they still didn't decreased on values registered before the remediation. Toward the east in the piezometers on the edge, the significant decrease of the ammonia concentration were registered, but high concentrations of heavy metals are still present in the groundwater, especially iron which implies toward the additional cause and need to include additional piezometers placed more eastern into monitoring system

Keywords: Jakuševec landfill, groundwater quality, pollution, Zagreb aquifer, remediation, water wells.

SADRŽAJ:

1. UVOD..... 1
2. OPĆE GEOGRAFSKE, GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA..... 4
2.1. Geografski smještaj..... 4
2.2. Geološka građa područja istraživanja..... 5
2.2.1. Litostratigrafske značajke terena..... 6
2.2.1.1. Pleistocen..... 8
2.2.1.2. Holocen..... 9
2.2.2. Pregled tektonskih zbivanja..... 13
2.2.3. Hidrogeološki odnosi..... 15
3. HISTORIJAT ODLAGALIŠTA 19
3.1. Odlaganje otpada..... 19
3.1.1. Povijest odlaganja otpada..... 19
3.1.2. Sastav odloženog otpada..... 20
3.1.3. Količina odloženog otpada..... 29
3.2. Monitoring..... 35
3.2.1. Praćenje meteoroloških parametara..... 35
3.2.2. Praćenje kakvoće zraka..... 39
3.2.3. Praćenje odlagališnog plina..... 65
3.2.4. Geodetsko snimanje slijeganja tijela odlagališta..... 68
3.3. Sanacija odlagališta..... 71
3.3.1. Ideja sanacije odlagališta..... 71
3.3.2. Opis projektnog rješenja sanacije..... 72
3.3.3. Izvedba radne plohe..... 78
3.3.4. Sanacija odlagališta..... 80
4. PODACI I METODE..... 94
4.1. Podaci o razinama podzemne vode..... 94
4.2. Podaci o kemijskim analizama procjednih voda..... 96
4.3. Podaci o kemijskim analizama podzemnih voda..... 106
4.3.1. Podaci o analizama podzemnih voda prije uspostave kontinuiranog monitoringa..... 106
4.3.2. Analize podzemnih voda u sklopu monitoring paketa..... 108
4.3.3. Fizikalni parametri 128
4.3.4. Korelacija podataka 131
4.3.5. Interventni crpni sustav..... 132
5. REZULTATI..... 136
5.1. Prevladavajući smjerovi gibanja podzemne vode na istraživanom području..... 136
5.2. Identifikacija i kvantifikacija utjecaja procjednih voda s odlagališta otpada Jakuševec na kakvoću podzemne vode nizvodno od odlagališta..... 149
5.3. Ocjena uspješnosti interventnog crpnog sustava (ICS) na sprečavanje pronosa onečišćenja u istočnije dijelove Zagrebačkog vodonosnika..... 154
5.4. Ocjena uspješnosti sanacije odlagališta otpada Jakuševec, s obzirom na sprečavanje daljnjega onečišćenja podzemnih voda od procjednih voda s odlagališta..... 155
5.5.Prijedlog mjera zaštite podzemnih voda na utjecajnom području odlagališta..... 160
6. RASPRAVA..... 162
7. ZAKLJUČAK..... 165
8. LITERATURA 167
8.1. Objavljeni radovi..... 167
8.2. Iz fonda i arhiva stručne dokumentacije..... 171
8.3. Norme i legislativa..... 172
8.4. Web stranice..... 173

POPIS SLIKA:

Slika 2.1: *Lokacija odlagališta otpada Jakuševec*
Slika 2.2: *Geološka karta šireg područja istraživanja, izvadak iz geološke karte Hrvatske M 1:100.000, list Ivanić grad (Basch,1981)*
Slika 2.3: *Geološki stup šireg područja istraživanja, izvadak iz geološke karte* Hrvatske *M 1:100.000, list Ivanić grad (Basch,1981)*
Slika 2.4: *Legenda uz kartu i geološki stup, izvadak iz geološke karte* Hrvatske *M 1:100.000, list Ivanić grad (Basch,1981)*
Slika 2.5: *Geološka karta zagrebačkog područja (preuzeto iz Bačani i Šparica, 2001)*
Slika 2.6: *Shematski profil zagrebačkog vodonosnog sustava (preuzeto iz Posavec, 2006)*
Slika 2.7: *Izopahe aluvija (preuzeto iz Bačani, Posavec, 2009.)*
Slika 2.8: *Izopahe vodonosnog sustava (preuzeto iz Bačani, Posavec, 2009.)*
Slika 2.9: *Izopahe pokrova vodonosnog sustava (preuzeto iz Bačani, Posavec, 2009.)*
Slika 3.1: *Lokacije starijih odlagališta otpada prije korištenja lokacije "Jakuševec", 1. Kupalište na Savi, 2. Dubrava, 3. Markuševac, 4. područje između današnjeg Folnegovićevog naselja i Savice, 5. lokacija uz nasip kod nekadašnjeg Crvenog mosta, na lijevoj obali Save i 6. lokacija u blizini naselja Blato (6) (prema podacima: Fundurulja i dr. 2008.)*
Slika 3.2: *Grafički prikaz prosječnog sastava zagrebačkog komunalnog otpada, prema Tušar i dr, 1991*
Slika 3.3: *Grafički prikaz postotnog sastava mikroelemenata u suhoj tvari sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec", prema Tušar i dr, 1991. (Napravljeno prema tablici 3.2)*
Slika 3.4: *Grafički prikaz postotnog sastava uzoraka sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec" za period odlaganja do 1972. godine (Napravljeno prema tablici 3.3, TVZ, 2009.)*
Slika 3.5: *Grafički prikaz postotnog sastava uzoraka sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec" za period odlaganja do 1991. godine (Napravljeno prema tablici 3.3, TVZ, 2009.)*
Slika 3.6: *Prosječni sastav otpada koji se dovozi na odlagalište "Jakuševec" napravljen na temelju uzorkovanja od 2002. do 2011. godine (Tudić, et al., 2011.)*
Slika 3.7: *Prikaz širenja odlagališta otpada Jakuševec od 1965. do 1995. godine, prema (ZGO & GEOSAT, 1996.) na assamblage-u aviosnimaka (GEOSAT, 1995.)*
Slika 3.8: *Dinamika odlaganja na odlagalištu otpada "Jakuševec" od 1968. do 2010. godine*
Slika 3.9: *Srednja čestina vjetra za razdoblje od 1998. do 2004. (Napravljeno prema, Zagrel 1999., 2000.; Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*
Slika 3.10: *Oborine, srednja mjesečna vrijednost za razdoblje od 2001. do 2004. godine (Napravljeno prema, Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*
Slika 3.11: *Evaporacija srednja mjesečna vrijednost za razdoblje od 2001. do 2004. godine (Napravljeno prema, Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*
Slika 3.12: *Raspored mjernih postaja za mjerenje kakvoće zraka (S-1, S-2 i S-3) i meteorološke postaje (Meteo)*
Slika 3.13: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije amonijaka na imisijskim postajama S1, S2 i S3 u vremenskom razdoblju od 2001. do 2005. godine (Vasiljević et al., 2007. Vađić et al., 1998.).*
Slika 3.14. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije vodikovog sulfida na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011., Vađić et al., 1998.).*

Slika 3.15: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije dušikovog dioksida na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011., Vađić et al., 1998.).*
Slika 3.16: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije sumporovog dioksida na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011., Vađić et al., 1998.).*
Slika 3.17. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije ukupnih lebdećih čestica na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.18: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije olova u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.19: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije kadmija u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.20. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije mangana u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.21. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije žive u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Hršak et al., 1998.)*
Slika 3.22: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije PM_{10} lebdećih čestica na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011.). Napomena: tolerantna vrijednost se smanjuje po godinama*
Slika 3.23: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije merkaptana na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjeno sa Vađić et al., 1998., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011.)*
Slika 3.24: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti ukupne taložne tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.25: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti olova u ukupnoj taložnoj tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.26: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti kadmija u ukupnoj taložnoj tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.27: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti talija u ukupnoj taložnoj tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*
Slika 3.28: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti plinovitih fluorida na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Vasiljević 2006.)*
Slika 3.29: *Grafički prikaz 98 percentil godišnjih vrijednosti plinovitih fluorida na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Vasiljević 2006.)*
Slika 3.30: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti plinovitih klorida na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Vasiljević 2006.)*
Slika 3.31: *Raspored repera u prostoru na tijelu odlagališta*
Slika 3.32: *Grafički prikaz slijeganja na rubnom dijelu tijela odlagališta na reperu Br. 10*

Slika 3.33: *Grafički prikaz slijeganja na centralnom dijelu tijela odlagališta na reperu Br. 13*
Slika 3.34: *Odabrano rješenje temeljnog brtvenog sustava (Elektroprojekt 1995. [1]; Kaić, Orešković, 1995.; Drnjević, Horvat, 1995.)*
Slika 3.35: *Oblik pokusnog polja (Drnjević, Horvat, 1995.)*
Slika 3.36: *Poprečni presjek pokusnog polja (Drnjević, Horvat, 1995.)*
Slika 3.37: *Projektirani nosivi slojevi "Radne plohe"*
Slika 3.38: *Građevine izvedene u sklopu pojedinih "Paketa" (Ivšić, 2009., IGH, 2009.)*
Slika 3.39: *Sustav brtvljenja dna deponija na Jakuševcu (Milanović, 2009.)*
Slika 3.40: *Shematski prikaz profila saniranog odlagališta Jakuševec: 1. Otpad, 2. Donji brtveni sloj, 3. Pokrovni sloj, 4. Obodni nasip, 5. Zdenci za otplinjavanje, 6. Drenažni tepih (plošni dren), 7. Odvod vode iz plošnog drena (Ivšić, 2010.)*
Slika 3.41: *Skica rasporeda radnih ploha na odlagalištu otpada Jakuševec (TVZ, 2008., Ivšić, 2009., IGH, 2009.)*
Slika 3.42: *Stari i novi sustavi brtvljenja završnog brtvenog sloja a) "stari" sustav – prirodni zemljani materijali za drenažne slojeve (šljunak) i nepropusni sloj (glina) b) Izvedeno- Umjetni materijali – geosintetici za drenažne slojeve i brtveni sloj ukupne debljine 2 cm (Ivšić, 2009.)*
Slika 3.43: *Položaj zdenaca interventnog crpnog sustava (JZ-1, JZ-2, JZ-3 i JZ-4) na jugoistočnom dijelu odlagališta otpada Jakuševec (Modificirano prema Bagarić, 2002.)*
Slika 3.44: *Shematski prikaz izvedbe zdenca Interventnog crpnog sustava*
Slika 3.45: *Plinsko postrojenje za obradu deponijskog plina na odlagalištu otpada "Jakuševec", preuzeto sa službenih web stranica ZGOS-a*
Slika 3.46: *Postrojenje za obradu komposta, preuzeto od ZGOS*
Slika 3.47: *Postrojenje za reciklažu građevinskog otpada*
Slika 3.48: *Odlagalište otpada "Jakuševec" nakon sanacije sa svim popratnim sadržajima (Milanović, 2009.)*
Slika 4.1: *Lokacije piezometara na mikrolokaciji odlagališta otpada Jakuševec na kojima su mjerene razine podzemne vode*
Slika 4.2: *Promjene BPK_5 u procjednim vodama ovisno o starosti deponija, 1 – razgradnja otpada na dubini 2 m, uz odlaganje 2 do 4 m otpada godišnje; 2 – sporija razgradnja (odlaganje veće količine otpada) 3 – brža razgradnja (prema Bilitewski, et. al., 1991., preuzeto iz Milanović, 1992.)*
Slika 4.3: *Promjene BPK_5 u procjednim vodama na lokaciji odlagališta Jakuševec od 2001. Do 2010. godine*
Slika 4.4: *Promjene KPK u procjednim vodama ovisno o starosti deponija (prema Bilitewski, et. al., 1991., preuzeto iz Milanović, 1992.)*
Slika 4.5: *Promjene KPK u procjednim vodama na lokaciji odlagališta Jakuševec od 2001. do 2010. godine*
Slika 4.6: *Promjene NH_4N u procjednim vodama ovisno o starosti deponija (prema Bilitewski, et. al., 1991., preuzeto iz Milanović, 1992.)*
Slika 4.7: *Promjene amonij iona u procjednim vodama na lokaciji odlagališta Jakuševec od 2001. do 2010. godine*
Slika 4.8: *Karta lokacija piezometara uzorkovanih 1986., 1992. i 1995. godine na lokaciji odlagališta Jakuševec (napravljeno prema Elektroprojekt, 1992. i Jurković, 1995.)*
Slika 4.9: *Lokacije uzimanja uzoraka podzemne vode*
Slika 4.10: *KPK oko odlagališta otpada Jakuševec u travnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*
Slika 4.11: *KPK oko odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*

Slika 4.12: *KPK u piezometrima udaljenim oko 50 m jugoistoćno od tijela odlagališta*
Slika 4.13: *Koncentracije amonij iona oko odlagališta otpada Jakuševec u travnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*
Slika 4.14: *Koncentracije amonij iona oko odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*
Slika 4.15: *Karta koncentracija amonij iona (mg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. u uvjetima visokih voda*
Slika 4.16: *Karta koncentracija amonij iona (mg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. u uvjetima srednjih voda*
Slika 4.17: *Karta koncentracija amonij iona (mg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2003. u uvjetima niskih voda*
Slika 4.18: *Koncentracije amonij iona registrirane u piezometrima udaljenim oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta*
Slika 4.19: *Koncentracije amonij iona u piezometrima koji su smještani na približnim lokacijama gdje su se nalazili piezometri iz kojih su uzimani uzorci vode 1987. godine*
Slika 4.20: *Koncentracije željeza u podzemnoj vodi oko odlagališta otpada Jakuševec u travnju 2001. godine za vrijeme visokih voda*
Slika 4.21: *Koncentracije željeza u podzemnoj vodi oko odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2001. godine za vrijeme niskih voda*
Slika 4.22: *Karta koncentracija željeza (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. u uvjetima visokih voda*
Slika 4.23: *Karta koncentracija željeza (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. u uvjetima srednjih voda*
Slika 4.24: *Karta koncentracija željeza (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2003. u uvjetima niskih voda*
Slika 4.25: *Karta koncentracija mangana (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. godine za vrijeme visokih voda*
Slika 4.26: *Karta koncentracija mangana (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. godine za vrijeme srednjih voda*
Slika 4.27: *Karta koncentracija mangana (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec lipnju 2003. godine za vrijeme niskih voda*
Slika 4.28: *Karta koncentracija arsena (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec za vrijeme visokih voda u prosincu 2002*
Slika 4.29: *Karta koncentracija arsena (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec za vrijeme srednjih voda u ožujku 2003*
Slika 4.30: *Karta koncentracija arsena (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec za vrijeme niskih voda u lipnju 2003*
Slika 4.31: *pH vrijednosti podzemne vode na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. u uvjetima visokih voda*
Slika 4.32: *pH vrijednosti podzemne vode na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. u uvjetima srednjih voda*
Slika 4.33: *pH vrijednosti podzemne vode na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2003. u uvjetima niskih voda*
Slika 4.34: *Grafovi specifične elektroprovodljivosti u vodenom stupcu u piezometru JM-10 smještenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta*
Slika 4.35: *Situacijska karta zdenaca Interventnog crpnog sustava s najbližim nizvodnim piezometrom JM-10*
Slika 4.36: *Koncentracije amonijaka u uzorcima podzemne vode iz zdenaca Interventnog crpnog sustava tijekom razdoblja praćenja*

Slika 4.37: *Koncentracije željeza u uzorcima podzemne vode iz zdenaca Interventnog crpnog sustava tijekom razdoblja praćenja*
Slika 4.38: *Koncentracije mangana u uzorcima podzemne vode iz zdenaca Interventnog crpnog sustava tijekom razdoblja praćenja*
Slika 5.1: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 08.08.1991. godine, u razdoblju srednjih voda, prije rada vodocrpilišta Petruševec i izgradnja vodni stepenica TE-TO*
Slika 5.2: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 19.12.1983. godine, u razdoblju niskih voda, prije rada vodocrpilišta Petruševec i izgradnja vodni stepenica TE-TO*
Slika 5.3: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 26.08.2004. godine, u razdoblju visokih voda tijekom razdoblja monitoringa*
Slika 5.4: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 01.09.2003. godine, u razdoblju najnižih zabilježenih razina tijekom razdoblja monitoringa*
Slika 5.5: *Razine podzemne vode na odlagalištu 'Jakuševec' za vrijeme visokih voda, prosinac 2002. (Vasiljević, Mihaljinec, 12/2002.)*
Slika 5.6: *Razine podzemne vode na odlagalištu 'Jakuševec' za vrijeme srednjih voda, ožujak 2003. (Vasiljević, Mihaljinec, 04/2003.)*
Slika 5.7: *Razine podzemne vode na odlagalištu 'Jakuševec' za vrijeme niskih voda, rujan 2003. (Vasiljević, Mihaljinec, 09/2003.)*
Slika 5.8: *Lokacije piezometara na mikrolokaciji odlagališta otpada Jakuševec plavim kružnicama su označeni analizirani parovi piezometara.*
Slika 5.9: *Prikaz ručno izmjerenih vrijednosti razine podzemnih voda u piezometrima u inundacijskom pojasu rijeke Save i na nasipu, sjeverozapadni dio područja odlagališta Jakuševec*
Slika 5.10: *Prikaz ručno izmjerenih vrijednosti razine podzemnih voda u piezometrima u inundacijskom pojasu rijeke Save i na nasipu, središnji dio područja odlagališta Jakuševec*
Slika 5.11: *Prikaz ručno izmjerenih vrijednosti razine podzemnih voda u piezometrima u inundacijskom pojasu rijeke Save i na nasipu, jugoistočni dio područja odlagališta Jakuševec*
Slika 5.12: *Lokacija limnigrafa na Savi i najbližeg piezometra JM-12 s limnigrafskim mjerenjem razine vode*
Slika 5.13: *Usporedba nivograma dobivenih mjerenjem u piezometru JM-12 i na rijeci Savi na jugoistočnom dijelu područja odlagališta Jakuševec*
Slika 5.14: *Lokacije piezometara na mikrolokaciji odlagališta otpada Jakuševec, plavim kružnicama su označeni analizirani piezometri*
Slika 5.15: *Lokacije piezometara koji su korišteni za ocjenu utjecaja odlagališta Jakuševec na podzemne vode i ocjenu uspješnosti sanacije.*
Slika 5.16: *Koncentracije amonij iona u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*
Slika 5.17: *KPK u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*
Slika 5.18: *Koncentracije iona željeza u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*
Slika 5.19: *Koncentracije mangana u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode.*

Slika 5.20: *Trendovi koncentracija amonij iona u piezometru JM-10 za vrijeme i nakon sanacije odlagališta Jakuševec, razdoblje od travnja do svibnja 2001. nije prikazano kako bi se jasnije vidjeli trendovi za vrijeme i nakon sanacije.*
Slika 5.21: *Koncentracije amonij iona u podzemnoj vodi u rubnim piezometrima istočno i jugoistočno od odlagališta Jakuševec*
Slika 5.22: *Koncentracije željeza u podzemnoj vodi u rubnim piezometrima istočno i jugoistočno od odlagališta Jakuševec*
Slika 5.23: *Koncentracije mangana u podzemnoj vodi u rubnim piezometrima istočno i jugoistočno od odlagališta Jakuševec*

POPIS TABLICA:

Tablica 3.1: *Prosječni sastav zagrebačkog komunalnog otpada, prema Tušar i dr, 1991*
Tablica 3.2: *Koncentracija mikroelemenata u suhoj tvari sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec", prema Tušar i dr, 1991*
Tablica 3.3. *Rezultati ispitivanja uzoraka sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec" (TVZ, 2009.)*
Tablica 3.4: *Rezultati analiza uzorkovanja otpada od 2002. do 2011. godine (Tudić, et al., 2011.)*
Tablica 3.5: *Statistička obrada rezultata analiza uzorkovanja otpada od 2002. do 2011. godine*
Tablica 3.6: *Količine otpada dobivene daljinskim metodama prema Oluić, 1995., Oluić, Buchroithner, 1996., Milanović, 1992. i procijenjene do 2010*
Tablica 3.7: *Usporedni prikaz količina dovezenog miješanog otpada u tonama, prema Fundurulja, Mužinić, 1998.*
Tablica 3.8: *Usporedni prikaz količina dovezenog građevinskog otpada, prema Fundurulja, Mužinić, 1998.*
Tablica 3.9: *Rezultati praćenja meteoroloških parametara tijekom šest godina od 1998. – 2004. (Napravljeno prema, Zagrel 1999., 2000.; Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*
Tablica 3.10: *Srednje mjesečne vrijednosti oborina i isparavanja za razdoblje od 2001. do 2004. Godine*
Tablica 3.11: *Tipične sastavnice otpadnih plinova (Lide, 1991.)*
Tablica 4.1: *Prosječni kemijski sastav procjednih voda iz odlagališta komunalnog otpada (prema Bouwer, 1978, preuzeto iz Mayer, 1993.)*
Tablica 4.2: *Prosječni kemijski sastav procjednih voda iz odlagališta otpada Jakuševec*
Tablica 4.3: *Rezultati uzorkovanja podzemne vode na odlagalištu otpada Jakuševec tijekom 1987. godine (Elektroprojekt, 1992.)*
Tablica 4.4: *Rezultati uzorkovanja podzemne vode na odlagalištu otpada Jakuševec tijekom 1986., 1992. i 1995. godine (Jurković, 1995.)*
Tablica 4.5: *Tablični prikaz pozicija piezometara*

1. UVOD

Odlagalište otpada Jakuševec-Prudinec služi kao odlagalište komunalnog, neopasnog i industrijskog otpada Grada Zagreba i njegove okolice. Odlagalište je zbog zanemarivanja problema postalo najveće neuređeno odlagalište otpada u jugoistočnom dijelu Europe. Iako je sanacija odlagališta završena 2003. godine, onečišćenje je i danas prisutno u podzemnoj vodi nizvodno od odlagališta. Nizvodno od odlagališta nalazi se područje „Kosnica“ koje je rezervirano u Prostornom planu Zagrebačke županije za izgradnju budućeg vodocrpilišta koje će zbog strateški značajnih zaliha podzemne vode biti okosnica vodoopskrbe Grada Zagreba i Zagrebačke županije. U disertaciji se analizom kakvoće i razina podzemne vode rekonstruiraju smjerovi toka podzemne vode na području odlagališta Jakuševec u vremenu i prostoru te se određuju promjene koncentracija pojedinih onečišćivača. Na osnovi rezultata analiza procjedne vode, identificiran je i kvantificiran njihov utjecaj na podzemne vode. Rezultati praćenja rada Interventnog crpnog sustava su bili korišteni za ocjenu njegove uspješnosti. Na kraju je ocijenjena uspješnost provedene sanacije odlagališta i dan je prijedlog mjera zaštite podzemnih voda.

U vodonosnicima ispod tijela odlagališta i nizvodno od njega uobičajeno se stvaraju geokemijske zone. Prema Appelu i Postmi (1994) raspadanje organskog otpada i različite kemikalije u odlagalištu otpada stvaraju različite otopljene organske spojeve, koji procjeđivanjem iz tijela odlagališta dospijevaju u vodonosnik s oksidativnim uvjetima. Utjecaj odlagališta otpada na podzemne vode izražen je kroz formiranje oksidacijsko-redukcijskih zona, s različitim kemijskim sastavom, zavisno od Eh-pH uvjeta u podzemnoj vodi. Ispod tijela odlagališta nalazi se zona metana (CH_4) i amonij iona (NH_4^+), nakon koje slijedi zona redukcije sulfata. Slijedi zona redukcije feri iona (Fe^{3+}) i mangana (Mn^{4+}) te na kraju oksična zona.

Hidrodinamički i hidrogeokemijski uvjeti u utjecajnom području odlagališta otpada Jakuševec-Prudinec potencirali su postupno formiranje obrnutih procesa, u kojima se događa oksidacija produkata razgradnje organskog otpada u podzemnoj vodi. Ranije je utvrđen pozitivan trend nitrata, kao i relativno visoki sadržaji kisika i sulfata u podzemnoj vodi, što je u suprotnosti s uobičajenim geokemijskim uvjetima u podzemnoj vodi nizvodno od odlagališta.

Prema Posavec, et al. (2010.) dominantan mehanizam u transportu zagađivala na području Črnkovca (Kosnice) predstavlja advekcija zbog velike hidrauličke vodljivosti, odnosno velikih brzina podzemne vode. Značajnu ulogu ima i mehanička disperzija zbog izražene heterogenosti vodonosnika, dok mehanizam difuzije ne dolazi u značajnijoj mjeri do izražaja.

Iako se transport mobilnih vrsta onečišćivača može promatrati na takav način, postoje manje mobilne vrste, poput organskih spojeva, koje se vežu za čestice vodonosnika i postaju pogodne lokacije za oslobađanje teških metala u vodu i izvor zagađivala u lokalnom području. Usporedbom karata zagađenja s kartama hidroizohipsi, vidljivo je da je kretanje oblaka zagađenja identično smjeru tečenja podzemne vode u promatranom razdoblju. To ukazuje na mobilnost zagađenja iz odlagališta otpada Jakuševec-Prudinec prema istoku i jugoistoku. U području koje je relativno blizu odlagališta, dolazi do zadržavanja organske tvari zbog vezanja za čestice šljunka. U tom području mnoge vrste metala, primjerice arsen, ulaze u vodenu otopinu i postaju mobilne. Međutim zbog brzog donosa velikih količina podzemne vode i vode iz rijeke Save u vodonosnik, nizvodno arsen prelazi u manje mobilnu formu, koja ne migrira daleko, odnosno, njegova koncentracija znatno opada udaljavanjem od odlagališta zbog promjene geokemijskih uvjeta.

Do sada je objašnjena pojava arsena u podzemnoj vodi na području nizvodno od odlagališta (Vasiljević i Budiša, 2010.; Vasiljević, 2010.). Otopljeni arsen može biti adsorbiran feri hidroksidima, arsen (+5) se jače sorbira od arsena (+3). Feri hidroksidi su stabilni u širokom rasponu Eh-pH i ta činjenica ograničava mobilnost arsena (Hem, 1985.). Ipak uvjeti koji reduciraju Fe^{3+} u Fe^{2+} i As^{5+} u As^{3+} povećavaju mobilnost arsena u okolišu, jer istaloženi feri hidroksidi postaju otopljeni fero hidroksidi. U oksidacijskom okolišu gdje je pH viši od 4, moguće je naći koloidalne feri hidrokside koji sorbiraju arsen i smanjuju njegovu koncentraciju u vodi.

U radu su postavljene sljedeće hipoteze: 1. Sanacija odlagališta Jakuševec – Prudinec nije u potpunosti uspjela; 2. Unatoč velikim brzinama podzemne vode, na smanjenje koncentracija zagađivala znatno utječu geokemijski procesi i biološke reakcije zbog čega se pretpostavlja da su lokacije budućeg crpilišta izvan dosega oblaka onečišćenja. Tijekom razdoblja monitoringa, četiri puta godišnje, uzimani su uzorci podzemne voda iz piezometara kako bi se pokrila razdoblja visokih i niskih voda. Način uzorkovanja podzemne vode bio je u skladu s Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne Novine 47/2008).

Sva ranije navedena opažanja i uzorkovanja, u svakom piezometru, bila su izvedena u kontinuitetu unutar vremenske cjeline od dvadeset i četiri sata i prema pravilima struke transportirana u laboratorij. Na uzorcima vode su in situ izmjereni sljedeći parametri: temperatura vode (°C), specifična elektroprovodljivost (µS/cm), pH, otopljeni kisik (mg/l), oksidacijsko-redukcijski potencijal (mV) i amonijak $NH4^+$ (mg/l), a kemijski pokazatelji su u laboratoriju bili određivani metodom ionske kromatografije i spektrometrije.

Paralelno sa uzorkovanjem mjerena je razina podzemne vode, čime su bila potvrđena hidrološka razdoblja i određeni su piezometri u kojima su praćeni referentni parametri. Promjene su utvrđivane usporedbom piezometara koji se nalaze nizvodno od odlagališta, sa referentnim piezometrima koji se nalaze uzvodno od odlagališta i izvan njegovog utjecaja.

Obrađeni su također i dostupni podaci kemijskih analiza podzemne vode iz piezometara na širem području Črnkovca koje provodi Vodoopskrba i odvodnja (VIO) i Zavod za javno zdravstvo Grada Zagreba kao i podaci o razinama podzemne vode i vodostajima Save koje prati Državni hidrometeorološki zavod.

Znanstveni doprinos ove disertacije sastoji se u prikazu povijesti rada odlagališta otpada Jakuševec, prikazu rezultata monitoringa i radova sanacije. Na osnovi rezultata istraživanja procjednih i podzemnih voda te praćenja razina podzemne vode, rekonstruirani su smjerovi toka podzemne vode na području odlagališta Jakuševec u vremenu i prostoru te su određene promjene koncentracija pojedinih onečišćivača. Procijenjena je uspješnost metodologije sanacije odlagališta i uspješnost rada Interventnog crpnog sustava. Na kraju su predloženi okviri za zaštitu podzemnih voda što će predstavljati osnovu za planove upravljanja ovim vodnim područjem.

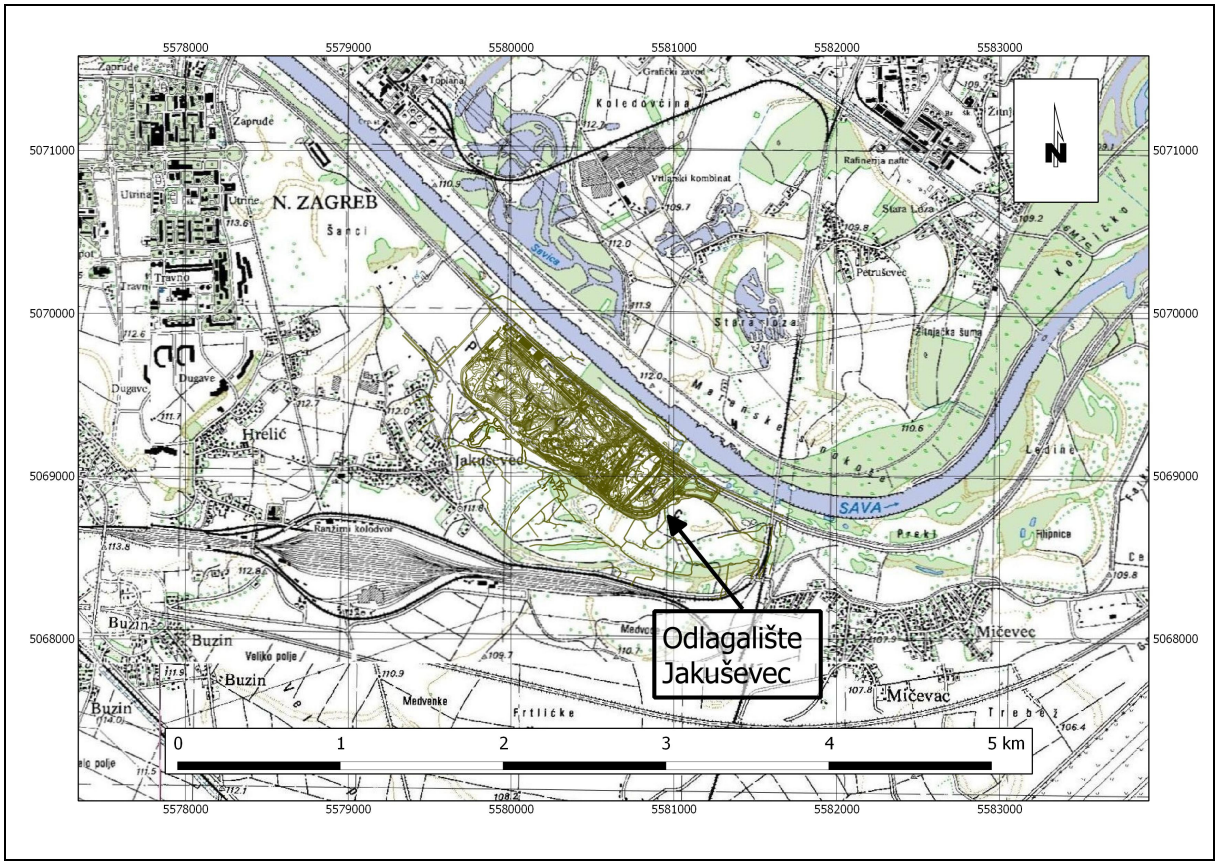
2. OPĆE GEOGRAFSKE, GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2. 1. Geografski smještaj

Odlagalište otpada Jakuševec-Prudinec služi kao odlagalište komunalnog, neopasnog i industrijskog otpada Grada Zagreba i njegove okolice. Udaljeno je 5 km zračne linije od središta Zagreba, a nalazi se na desnoj obali rijeke Save, na udaljenosti od 400 m od naselja Jakuševec (Slika 2.1). Odlagalište se pruža u smjeru sjeverozapad-jugoistok, duž nasipa rijeke Save, od kojega je odvojeno lokalnom cestom.

Krajolikom dominira Rijeka Sava koja je svojim tokom stvorila karakterističan ravničarski teren koji se još naziva i Savska depresija. Sava je jedna od tri najdulje rijeke u Hrvatskoj (duljine 940 km) - Površina sliva Save je 95.720 km^2. Širina korita u Zagrebu je oko 100 m. Savska se depresija nalazi u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena, a proteže se pravcem sjeverozapad-jugoistok. Teren je uglavnom ravničarski s nadmorskom visinom od oko 100 metara. Sjeverozapadni dio Savske depresije je ograničen brežuljkastim područjima Medvednice na sjeverozapadu, Vukomeričkih Gorica na jugozapadu i Moslavačke Gore na istoku s visinama koje variraju između 230 i 1035 metara, južna granica je obilježena potezom Vrginmost-Sunja. Klima je umjerena, kontinentalnog tipa, a padaline su raspodijeljene gotovo ravnomjerno tijekom cijele godine.

Padalinski maksimumi nastupaju u jesen (listopad) i u prijelaznom razdoblju između proljeća i ljeta. Područje je sa zapadne strane ograničeno naseljima Jakuševec i novozagrebačkim naseljem Dugave. Jugoistočni dio koji se nastavlja prema Turopolju je pokriven uglavnom poljoprivrednim kulturama, livadama i pašnjacima, a na nekim dijelovima šumom i močvarnim terenima.



Slika 2.1: *Lokacija odlagališta otpada Jakuševec*

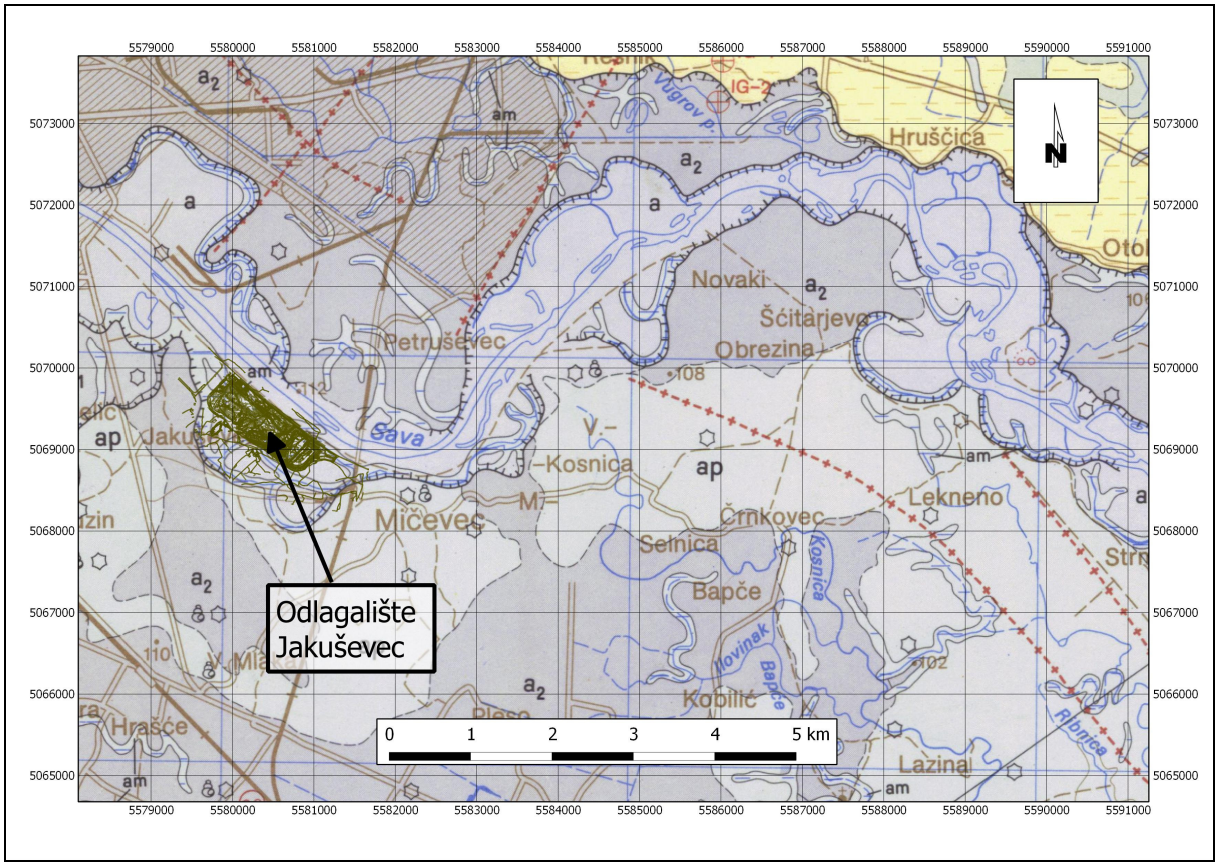
2.2. Geološka građa područja istraživanja

Pri razmatranju geološke građe i sastava terena oko odlagališta "Jakuševec" zahvaćeno je nešto šire područje, kako bi se mogao dati potpuniji uvid u geološke odnose toga terena. Geomorfološki gledano teren je ravničarski s malim hipsometrijskim razlikama, a nadmorska visina iznosi između 110 i 113 metara. Lokacija odlagališta na ovakvom terenu predstavlja hipsometrijski istaknuto područje koje doseže nadmorsku visinu preko 155 metara, odnosno, hipsometrijska razlika najviše točke na odlagalištu u odnosu na prirodnu razinu terena iznosi oko 45 metara.

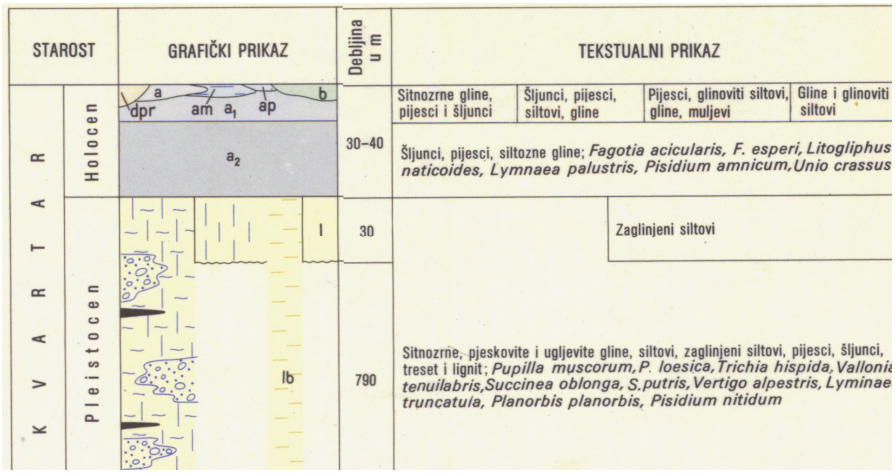
Teren je u cjelini izgrađen od kvartarnih naslaga rijeke Save, pri čemu šljunci imaju dominantnu ulogu. U tektonskom pogledu, područje Savske potoline je od neogena tektonski aktivno, a zadnja faza kompresije traje i danas.

2.2.1. Litostratigrafske značajke terena

Prikaz geoloških odnosa razmatranog terena temelji se na geološkim podacima autora Basch (1983.). Prema tim podacima najstarije stijene u razmatranom području su pleistocenski prapori. Na njima se nalaze naslage nastale djelovanjem površinskih tokova, prvenstveno rijeke Save i njezinih pritoka, naslage poplavnih ravnica i močvara, te naslage proluvija nastale trošenjem rubnih dijelova okolnog gorja. U nastavku teksta je dan opis pojedinih sedimenata prikazanih na izvatku iz geološke karte Hrvatske M 1:100000, list Ivanić grad (Basch, 1981) prikazan na slikama 2.2, 2.3 i 2.4.



Slika 2.2: *Geološka karta šireg područja istraživanja, izvadak iz geološke karte Hrvatske M 1:100.000, list Ivanić grad (Basch,1981)*



Slika 2.3: *Geološki stup šireg područja istraživanja, izvadak iz geološke karte* Hrvatske *M 1:100.000, list Ivanić grad (Basch,1981)*

LEGENDA

Slika 2.4: *Legenda uz kartu i geološki stup, izvadak iz geološke karte* Hrvatske *M 1:100.000, list Ivanić grad (Basch,1981)*

2.2.1.1. Pleistocen

Bezkarbonatni kopneni prapor (l): Pod nazivom kopneni bezkarbonatni prapor izdvojeni su sedimenti eolskog porijekla, koji su pod utjecajem atmosferilija i djelomično podzemnih voda pretrpjeli pedogenetske promjene. Osnovna im je karakteristika vrlo mali postotak kalcijevog karbonata. U literaturi su ovi sedimenti poznati još pod nazivima: pseudoglej, oglinjeni prapor, beskarbonatni prapor, "mramorirane ilovine", i dr. Tokom pleistocenskih glacijacija bile su taložene velike količine prapora. Za vrijeme interglacijacija i tokom holocena najveći dio tih naslaga bio je erodiran, a djelomice i pretaložen. Naslage kopnenog bezkarbonatnog prapora, na širem promatranom području su sačuvane na niskim obroncima Medvednice. Kopneni bezkarbonatni prapor je žute, sivožute ili žutosmeđe boje. Često je prošaran svijetlim glinovitim prugama poligonalnog oblika. U njemu se ponekad izlučuju limonitom ili manganom impregnirane siltne konkrecije. Vapnene konkrecije su mnogo rjeđe i dolaze u većim količinama samo u blizini nepropusne podloge. Zbog otapanja karbonata u lesu se nisu mogle očuvati ljušturice puževa. Palinološke analize dale su vrlo slabe rezultate. Rijetko se pojavljuju poleni bora i smreke, te po koja spora mahovine. Ti podaci nisu bili dovoljni, da bi se odredila detaljnija starost ovih naslaga. Prema sedimentološkim podacima beskarbonatni prapor se sastoji od 50-70% silta i 10-30% čestica veličine gline. Primjesa sitnog pijeska variraju od 5-15%. Mineralni sastav bezkarbonatnog prapora je dosta ujednačen u čitavom području. Među prozirnim teškim mineralima prevladava epidot 31-61%, granat 9-40% i amfibol 3-16%. Sporedni su cirkon, turmalin, apatit, rutil, titanit i coisit. U lakoj mineralnoj frakciji dominantan je kvarc 60-70%, a u manjem postotku dolaze feldspati i muskovit. Sličan mineralni sastav imaju naslage neizmijenjenog prapora na južnim padinama Kalnika (Šimunić, Pikija i Jamičić,1972). Debljina kopnenog bezkarbonatnog prapora nije poznata, jer je taložena na vrlo izraženom reljefu, ali prema bušotinskim podacima iznose i više od 15 metara.

Močvarni prapor (lb): Močvarni prapor nastao je nasipavanjem prapora u bare koje su postojale na području današnje doline Save. Tu se silt, koji je donosio vjetar, miješao s organogeno-barskim sedimentima. Za vrijeme glacijacija taloženje prapora bilo je veće od sedimentacije organogeno-barskog materijala, dok su se za vrijeme interstadijala ili interglacijala taložile barske gline, treset ili fluvijatilni sedimenti. Uz istočnu granicu lista Zagreb između sela Resnik i Sesvete na listu Ivanić Grad, izbušene su tri bušotine kroz močvarni prapor.

Bušotina IG-1 bušena je kroz gore navedene naslage i u njima završila u dubini od 120 metara. Najvećim dijelom su naslage močvarnog prapora prekrivene mlađim aluvijalnim sedimentima. Močvarni prapor je plavičastosive i zelenkastosive boje. Po granulometrijskom sastavu ne razlikuje se mnogo od kopnenog prapora. U svim analiziranim uzorcima prevladavao je silt 50-70%, dok je odnos čestica veličine gline i sitnog pijeska varirao od 10-40%. Za barski les je vrlo značajan dosta veliki postotak kalcijevog karbonata, koji se kreće od 9-24%. Modalnom analizom lake i teške mineralne frakcije utvrđeno je, da i u močvarnom praporu prevladava epidot 25-75%, granat 5-30% i amfibol 5-20%. Prisutni su još staurolit, disten i apatit. Odnos epidota i granat je obrnuto proporcionalan. Prema podacima sa lista "Zagreb", prilikom taloženja močvarnog prapora došlo je do miješanja barske i lesne makrofaune. U močvarnom praporu nađene su slijedeće vrste: *Lymnaea truncatula, L. palustris, Planorbis planorbis,* P. carinatus, *Pisidium amnicum, P. casertanum, Pupilla muscorum, P. loesica, Succinea oblonga,* C*arychium tridentatum, Cochlicopa lubrica, Vallonia pulchella, V. tenuilabris, Vertigo arctica* i dr. Navedene vrste ukazuju da na području lista Zagreb nije bilo oledbi, ali da je klima bila hladnija nego danas. Palinološke analize močvarnog prapora dale su dosta dobre rezultate. Na nekoliko mjesta nađene su spore roda *Sphagnum i Selaginella,* kao i poleni vrsta *Pinus silvestris, Pinus haploxylon, Picea, Betula, Corylus, Alnus*, *Quercus i* Calluna. Debljina barskog lesa nije utvrđena, ali prema bušotinskim podacima, ona mjestimice prelazi 120 m. Od te debljine oko 1/3 otpada na fluvijalne i čisto barske sedimente.

2.2.1.2. Holocen

Aluvij druge savske terase (a_2): Druga savska terasa razvijena je uz manje prekide duž čitavog toka rijeke Save na širem području istraživanja. Nastala je usijecanjem Save u aluvijalne sedimente, koje je prije nanijela. Druga savska terasa sastoji se od izmjene krupnozrnih šljunaka i pijesaka. Količina pijeska u odnosu na šljunak povećava se od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. u smjeru toka Save. U istom smjeru opada i promjer valutica i veličina zrna pijeska. Petrografski sastav valutica vrlo je različit. Najčešće se pojavljuju dobro zaobljene i izdužene valutice karbonatnih stijena, zatim valutice rožnjaka, kvarcita, pješčenjaka i eruptiva. Pijesak je krupnozrnat, dosta dobro sortiran. Na čitavom području druga savska terasa ima dosta ujednačen mineralni sastav sedimenata. Među prozirnim teškim mineralima prevladavaju granat 17-35%, epidot 11-20% i aktinolit 8-21%. Sporedni minerali su staurolit, disten, rutil i titanit.

U lakoj mineralnoj frakciji uvijek dominira kvarc 64-88%, dok postotak feldspata, muskovita i čestice stijena varira 7-18%. Debljina naslaga druge savske terase dosta varira, jer su one taložene nakon intenzivne erozije. Isto tako na debljinu ovih naslaga znatno su utjecali neotektonski pokreti koji su bili vrlo intenzivni u Savskoj dolini. Iz profila navedenih bušotina vidljivo je da debljina šljunka i pijeska u Krškom polju varira od 6-12,5 m. U sjevernom dijelu Brežičko-Samoborskog polja debljina šljunka i pijeska iznosi 10-13 m, a u južnom 40-45 m. (Kovačević, Capar, 1972). Isti autori navode da se na području Sv. Nedelje i Samobora u podlozi šljunka i pijeska nalazi prašinast pijesak, koji možda odgovara lesu. Na području zagrebačke depresije prema D. Borčić, Capar (1968) debljina šljunka i pijeska druge savske terase iznosi 10-20 m. Zbog velike debljine i dobre kvalitete šljunak se iz ove terase eksploatira na mnogo mjesta. Najveće šljunčare su u Krškom polju, zatim između Savskog Marofa i Zaprešića, te u okolici Zagreba. Na aluvijalnim naslagama druge savske terase nisu nađeni provodni fosili, pa je njezina starost određena na osnovu položaja prema gornjopleistocenskim naslagama kod Brezine i Samobora. Tu je, vidljivo, kako su naslage druge savske terase taložene na već prije erodirane naslage barskog lesa, koji je taložen u gornjem pleistocenu.

Aluvij prve savske terase (a_1): Prva savska terasa razvijena je zapadno od lokacije odlagališta 'Jakuševec''. Nakon taloženja šljunka i pijeska koji čini drugu savsku terasu nastupila je faza erozije i denudacije. Sava se je usjekla u vlastite sedimente, kao što je bio slučaj kod druge i treće terase. Na mnogo mjesta po čitavoj terasi vidljiva su stara savska korita. Visina terasnog odsjeka pretežno iznosi 1-1,5 m, a mjestimice varira od 0,5-2 m. Ova terasa ima manju širinu od prethodne. Da bi se istražio sastav i debljina sedimenata ove terase izbušeno je nekoliko bušotina u Krškom i Brežičko-Samoborskom polju, dok su na području zagrebačke depresije već postojale brojne bušotine (Borčić, Capar 1968.). Iz profila bušotina vidljivo je da i u ovoj terasi prevladava krupnozrni šljunak, koji je pomiješan s pijeskom, dok su slojevi čistog pijeska tanji i rjeđe se pojavljuju. Mineralni sastav valutica i pijeska isti je kao i u drugoj savskoj terasi. Unutar pijeska na nekoliko mjesta nađena je holocenska makrofauna. Najčešće dolaze slijedeće vrste: *Theodoxus danubialis, Th. transversalis*, *Lithoglyphus naticoides, Fagotia acicularis, F. esperi, Limaneae peregra, Pisidium amnicum, Unio crasus* i dr. To su vrste koje su živjele u lagano tekućoj vodi ili u barama. Mjestimice se uz njih mogu naći i tipične kopnene vrste, kao npr. *Helix pomatia, Cepaea hortensis i* dr. Na osnovu navedenih vrsta ne može se detaljnije odrediti starost naslaga prve terase, jer one ukazuju samo na dosta toplu klimu, koja se nije razlikovala od današnje.

Debljina aluvijalnog nanosa prve savske terase najčešće iznosi 10-25 m, a mjestimice su poznate debljine do 45 m (Kovačević i Capar,1972). Šljunak i pijesak iz ove terase eksploatira se na mnogo mjesta.

Barski sedimenti (b): Ovi sedimenti predstavljaju područja recentnih močvarišta koja leže na širokim zaravnjenim površinama sjeverno od korita Save, kao posljedica plavljenja u vrijeme kišnih razdoblja. Podlogu im čine nepropusni sedimenti močvarnog tipa i ta su područja za vrijeme kišnog perioda poplavljena. Pojedini niži dijelovi terena su gotovo stalno pod vodom ili izrazito vlažni, pa se razvija močvarno bilje. Odvija se veoma polagana sedimentacija glinovitih siltova i glina. Slojevi su vrlo tanki.

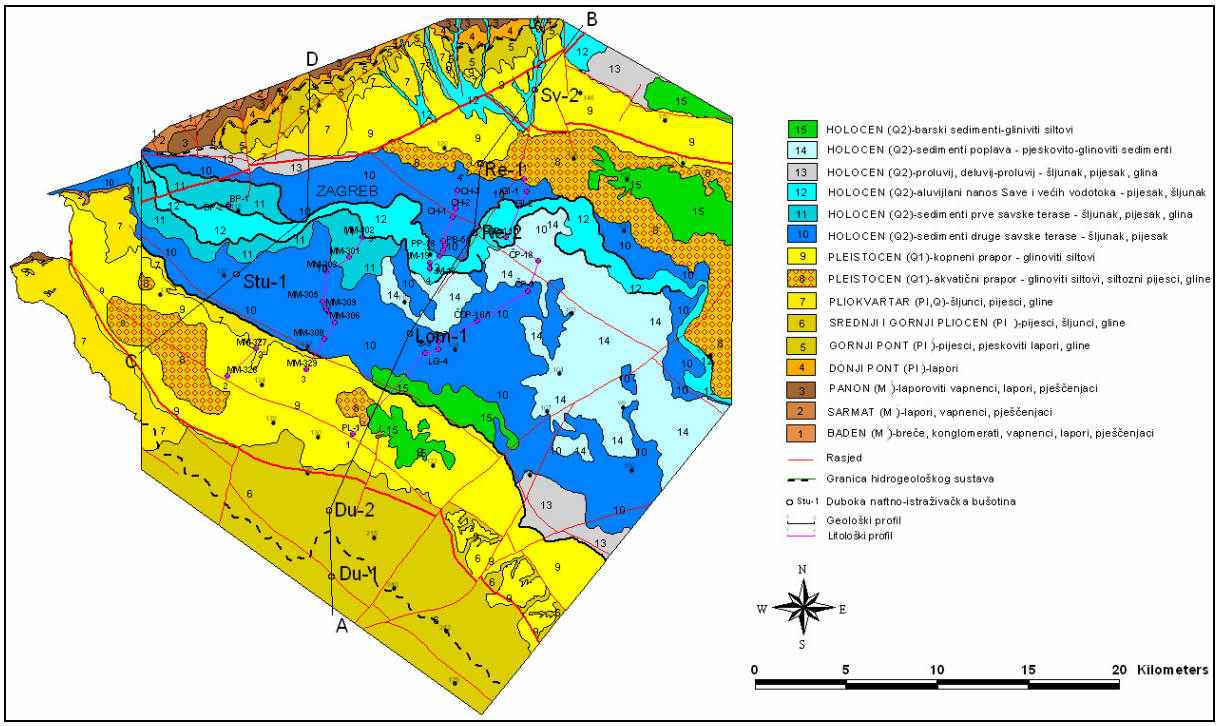
Aluvij recentnih tokova (a): Pod ovim nazivom izdvojeni su sedimenti na području neposredno uz Savu te naslage potočnog aluvija, koji su nastali plavljenjem za vrijeme višeg vodostaja i poplava. Područje uz Savu je 1-1,5 m visokim terasnim odsjekom odvojeno od prve i druge savske terase. Ovo područje izbrazdano je brojnim kanalima u kojima se mjestimice zadržava voda. U recentnom nanosu prevladava krupnozrni pijesak, dok je šljunak slabije zastupljen. U gornjim dijelovima pijesak ima mnogo ugljenog trunja, koje je nanijela rijeka Sava s područja slovenskih ugljenokopa. Naslage potočnog aluvija izdvojene su samo u većim potočnim dolinama. Sastoje se uglavnom od šljunaka i pijesaka, čija granulacija jako varira. Debljina ovih naslaga ne prelazi 10 m.

Facijes mrtvaja (am): Sedimenti mrtvaja izdvojeni su na malim površinama u blizini korita rijeke Save i njezinih starih tokova. Oni predstavljaju završetak sedimentacije aluvijalnih naslaga. U mrtvajama se taložio silt, barska glina i biljni materijal.

Facijes poplava (ap): Ovaj facijes je karakteriziran kanalima preostalim nakon premještanja korita rijeke Save uzrokovanih neotektonskim pokretima, u koje je ulazila voda kod višeg vodostaja i poplava rijeke Save. Sedimenti taloženi u starim koritima i u poplavnom području ne razlikuju se od aluvijalnog nanosa i sedimenata mrtvaja.

Deluvij – proluvij (dpr): Deluvijalno - proluvijalne naslage nalaze se u manjim količinama na južnim i zapadnim padinama Medvednice. Razvijene su uglavnom u obliku krupnozrnih slabo zaobljenih šljunaka, koji su pomiješani s pijeskom i glinom. Debljina ovih naslaga ne prelazi 10 m.

Zagrebački vodonosnik čine srednje i gornje pleistocenske te holocenske naslage. To područje je tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena bilo jezersko i močvarno, a okolno gorje (Medvednica, Marijagorička Brda i Žumberačko gorje) bilo je kopno podložno intenzivnoj eroziji i denudaciji. Trošeni materijal nošen je potocima i taložen u jezerima i močvarama (Velić i Saftić, 1991.). Početkom holocena, klimatski i tektonski procesi omogućili su prodor rijeke Save čime je započeo transport materijala s područja Alpa (Velić i Durn, 1993.). Transport materijala bio je promjenljivog intenziteta zbog čestih klimatskih promjena. Za vrijeme toplih i vlažnih razdoblja bio je intenzivan, dok se njegova intenzivnost smanjivala za vrijeme suhih i hladnih razdoblja. Osim klimatskih promjena, tektonski pokreti također su utjecali na procese taloženja (Velić et al., 1999.). Posljedica takvih uvjeta taloženja je izrazita heterogenost i anizotropija vodonosnika te neujednačena debljina naslaga. Gledano u tlocrtu aluvijalne naslage se na sjeveru naslanjaju na proluvijalne, pretežito glinovite naslage koje prelaze u slabopropusne tercijarne naslage južnih obronaka Medvednice (Slika. 2.5). Na zapadnom rubu, komunikacija zagrebačkog vodonosnika sa samoborskim je slaba zbog male kontaktne površine. Istočni rub sustava je izlazni, ali zbog smanjenih propusnosti ograničenog protoka. Na jugu zagrebački vodonosnik se naslanja na klastične sedimente Stupničke terase koji pak bočno prelaze u naslage gornje paludinskih slojeva koji izgrađuju sjeverne padine Vukomeričkih Gorica.



Slika 2.5: *Geološka karta zagrebačkog područja (preuzeto iz Bačani i Šparica, 2001)*

2.2.2. Pregled tektonskih zbivanja

Savska depresija formirana je tijekom miocena, a nalazi se uzduž južne granice Panonskog bazena. Zapadni dio depresije spušten je između sjevernog i južnog rubnog rasjeda i zone Medvedničkog rasjeda. Rasjedi su pretežno normalnog karaktera i vrlo strmih paraklaza, a prema smjeru pružanja mogu se grupirati u tri sustava: sjeverozapad-jugoistok (uzdužni), sjeveroistok-jugozapad (poprečni) i sjever-jug (dijagonalni) (Velić, 1983.). Strukturni razvoj jugozapadnog dijela Panonskog bazena prema Prelogović et. al. (1995.) razdvojen je u tri faze. Početne strukturne promjene pripisuju se razdoblju od oligocena do donjeg miocena.

Drugu fazu čine ekstenzijski procesi u donjem i srednjem miocenu, a novo oblikovanje strukturnog sklopa uz dominaciju desnih transkurentnih tektonskih kretanja od gornjeg pliocena do danas pripisuje se trećoj fazi. U magistarskom radu Ž. Ivković (1998.) također napominje ovu fazu kao posebno važnu i izražajnu, u kojoj snažni transpresijski režim utječe na rubne djelove bazena. Nekoliko rasjeda unutar bazena kao i jugozapadni granični rasjedi se zbog kompresije tijekom pliocena i kvartara reaktiviraju i pojavljuju kao reverzni.

Na području između Krškog na sjeverozapadu i Zagreba na jugoistoku leži dolina Save ispunjena nevezanim, aluvijalnim sedimentima. Postanak obrađenog dijela Savske potoline uvjetovan je tektonskim pokretima čija je aktivnost počela krajem pleistocena ili početkom holocena. Tada je na jugu Hrvatskog zagorja u jugoistočnim padinama Medvednice i Žumberka, duž značajnih rubnih rasjeda dinarskog pružanja, došlo do spuštanja blokova i djelomičnog razlamanja neogenskih donjopleistocenskih struktura prostorne orijentacije sjeveroistok-jugozapad. Razorena su i uzvišenja između Podsuseda i Sv. Nedelje kao i kod Brežica. Ta su uzvišenja u toku neogena i većeg dijela pleistocena povremeno razdvajala prostore Savskog i Zagorskog bazena, odnosno sinklinalna područja unutar depresije Hrvatskog zagorja. Istovremeno ili možda nešto kasnije nastali su rasjedi protezanja sjever-jug, duž kojih su formirane doline donjeg toka Sutle i Krapine. Ta tektonska aktivnost, zajedno s razlamanjem pretercijarnih stijena na današnjem prostoru Krške klisure, omogućilo je prodor vodenih masa u netom formirane nizinske prostore Krškog polja, Brežičko-Samoborskog polja i Zagrebačke depresije. Tada je izvršeno i najjače nasipavanje aluvijalnog materijala u ove nizinske prostore. Stvaranje rubnih terasnih odsjeka nastalih urezivanjem vodenog toka u neogenske ili predtercijarne stijene kontrolirano je rasjedima koji leže uz bokove savske doline. Rubni terasni odsjeci predstavljaju granicu ove tektonske jedinice prema jugozapadu i sjeveroistoku i ujedno markiraju područje van kojega vode savskog toka nisu nikada doprle. Te morfološke forme označene su kao rubni terasni odsjeci zato što im je postanak i oblik vezan za eroziju riječnog toka.

U kasnijim fazama evolucije Savske potoline, ovisno o snazi vodenog toka, istovremeno s donosom materijala vodama Save i njenih pritoka, vrši se i premještanje već istaloženih aluvijalnih sedimenata. Kada je pad savske doline nizvodno od Krškog bio veoma blag, to se je energija vodenog toka manifestirala pojavama bočne erozije, dok su procesi dubinske erozije bili manjeg intenziteta.

Posljedica su brojne pojave meandriranja kao i ostataka starih tokova u vidu mrtvaja i sprudova. Rezultat bočne erozije vodenog toka jest i postanak terasnih odsjeka i s tim u vezi akumulacionih terasa, koje je Sava formirala urezujući se u vlastiti nanos.

2.2.3. Hidrogeološki odnosi

Odlagalište Jakuševec – Prudinec je smješteno u području ravničarskog sliva rijeke Save. Rijeka Sava u je ravničarskom toku u stalnom kontaktu sa podzemnom vodom, te se osim oborinama i otapanjem snijega, napaja i podzemnom vodom, odnosno u ovisnosti od hidrogeoloških uvjeta, prihranjuje vodonosnik. Ravničarski sliv rijeke Save zauzima relativno uski pojas dolinskog dijela rijeke Save i prostire se od Zaprešića na zapadu, prateći tok rijeke Save koja na najvećem dijelu čini ujedno i južnu granicu područja. Ravničarski tok rijeke Save obuhvaća površinu od 5420 km^2, a srednja godišnja količina oborina iznosi između 800 i 1000 mm.

S hidrogeološkog stajališta na ovom području su važne taložine kvartara. Debljina naslaga se generalno povećava od zapada prema istoku i to, 7 – 8 metara kod Bregane, 12 – 15 metara sjeverno od Samobora. Naglo povećanje debljine uočeno je između Medsave i Domaslovca, a dalje prema podsusedskom pragu, šljunčani sloj se opet naglo istanjuje. Najveće debljine nanosa Save registrirane su na području Strmca (više od 50 m) i između Sv Nedelje i Domaslovca (više od 50 m). Pijesaka slabijih hidrogeoloških svojstava ima i u području Medsave na dubini većoj od 130 metara, a podina mu nije dosegnuta (Mayer, 2004.).

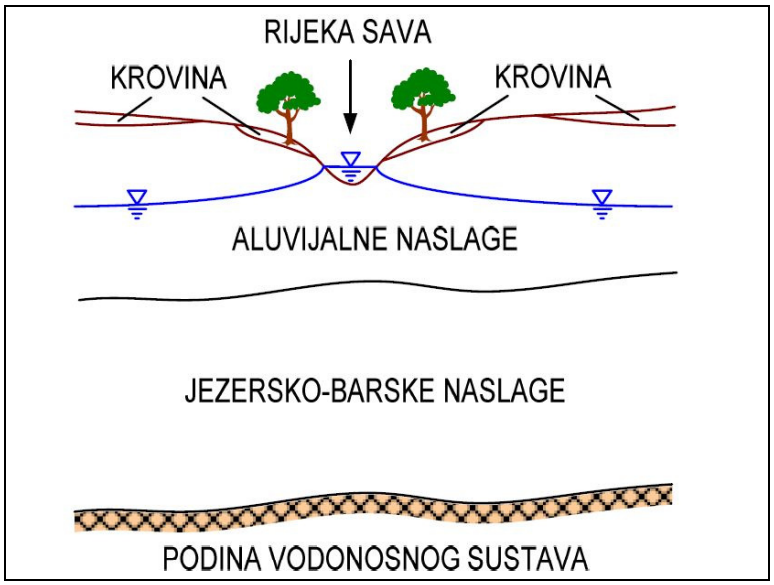
Na području Zagreba glavni vodonosnik sastoji se od šljunka, pijeska, praha i glina, te u manjoj mjeri konglomerata. Krovinu vodonosnika čini pijesak, prašinasti pijesak, prah i glina. Najveće debljine krovine registrirane su sjeverno od Save, a veće su na istoku (17 m) nego na zapadu. Najmanje debljine su bliže Savi i južno od Save. Vodonosnik u zapadnom dijelu područja ima debljinu 5 do 10 m. Na potezu Sašnjak – Mala Mlaka naglo povećava debljinu na 20 do 40 m i dalje raste, te na području Obrezina – Kosnica vodonosnik doseže debljinu i veću od 100 m. Česte su vertikalne i lateralne promjene granulacije krupnije klastičnih taložina, a s tim u vezi i promjena hidrogeoloških karakteristika. Podinu horizonta čine sivoplave i sivozelene gline. U pogledu hidrogeoloških karakteristika vodonosnik je vrlo kvalitetan a hidraulička veza sa Savom je vrlo dobra.

Količine podzemnih voda na zagrebačkom području su vrlo velike i od strateškog značaja za regiju i cijelu državu. Volumen obnovljivih zaliha podzemne vode od 1997. do 2007. godine u prosjeku je iznosio oko 107×10^6 m^3 dok je crpljenje u tom istom razdoblju u prosjeku iznosilo oko 125×10^6 m^3.

Dio crpne količine koji premašuje obnovljive zalihe nadoknađuje se iz stalnih, neobnovljivih zaliha. Volumen stalnih zaliha je 1977. godine iznosio 1,81 × 10^9 m^3, a 2007. godine 1,68 × 10^9 m^3 što znači da se u tridesetak godina smanjio za oko 7% (Bačani, Posavec, 2009.).

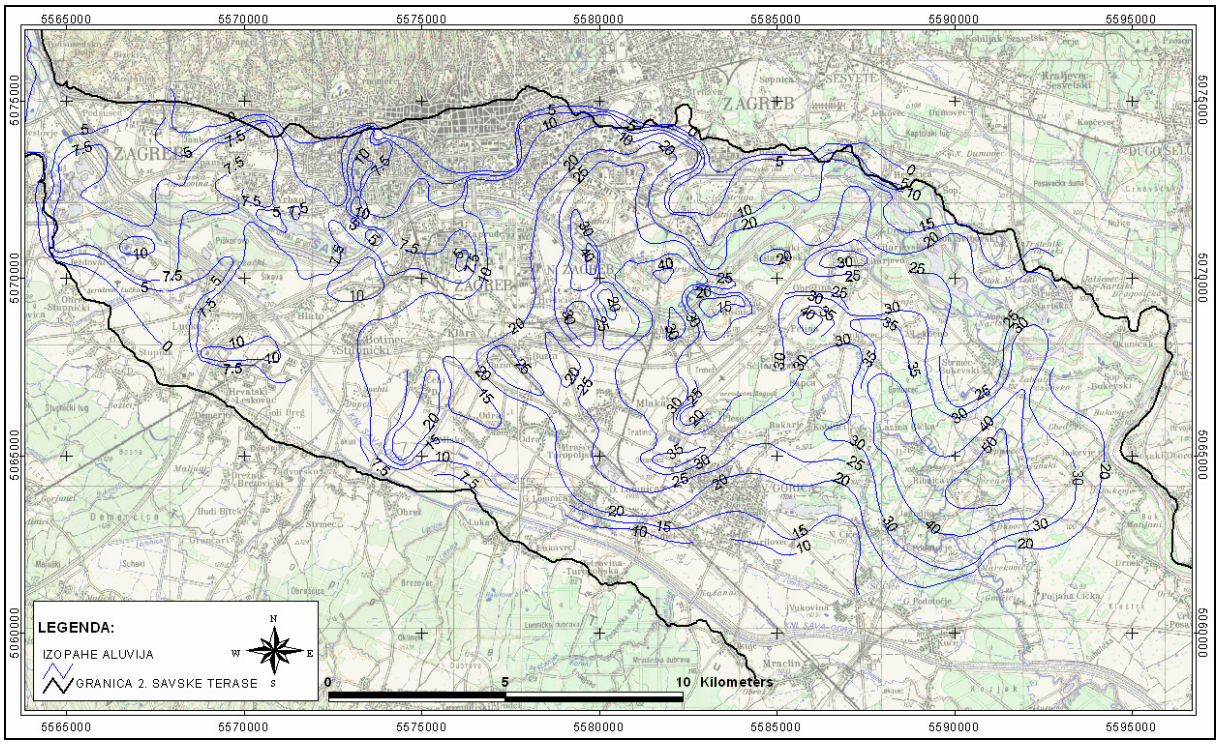
Trend pada vodostaja podzemnih voda (u najvećoj mjeri uvjetovan erozijom korita rijeke Save i posljedičnim padom vodostaja Save) smanjuje mogućnost eksploatacije, osobito na crpilištima s tanjim vodonosnikom.

U profilu Zagrebačkog vodonosnika se razlikuju dva vodonosna sloja: prvi vodonosni sloj s dominantno aluvijalnim naslagama rijeke Save i drugi vodonosni sloj s dominantno jezersko–barskim naslagama (Slika 2.6).



Slika 2.6: *Shematski profil zagrebačkog vodonosnog sustava (preuzeto iz Posavec, 2006)*

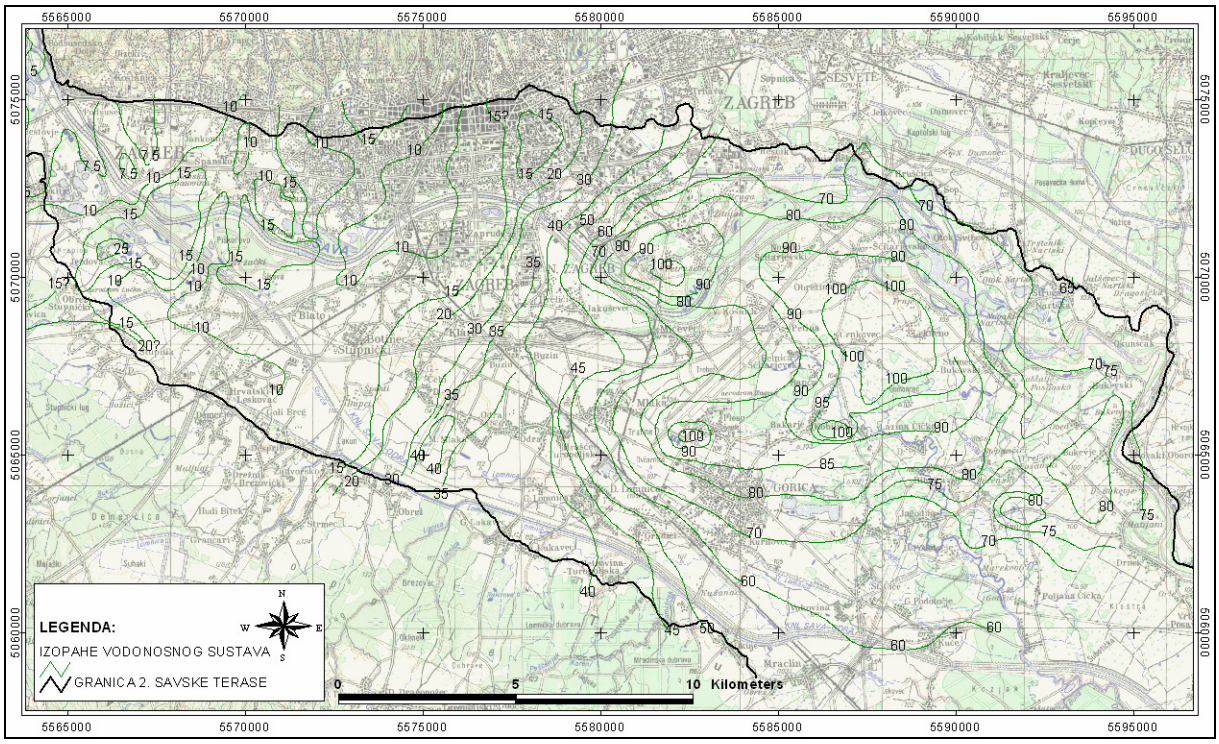
Debljina prvog vodonosnog sloja je od 5 i 10 metara u zapadnom dijelu do 40 metara u istočnom dijelu (Slika 2.7).



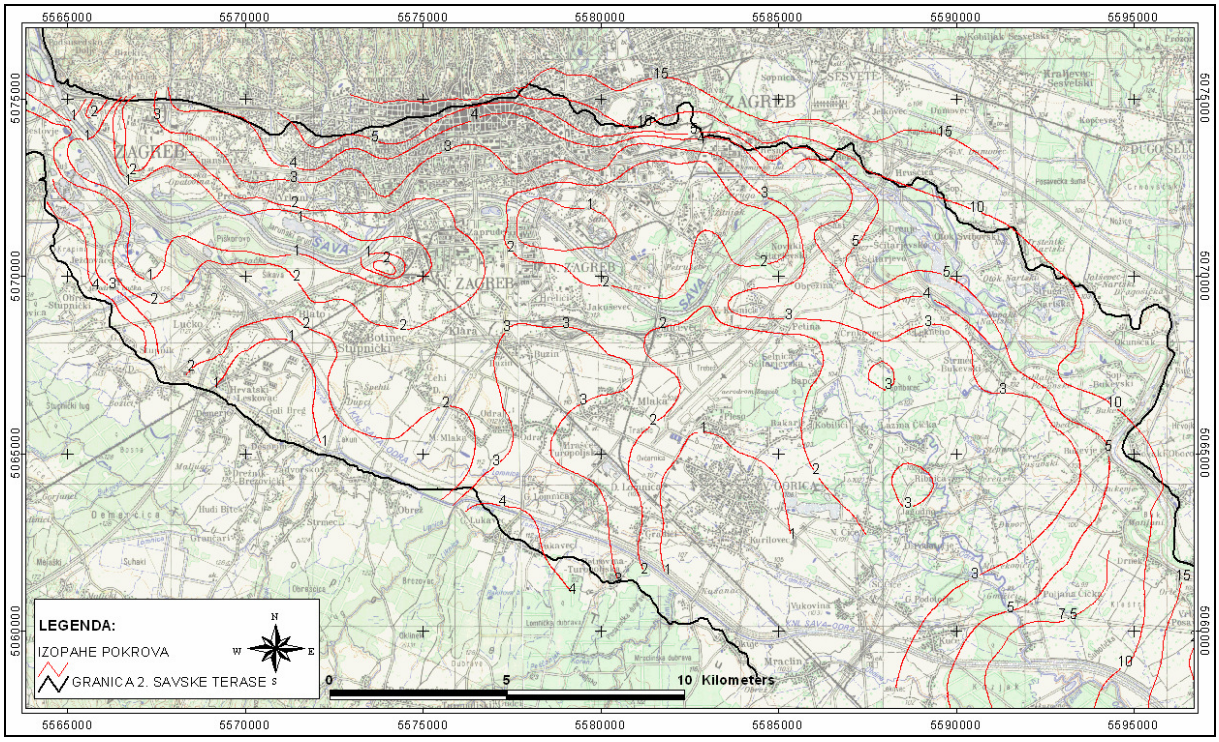
Slika 2.7: *Izopahe aluvija (preuzeto iz Bačani, Posavec, 2009.)*

Širina mu se mijenja od stotinjak metara (kod Podsuseda) do 10 000 m (trokut Sašnjak, Mala Mlaka, Velika Gorica). Debljina drugog vodonosnog sloja se u zapadnom dijelu sustava kreće do 20 metara, međutim one nisu kontinuiranog prostiranja već ih nalazimo u prirodnim ulekninama podine. U istočnom dijelu sustava debljina im je znatno veća i kreće se do 60 metara u području Črnkovca. Na slici 2.8 prikazane su ukupne debljine cijelog vodonosnog sustava (1.+2. sloj).

Slabo propusna krovina ili nije prisutna ili pak dostiže debljinu od svega nekoliko metara na većem dijelu vodonosnog sustava, a tek se u jugoistočnom dijelu ili u rubnim predjelima povećava i do petnaestak metara (Slika 2.9). Prirodno tanki pokrov je dodatno devastiran i on više ne predstavlja zaštitu od zagađenja s površine. Podinu vodonosnog sustava čine slabo propusne naslage.



Slika 2.8: *Izopahe vodonosnog sustava (preuzeto iz Bačani, Posavec, 2009.)*



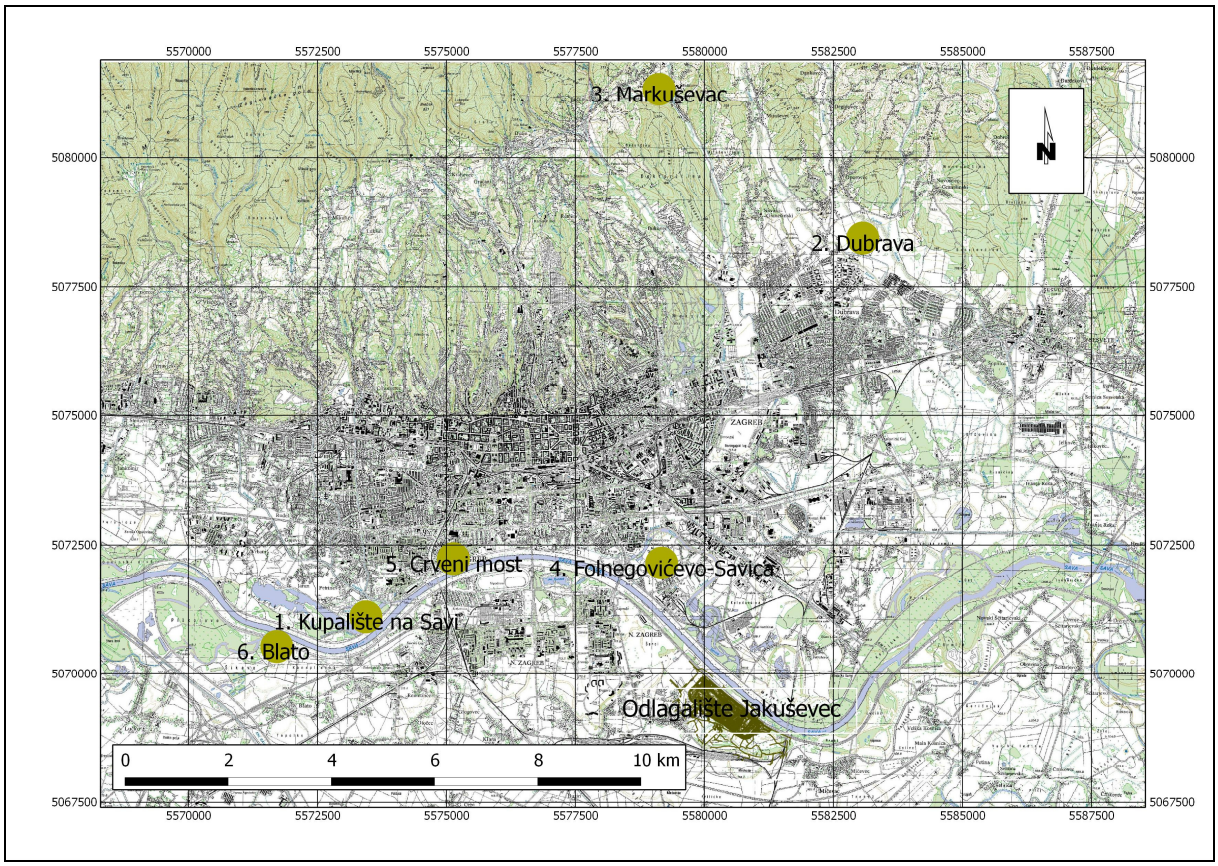
Slika 2.9: *Izopahe pokrova vodonosnog sustava (preuzeto iz Bačani, Posavec, 2009.)*

3. HISTORIJAT ODLAGALIŠTA

3.1. Odlaganje otpada

3.1.1. Povijest odlaganja otpada

Prije korištenja lokacije "Jakuševec", početkom pedesetih godina smeće se odvozilo na odlagalište koje se nalazilo na mjestu kasnijeg kupališta na Savi, te vrlo kratko na odlagalište u Dubravi i u Markuševcu. Od jeseni 1947.godine smeće se iz cijelog grada vozilo između današnjeg Folnegovićevog naselja i Savice, a zatim uz nasip kod Crvenog mosta, na lijevoj obali Save, a od 1960. godine odlagalište se preselilo blizu naselja Blato (Fundurulja i dr. 2008.). Lokacije starijih odlagališta otpada prije korištenja lokacije "Jakuševec" su prikazane na slici 3.1.



Slika 3.1: *Lokacije starijih odlagališta otpada prije korištenja lokacije "Jakuševec", 1. Kupalište na Savi, 2. Dubrava, 3. Markuševac, 4. područje između današnjeg Folnegovićevog naselja i Savice, 5. lokacija uz nasip kod nekadašnjeg Crvenog mosta, na lijevoj obali Save i 6. lokacija u blizini naselja Blato (prema podacima: Fundurulja i dr. 2008.)*

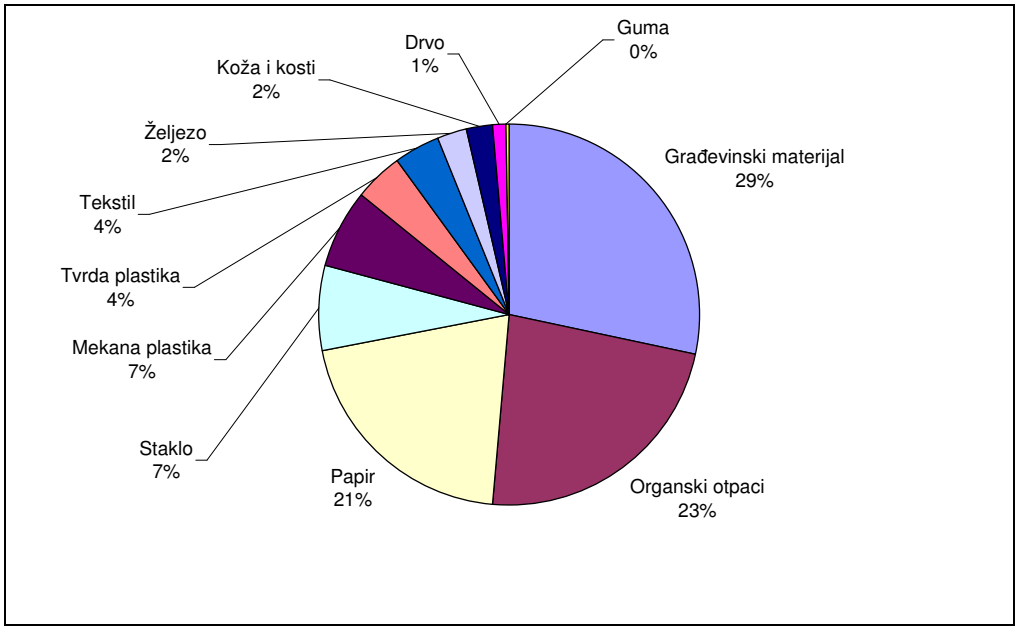
Odluka o odlaganju otpada na lokaciji "Jakuševec" koja je tada bila na periferiji grada donesena je 1964. godine (Kaić, Orešković, 1995.). Odlagalište Prudinec (Jakuševec) počelo se formirati 1965. god., tako da je na nepripremljeno zemljište s plitkim šljunčarama i rukavcima neselektivno odlagan komunalan i industrijski otpad grada Zagreba. Tako je formirano na 80 ha neuređeno odlagalište, koje je do 1995. godine zapremalo oko 6.0 milijuna m^3 otpada (Kaić, Orešković, 1995.), a zbog zanemarivanja problema odlagalište je postalo najveće neuređeno odlagalište otpada u jugoistočnom dijelu Europe (Nakić i dr., 2007.).

3.1.2. Sastav odloženog otpada

Tijekom dvadeset godina odlaganja na lokaciju "Jakuševec" su se dovozile i neselektivno odlagale razne vrste otpada, od komunalnog do industrijskog i medicinskog, a sastav otpada nije bio poznat. Sredinom osamdesetih godina prošlog stoljeća Institut za agroekologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu je 1985. godine uzimao uzorke otpada na lokaciji odlagališta "Jakuševec" i napravio je kemijske analize (Mayer, Markovac, 1992.). Prema rezultatima kemijskih analiza, u zagrebačkom komunalnom otpadu od kationa je najzastupljeniji kalcij, a slijede magnezij, kalij, natrij, željezo. Od aniona prevladavaju silikati, karbonati, kloridi, sulfati i fosfati. Obzirom da se na odlagalište "Jakuševec" dovozi otpad grada Zagreba, prvi objavljeni mjerodavni podaci o njegovom sastavu su iz 1991. godine (Tušar i dr, 1991). Prema tim podacima, na području grada Zagreba dnevno je prikupljano 824 tona komunalnog otpada, dalje po količini slijedi industrijski otpad čija količina, se za grad Zagreb procjenjivala na približno 40 t dnevno. Bolnički otpad čini mali dio od ukupne količine otpada koji nastaju u urbanim sredinama i obično ne prelazi 0,5 %. Tako je 1991. godine u Zagrebu dnevno prikupljano oko 3,5 t bolničkog otpada (Tušar i dr, 1991). Sastav komunalnog otpada u velikoj mjeri ovisi o standardu i navikama stanovnika. Zagrebački komunalni otpad sastoji se od sljedećih komponenti: građevinski materijal, organski otpaci, papir, staklo, plastika, tekstil, željezo, koža i kosti, drvo i guma. Oko 75,8% otpada sastoji se od anorganskih spojeva, dok 24,2% čini organska supstanca, prosječna vlažnost varira ovisno o godišnjem dobu i kreće se između 31 i 47%. Pregled sastava komunalnog otpada na odlagalištu Jakuševec – Prudinec prema Tušar i dr. (1991.) je prikazan u tablici 3.1. i na slici 3.2., a koncentracije mikroelemenata u tablici 3.2. i na slici 3.3.

Tablica 3.1: *Prosječni sastav zagrebačkog komunalnog otpada, prema Tušar i dr, 1991*

Tvar	Postotni udio
Građevinski materijal	28,2
Organski otpaci	23,3
Papir	20,5
Staklo	7,3
Mekana plastika	6,6
Tvrda plastika	4,2
Tekstil	3,8
Željezo	2,4
Koža i kosti	2,2
Drvo	1,1
Guma	0,4

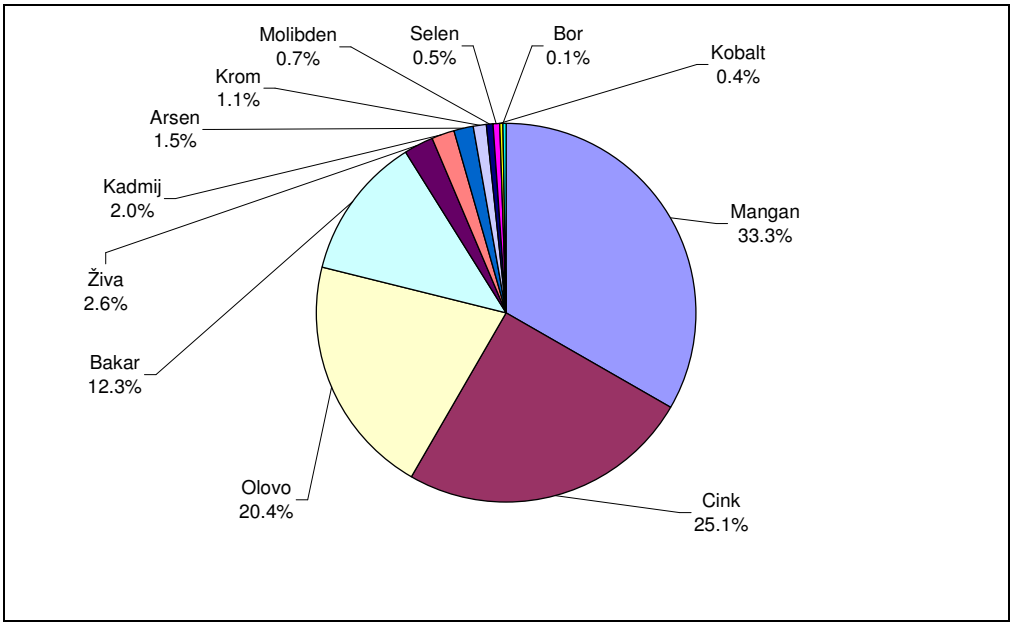


Slika 3.2: *Grafički prikaz prosječnog sastava zagrebačkog komunalnog otpada, prema Tušar i dr, 1991*

Iz tablice 3.1 i slike 3.2, vidljivo je da su 1991. u otpadu najzastupljeniji bili građevinski (29 %) i organski (23 %) otpad koji su zajedno činili nešto više od pola (52 %) ukupno odloženog otpada. Papira je bilo 21 % tj., oko jedne petine ukupnog otpada. Mekana i tvrda plastika je zauzimala nešto više od jedne desetine (11 %) količine odloženog otpada, dok su ostale komponente pojedinačno bile zastupljene sa manje od 10 % (staklo 7 %, tekstil 4 %, željezo 2 %, koža i kosti 2 % i drvo 1 %).

Tablica 3.2: *Koncentracija mikroelemenata u suhoj tvari sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec", prema Tušar i dr, 1991*

Mikroelement	**Koncentracija (mg/kg suhe tvari)**
Mangan	678
Cink	512
Olovo	415
Bakar	251
Živa	52
Kadmij	*40*
Arsen	*30*
Krom	*23*
Molibden	*14*
Selen	*10*
Kobalt	*8*
Bor	*3*



Slika 3.3: *Grafički prikaz postotnog sastava mikroelemenata u suhoj tvari sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec", prema Tušar i dr, 1991. (Napravljeno prema tablici 3.2)*

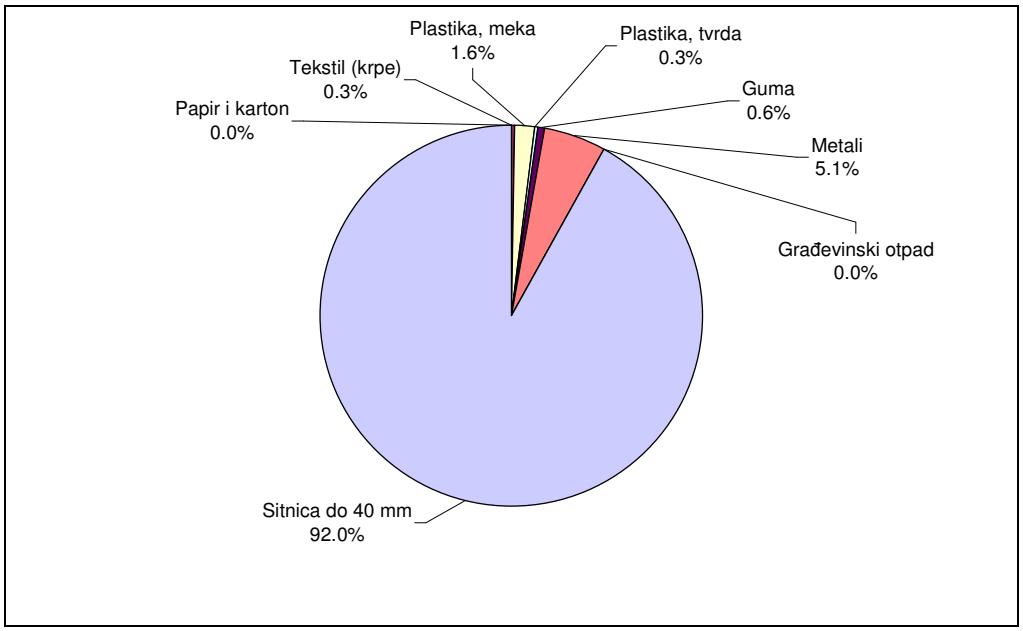
Od mikroelemenata u otpadu (Tablica 3.2, Slika 3.3) mangan, cink i olovo su najzastupljeniji i zajedno ih ima nešto više od tri četvrtine. Značajan postotak zauzima bakar, a svi ostali mikroelementi zajedno su zastupljeni u koncentraciji manjoj od 10 %.

U sklopu pripremnih radova sanacije odlagališta "Jakuševec", 1995. godine napravljena je analiza odloženog otpada (TVZ, 2009.). Na tijelu odlagališta je napravljen veći broj bušotina i sa različitih dubina su uzimani uzorci otpada. Analizirano je ukupno dvadeset i šest (26) uzoraka razne starosne dobi i iz raznih dubina, a uzorci su bili razdijeljeni na one koji pripadaju otpadu odloženom do 1972. godine i otpadu odloženom do 1991. godine (Tablica 3.3, Slika 3.4, 3.5).

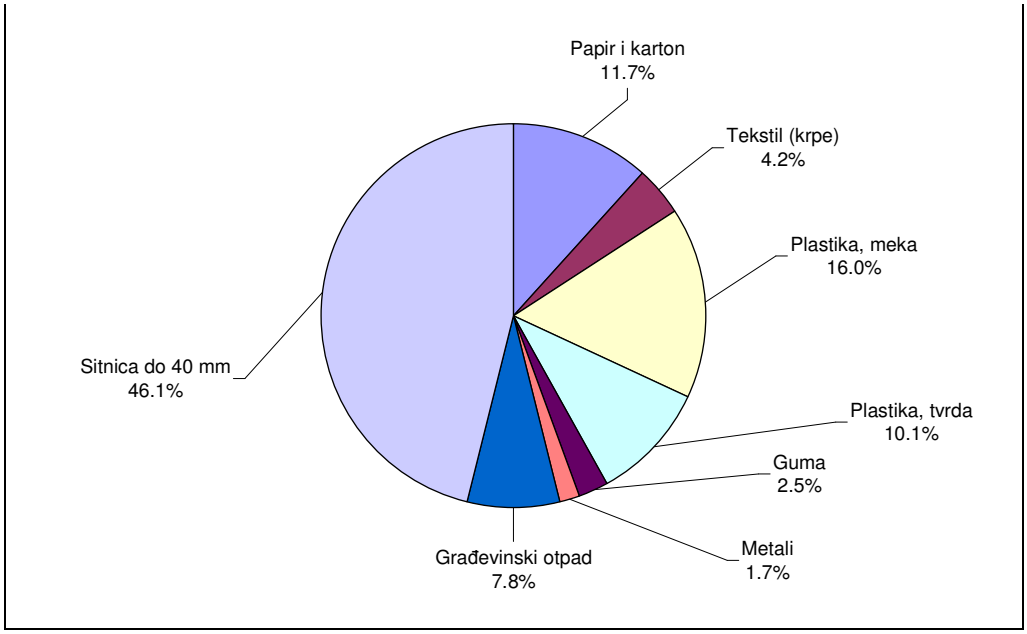
Rezultati analiza su bili sljedeći: otpad je mješavina komunalnog i tehnološkog otpada, gustoća otpada je bila između 750 kg/m^3 do 1050 kg/m^3, stariji uzorci imaju veću gustoću, a vlažnost uzoraka varira od 27% do 40%. U svakom uzorku su nađene tzv. problematične tvari (baterije, lijekovi, šprice itd.), a udio "sitnice" (frakcija veličine do max 40 mm) raste s godinama starosti (Tablica 3.3, Slika 3.4, 3.5).

Tablica 3.3: *Rezultati ispitivanja uzoraka sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec" (TVZ, 2009.)*

Vrsta materijala	Postotni udio za period odlaganja do 1972. godine	Postotni udio za period odlaganja do 1991. godine
Papir i karton	0,0	10,2
Tekstil (krpe)	0,3	3,7
Plastika, meka	1,5	14,0
Plastika, tvrda	0,3	8,8
Guma	0,6	2,2
Metali	4,8	1,5
Građevinski otpad	0,0	6,8
Sitnica do 40 mm	86,8	40,3



Slika 3.4: *Grafički prikaz postotnog sastava uzoraka sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec" za period odlaganja do 1972. godine (Napravljeno prema tablici 3.3, TVZ, 2009.)*



Slika 3.5: *Grafički prikaz postotnog sastava uzoraka sa zagrebačkog odlagališta otpada "Jakuševec" za period odlaganja do 1991. godine (Napravljeno prema tablici 3.3, TVZ, 2009.)*

U otpadu odlaganom do 1972. godine (Tablica 3.3, Slika 3.4), najveći udio je zauzimala frakcija "sitnica" (92 %) a ostale komponente svega 8 %, uzrok tome je vrijeme koje je prošlo od odlaganja do uzorkovanja (23 – 30 godina). U tom vremenskom razdoblju najveći dio otpada je bio razgrađen mikrobiološkim procesima u odlagalištu, ali i visokim temperaturama koje one izazivaju i izgaranju u nekontroliranim požarima.

U otpadu odlaganom od 1972. – 1991. godine (Tablica 3.3, Slika 3.5), najveći udio je još uvijek zauzimala frakcija "sitnica", ali ovog puta "samo" 40 %, a vidljiv je značajan porast ostalih vrsta otpada, posebice plastike koja zauzima više od četvrtine količine otpada, a značajan udio imaju i građevinski otpad te papir i karton. Vrijeme koje je prošlo od odlaganja do uzorkovanja ovih uzoraka iznosi između 23 i 4 godine, pa iako je u tom vremenskom razdoblju veliki dio otpada bio razgrađen mikrobiološkim procesima i požarima, ipak je bilo moguće dobiti točnije podatke o njegovom sastavu.

Kako je ranije navedeno, ove analize su napravljene u sklopu radova sanacije i svrha određivanja sastava otpada je bila za potrebe planiranja građevinskih radova i tehnologije sanacije.

Tijekom 1997. i 1998. godine, provedeno je više nadzora dovezenog otpada na odlagalište (Fundurulja, Mužinić, 1998.) u kvartalnim ciklusima i to: svibanj, 1997., kolovoz, 1997., veljača, 1998. i svibanj 1998.

Tijekom svakog od navedenih ciklusa napravljena su tjedna ispitivanja količine i sastava dovezenog otpada na odlagalište. Pratio se dovoz komunalnog i građevinskog otpada unutar jednog tjedna u kvartalu, a za treći kvartal praćenja (svibanj 1998.) je napravljen sastav otpada registriranog tijekom tjednog praćenja u tom kvartalu, a kada je ujedno sakupljena i najveća količina otpada tijekom razdoblja praćenja od 6.334 tona. Sastav otpada u tom ciklusu praćenja je bio sljedeći:

- Miješani komunalni otpad 4.234 tona (69,0%)
- Otpad s tržnica 157 tona (2,5%)
- Ostaci od čišćenja ulica 354 tona (5,6%)
- Otpad iz vrtova, parkova i groblja 129 tona (2,0%)
- Glomazni otpad 701 tona (11,1%)

- Miješani ambalažni otpad 95 tona (1,5%)
- Ostali otpad 269 tona (4,4%)
- Tehnološki otpad sličan komunalnom 149 tona (2,4%)
- Otpad od čišćenja divljih odlagališta 97 tona (1,5%).

Iz popisa je moguće pretpostaviti da je najveći dio u prikupljenom otpadu imala organska tvar, međutim kako su autori koristili različit pristup istraživanju sastava otpada nije moguće dati usporedbu rezultata koja bi mogla uputiti na zaključke o promjeni sastava otpada tijekom vremena.

U razdoblju od 2002. do 2011. napravljeno je više ciklusa uzorkovanja karakterističnih vrsta otpada. Uzorkovanja su bila napravljena na način da je odvajan svaki osmi kamion s komunalnim otpadom, koji ulazi na odlagalište i upućen je da istovari svoj sadržaj na površinu za uzorkovanje (Tudić, et al., 2011.).

Uzimanje karakterističnog uzorka vršeno je postupkom četvrtanja istovarene hrpe otpada. Istovarena hrpa se utovarivačem razdijelila na dva dijela po uzdužnoj osi. Polovina otpada se odstranila, a preostala polovina se miješala utovarivačem dok se nije formirala nova hrpa, i to na način da se otpad zahvaćao od periferije prema centru, istresao uvijek na istoj poziciji i sa iste visine. Novo formirana hrpa se dijelila u križ na četiri jednaka dijela (četvrta), dva nasuprotna dijela su se odstranila, a od preostala dva se formirao uzorak od 2 m^3. Uzorci su označavani rednim brojem i spremani na prostor na kojem se provodilo izdvajanje karakterističnih vrsta otpada. Nakon izdvajanja karakterističnog uzorka pristupilo se izdvajanju karakterističnih vrsta otpada tj. utvrđivanju sastava karakterističnog uzorka. Uzorak od 2 m^3 otpada istresao se iz vreće na stolu za sortiranje nakon čega je počelo pražnjenje materijala iz vrećica, limenki i sličnog. Izdvajali su se svi predmeti veći od 50×50×50 cm, identificirali su se i odlagali sa strane. Ostatak otpada se grabljama i ručno pretraživao i razdvajao po vrstama. Prilikom pretraživanja na posebne hrpe sa strane izdvajane su sljedeće vrste otpada:

- tekstil
- papir
- plastika i stiropor
- staklo

- prerađena koža
- metali
- građevinski otpad
- organski otpad životinjskog porijekla
- organski otpad biljnog porijekla
- ostali i neidentificirani otpad

Izdvojeni se otpad po vrstama spremao u plastične vreće koje su označavane oznakom uzorka i vrste otpada (pripadajućim rednim brojem) i vagane na priručnoj vagi. Rezultati su bilježeni te su zbrajane mase svake vrste otpada iz čega su dobiveni postotni odnosi, što je prikazano u tablici 3.4.

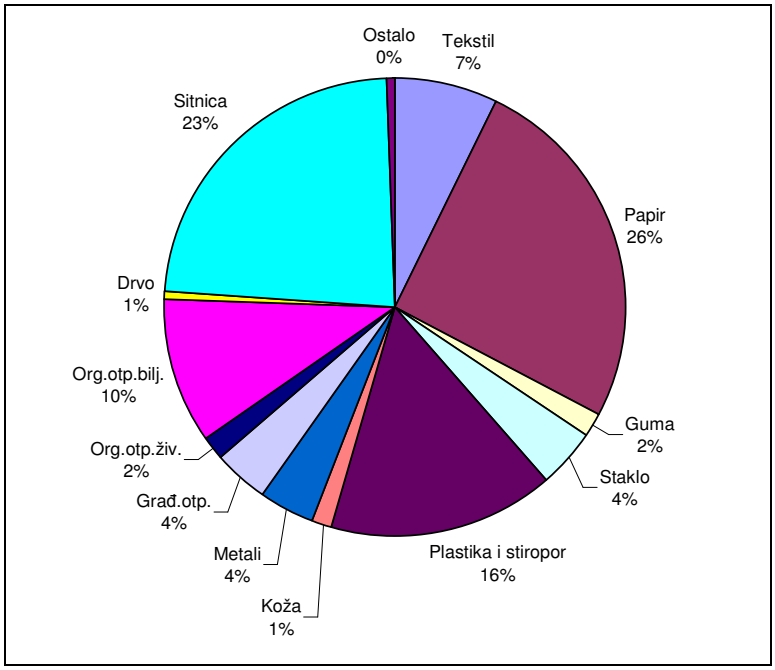
Obzirom na rezultate analiza u tablici 5.5 su dane minimalne i maksimalne vrijednosti količina pojedinih vrsta otpada, a na temelju prosječnih vrijednosti napravljen je grafički prikaz prosječnog sastava komunalnog otpada koji dolazi na odlagalište "Jakuševec" (Slika 3.6).

Tablica 3.4: *Rezultati analiza uzorkovanja otpada od 2002. do 2011. godine (Tudić, et al., 2011.)*

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010	2011
Tekstil	8,70	7,01	7,77	8,40	8,32	7,05	5,90	5,50
Papir	25,50	24,94	24,80	28,11	26,73	22,32	28,00	24,50
Guma	1,80	1,63	1,77	1,61	2,04	2,84	0,80	0,70
Staklo	4,10	4,62	5,00	5,45	3,20	4,37	2,70	4,00
Plastika i stiropor	23,90	20,19	18,73	14,75	10,99	11,12	15,20	12,50
Koža	1,60	1,46	1,62	1,83	1,11	1,05	1,30	1,50
Metali	2,40	3,71	4,01	5,56	4,19	4,93	2,20	3,50
Građ.otp.	1,80	3,29	3,47	4,54	5,81	5,13	5,00	2,80
Org.otp.živ.	1,20	1,26	1,30	1,34	0,98	0,77	0,90	5,30
Org.otp.bilj.	5,50	10,69	10,06	9,32	10,95	12,27	11,00	13,00
Drvo							0,70	0,60
Sitnica	22,90	21,01	21,23	19,06	25,64	27,91	25,70	24,30
Ostalo	0,50	0,19	0,24	0,03	0,07	0,25	0,60	1,90

Tablica 3.5: *Statistička obrada rezultata analiza uzorkovanja otpada od 2002. do 2011. godine*

	Min	Max	Prosjek
Tekstil	5,50	8,70	7,33
Papir	22,32	28,11	25,61
Guma	0,70	2,84	1,65
Staklo	2,70	5,45	4,18
Plastika i stiropor	10,99	23,90	15,92
Koža	1,05	1,83	1,43
Metali	2,20	5,56	3,81
Građ.otp.	1,80	5,81	3,98
Org.otp.živ.	0,77	5,30	1,63
Org.otp.bilj.	5,50	13,00	10,35
Drvo	0,60	0,70	0,65
Sitnica	19,06	27,91	23,47
Ostalo	0,03	1,90	0,47



Slika 3.6: *Prosječni sastav otpada koji se dovozi na odlagalište "Jakuševec" napravljen na temelju uzorkovanja od 2002. do 2011. godine (Tudić, et al., 2011.)*

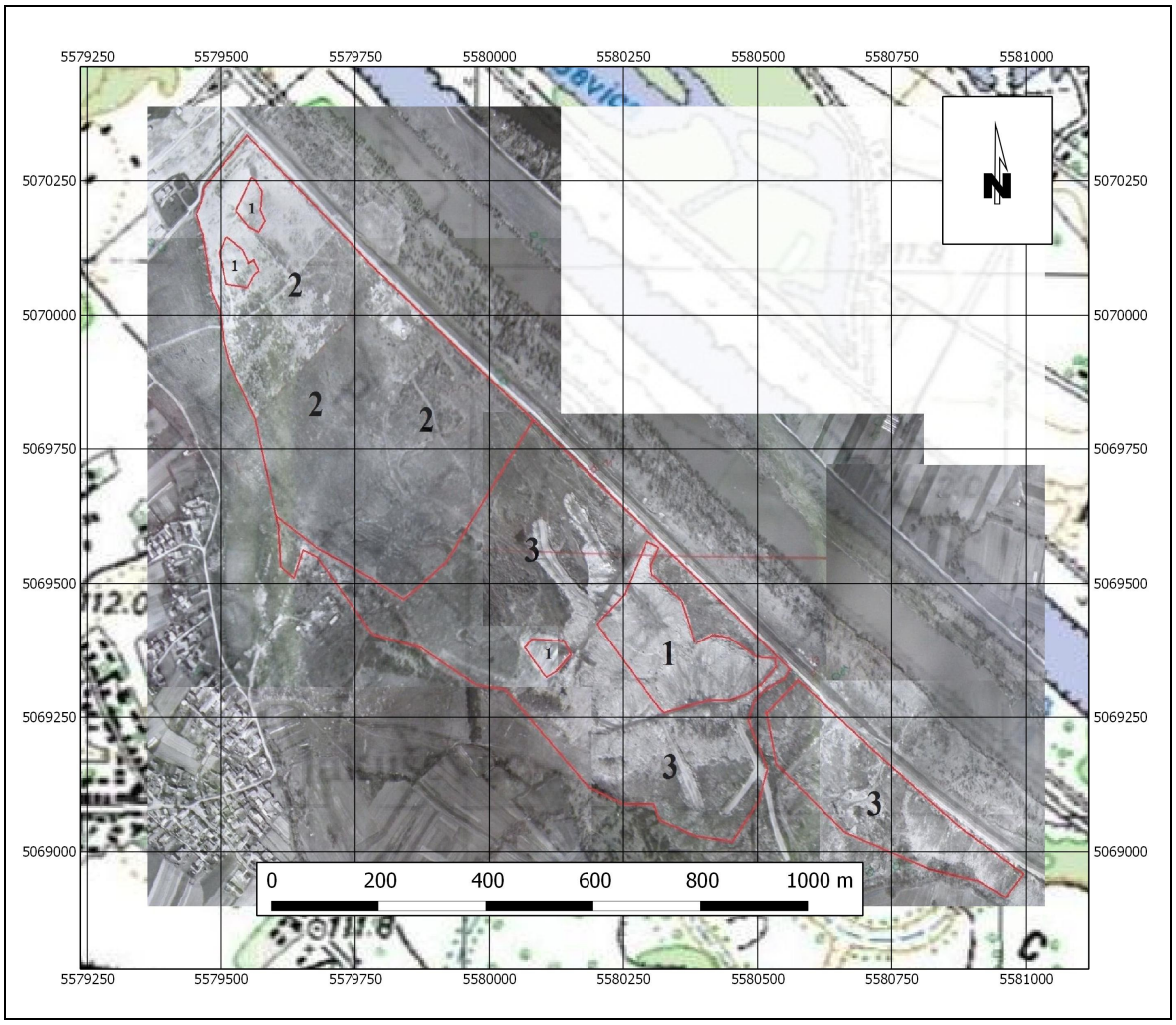
3.1.3. Količina odloženog otpada

Od početka rada odlagališta Jakuševec 1965. godine pa do montaže kolske vage 1992. godine ne postoje stvarni podaci o odloženim količinama otpada na odlagalištu (Fundurulja, Mužinić, 1998.) tako da podaci o ranije odloženim količinama otpada značajno variraju.

Do početka sanacije 1995. godine, procjene su iznosile oko 6 milijuna kubičnih metara odloženog otpada na površini od oko 80 ha (Drnjević, Horvat, 1995.; Kaić, Orešković, 1995.), a visina sloja otpada u središnjem dijelu odlagališta je iznosila preko 15 metara (Kaić, Orešković, 1995.).

Kako bi se što je moguće točnije mogla odrediti količina odloženog otpada, primjenjene su metode daljinskih istraživanja (Oluić, 1995., Oluić, Buchroithner, 1996.). Istraživanja klasičnim metodama su složena, dugotrajna i skupa, pa je i to jedan od razloga zašto su primijenjena daljinska istraživanja koja naravno ne isključuju primjenu klasičnih metoda, već ih kvalitetno nadopunjavaju (Oluić, 1995., Oluić, 1996.). Za proračun količina su bili korišteni arhivski fotogrametrijski aerosnimci koji su bili značajan izvor podataka kako o terenu na kojem se nalazi smetlište, tako i o samom smetlištu. Fotogrametrijskom izmjerom na aerosnimcima (stereomodelu) različitih generacija može se precizno izračunati volumen odloženog otpada. Na infracrvenim aerosnimcima registriraju se termalne anomalije na površini smetlišta, koje su u pravilu u usporedbi s okolnim područjem povišene. Analizom tih snimaka moguće je utvrditi i stupanj aktivnosti procesa razgradnje u pojedinim dijelovima odlagališta (Oluić, 1995).

Prvi (arhivski) dostupni fotogrametrijski snimci datiraju iz 1968. godine. To su bili pankromatski aerosnimci približnog mjerila 1:18750. Pankromatski snimci su snimani na pankromatskom filmu. Pankromatski film, *Panchromatic film*, je crno – bijeli film osjetljiv na sve vidljive zrake (valna duljina između 0,4 i 0,7 μm) (Oluić, 2001.). Na tim snimcima je utvrđeno da se otpad počeo odlagati na poprilično devastiranom terenu zbog nekontroliranog vađenja šljunka. Na mnogim mjestima gdje se eksploatirao šljunak preostala su jezera u direktnoj vezi sa podzemnom vodom. Među njima je bilo najveće ono u predjelu današnjeg sajmišta automobila (danas je potpuno zatrpano). Otpad je bio registriran na dva mjesta u manjim količinama i to na predjelu šljunčare i u sredini današnjeg smetlišta (Slika 3.7).



Slika 3.7: *Prikaz širenja odlagališta otpada Jakuševec od 1965. do 1995. godine, prema (ZGO & GEOSAT, 1996.) na assamblage-u aviosnimaka (GEOSAT, 1995.) 1 otpad odložen u razdoblju od 1968. do 1977., 2 otpad odložen u razdoblju od 1977. do 1981. i 3 otpad odložen u razdoblju od 1981. do 1995. godine.*

U sredini smetlišta otpad je odlagan na dvije lokacije, međusobno udaljene oko 60 metara. Ono bliže savskom nasipu bilo je dimenzija oko 200 x 100 metara, dok je manje odlagalište imalo dimenzije 80 x 40 metara (Oluić, 1995). Na fotogrametrijskim aerosnimcima iz 1977. godine registrirano je proširenje smetlišta prema sjeverozapadu i prema jugoistoku duž savskog nasipa, pa mu je ukupna dužina iznosila oko 1400 metara, dok mu je širina u prosjeku bila 350 metara. Iz 1980. godine, korišteni su infracrveni kolor – aerosnimci *Infrared colour photograph*. Ove fotografije su snimane na filmu gdje je crveni sloj osjetljiv na infracrvene zrake (valne duljine elektromagnetnog spektra 0,7 µm – 1 mm), zeleni sloj na slici na crveno svjetlo vidljivog dijela spektra i plavi sloj na zelenu svjetlost vidljivog dijela spektra.

Drugim riječima, elektromagnetno zračenje infracrvenog spektra (0,7 μm – 1 mm) je na fotografiji prikazana u nijansama crvene boje, njanse crvene svjetlosti vidljivog dijela spektra su na snimci prikazane u nijansama zelene boje, a zelena boja je na snimci prikazana u nijansama plave. Ti snimci su u literaturi poznati i pod nazivom falš kolorna ili pseudokolorna fotografija, jer boje na slici ne odgovaraju prirodnim bojama (Oluić, 2001.).

Na infracrvenim kolor – aerosnimcima iz 1980. godine zapažaju se drastične promjene na površini terena. Tako je dio savskog rukavca s velikom šljunčarom (jezerom) u području sajmišta u potpunosti zatrpan i zaravnjen. Gotovo sva udubljenja (šljunčare) koja čine podinu smetlišta, a koja su registrirana na aerosnimcima iz 1968. godine, posve su zatrpana otpadom. Od glavnog ulaza u smetlište debljina otpada je rasla u smjeru jugoistoka, sve do udaljenosti od 700 metara . U produžetku prema željezničkom mostu nalazi se mlađe odlagalište, duljine veće od 400 metara i širine oko 570 metara. U nastavku, prema mostu, izgrađeni su prilazni putevi za dovoz otpada, koji se tek počeo tu navažati. Površina iznosi približno 380 x 280 metara. Na terenu su zapažena nova udubljenja iz kojih se vadio šljunak (Oluić, 1995.). Analizirani su i pankromatski aerosnimci iz 1981. godine, i na njima je utvrđeno širenje smetlišta u smjeru jugoistoka, pa je najvećim dijelom ispunjen prostor u kojem su prethodne godine izgrađeni putevi za dovoz otpada. Navažan je također duž savskog nasipa, sve do željezničkog mosta, prelazeći i jugoistočno od mosta. Širina otpada uz nasip je iznosila oko 70 metara (Oluić, 1995.). Na pankromatskim aerosnimcima iz 1989. godine u mjerilu 1:4650 mogle su se dobro odrediti granice smetlišta, koje su se već približile selu Jakuševec, a savski rukavac, koji je 1980. godine činio jugozapadnu granicu smetlišta, najvećim dijelom je prekriven otpadom. Jugoistočni dio smetlišta je tako bio povezan s onim u sjeverozapadnom dijelu, te su smetlišta činila jedinstvenu masu. Otpad se uglavnom odlaže na već odloženom materijalu te mu debljina raste, naročito u središnjem dijelu. Dimenzije smetlišta te godine iznosile su od glavnog ulaza do prve "radne plohe" oko 1400 metara s prosječnom širinom od 470 metara (Oluić, 1995.). U nastavku, prema mostu, duljina smetlišta iznosi oko 650 metara, a širina oko 90 metara.

Također su analizirani infracrveni i termalni snimci područja smetlišta. Na sinoptički načinjenim infracrvenim snimcima na smetlištu "Jakuševec" mogu se razlikovati tri dijela – jugoistočni, središnji i sjeverozapadni, što je vjerojatno posljedica debljine i sastava otpada te aktivnosti procesa razgradnje (Oluić, 1995.).

Na aerotermalnim snimcima (termogramima), načinjenim 1974. godine pomoću multispektralnog skenera DS – 1250 ("Daedalus" – Michigan, SAD), smetlište pokazuje povećanu termalnu anomaliju u odnosu na okolni teren, što je posljedica mikrobiološke aktivnosti te nekontroliranih požara. Pojam termogram označava termalni infracrveni snimak (Thermal infrared image) načinjen skenerom u termalnom infracrvenom kanalu (Oluić, 2001.).

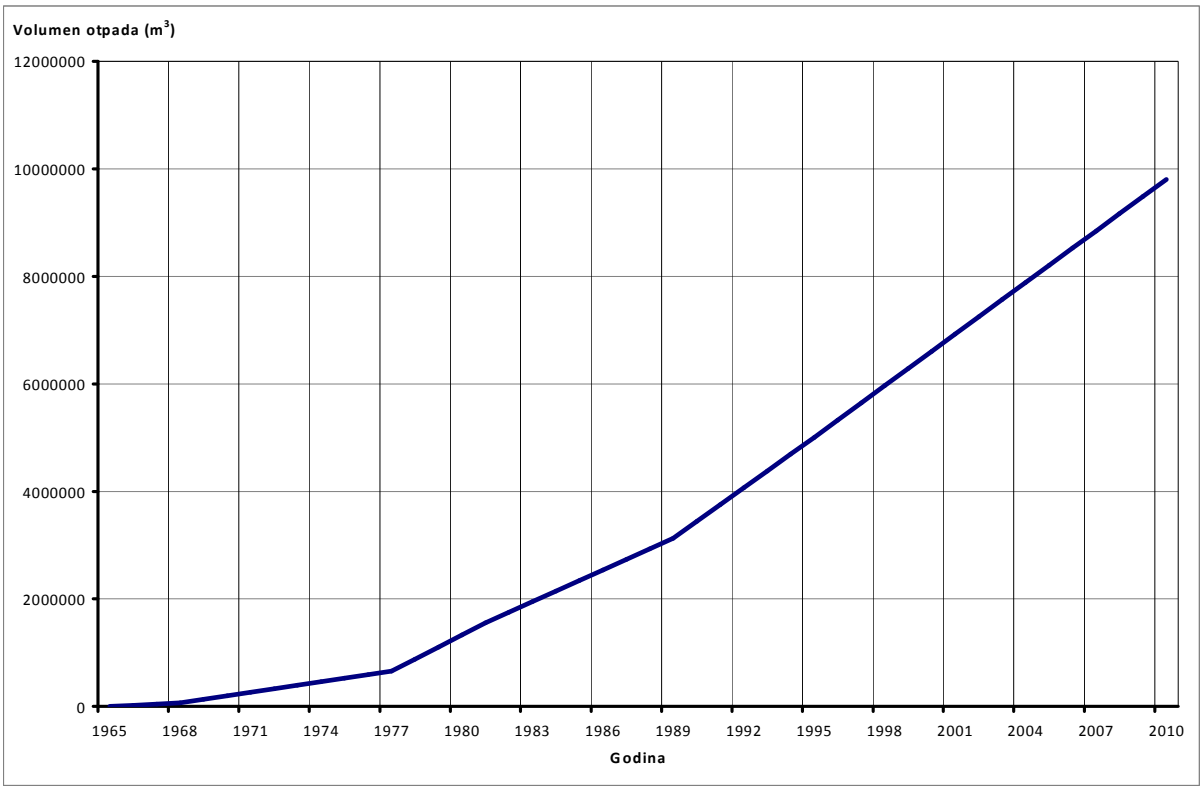
Količine dovezenog otpada na smetlište "Jakuševec" od 1968. do 1989. godine izračunate su fotogrametrijskom izmjerom na aerosnimcima (stereomodelu). Mjerenje i obrada izvođeni su na analitičkom stereo – instrumentu BC-3 (Leica), visoke točnosti (2 mikrometra po fotogramu) s programskom podrškom Aviosofta na UNIX platformi. Za proračun volumena otpada izdvojeni su kartirani slojevi (slojnice / izohipse i kote). Volumen otpada računat je po programu izračunavanja digitalnog modela terena (DMT). Za "nivo – plohu" uzeta je nadmorska visina od 104 m. U odnosu na nju računat je volumen za pojedine godine i to 1968., 1977., 1981. i 1989. godinu. Iz podataka dobivenih mjerenjima i proračunima dobiveni rezultati ukazuju na linearni porast količina odloženog otpada.

- U razdoblju od 1968. do 1977. godine odloženo je 654.286 m^3 otpada ili oko 65.437 m^3 otpada godišnje.
- U razdoblju od 1977. do 1981. godine odloženo je oko 902.503 m^3 otpada ili oko 225.626 m^3 otpada godišnje. Vidljivo je da je značajno povećana stopa nastanka otpada koja se zadržala i narednih godina.
- Od 1981. do svibnja 1989. godine odloženo je oko 1.572.154 m^3 otpada ili oko 196.519 m^3 otpada godišnje.

Trend povećanja količine otpada je od onda u stalnom porastu, dostižući oko 1000 tona dnevno (Milanović, 1992.), odnosno oko 313.000 m^3 godišnje. Ako se uvaži navedeni podatak, onda je od lipnja 1989. godine do kraja 1995. odloženo oko 2.054.000 m^3 otpada. Tako ukupna količina otpada odloženog na smetlištu Jakuševec od 1968. Do 1995. godine iznosi oko 5.183.053 m^3 (Oluić, 1995. Oluić, Buchroithner, 1996.). Ukoliko se pretpostavi da je od 1995. do danas dovoženo oko 320.000 m^3, moguće je očekivati da je u tom razdoblju od 15 godina odloženo oko 4.800.000 m^3 otpada ili ukupno 9.983.053 m^3 otpada. Količine otpada dobivene daljinskim metodama su prikazane u tablici 3.6.

Tablica 3.6: *Količine otpada dobivene daljinskim metodama prema Oluić, 1995., Oluić, Buchroithner, 1996., Milanović, 1992. i procijenjene do 2010. (*od 1968. do 1989., ** od 1968. do 1995., *** od 1968. do 2010.).*

Godina	Volumen u m^3	Ukupni otpad u m^3 Prema fotogrametrijskoj izmjeri	Otpad ukupno u m^3
1968. - 1977.	654.286		
1977. - 1981.	902.503		
1981. - 1989.	1.572.154	3.129.053*	
1989. – 1995.	2.054.000		5.183.053**
1995. – 2010.	4.800.000		9.983.053***



Slika 3.8: *Dinamika odlaganja na odlagalištu otpada "Jakuševec" od 1968. do 2010. godine*

Tijekom 1997. i 2008. godine, provedeno je više nadzora dovezenog otpada na odlagalište. Tijekom četiri kvartala (05/97, 08/97, 02/98 i 05/98) napravljena su tjedna ispitivanja količine i sastava dovezenog otpada na odlagalište. Pratio se dovoz komunalnog i građevinskog otpada unutar jednog tjedna u kvartalu.

U tablici 3.7 je dan usporedni prikaz količina dovezenog miješanog otpada, a u tablici 3.8 je dan usporedni prikaz količina dovezenog građevinskog otpada prema Fundurulja, Mužinić, 1998. Sav dovezeni otpad u tom razdoblju je bio odložen na odlagalište.

Tablica 3.7: *Usporedni prikaz količina dovezenog miješanog otpada u tonama, prema Fundurulja, Mužinić, 1998.*

Kvartal	05/97	08/97	02/98	05/98
Dan	Količina otpada (tona)			
Ponedjeljak	1.651	1.170	1.171	1.308
Utorak	1.087	946	1.026	1.361
Srijeda	1.056	769	1.157	1.073
Četvrtak	426	755	881	847
Petak	928	789	955	988
Subota	754	628	712	730
Nedjelja	-	-	24	-
Ukupno	**5.902**	**5.057**	**5.926**	**6.334**

Tablica 3.8: *Usporedni prikaz količina dovezenog građevinskog otpada, prema Fundurulja, Mužinić, 1998.*

Kvartal	05/97	08/97	02/98	05/98
Dan	Količina otpada (tona)			
Ponedjeljak	1.268	1.279	495	531
Utorak	1.024	1.315	649	1.400
Srijeda	1.015	1.289	1.045	1.820
Četvrtak	1.208	1.247	1.498	1.311
Petak	1.695	715	1.600	1.512
Subota	1.140	2.163	650	856
Nedjelja	-	-	-	-
Ukupno	**7.350**	**8.008**	**5.937**	**7.430**

U građevinskom otpadu je dominirala zemlja, i to: 70,5% - 75,7%, zatim miješani građevinski otpad: 17,7% – 28%, beton od 0,5% do 5,2% , asfalt 0% – 1,1% i cigla 0% - 1,4%. Iz tablice 3.8 može se zaključiti da se otpad dovozi šest dana u tjednu (ako se izuzmu minimalne količine registrirane u nedjelju tijekom opažanja u veljači 1998.) u približnoj količini od 1000 tona dnevno, s time da se danas vrši selekcija po osnovnim vrstama otpada (Šikić i dr. 2005.).

3.2. Monitoring

Kada se govori o monitoringu odlagališta otpada "Jakuševec" podrazumijeva se monitoring označen u projektu sanacije kao Paket A-7, što će biti detaljno pojašnjeno u poglavlju 3.3. o sanaciji odlagališta. Monitoring u paketu A-7 podrazumijeva praćenje podzemne vode uzorkovane iz piezometara i zdenaca interventnog crpnog sustava, procjednih voda prije i nakon pročišćavanja, kvalitete zraka i prikupljanje meteoroloških podataka. Povijest i podaci monitoringa zraka i meteoroloških parametara su obrađeni u ovom poglavlju, a monitoring voda je obrađen u narednim poglavljima.

Osim paketa A-7, praćeni su i drugi parametri na odlagalištu otpada "Jakuševec" i to praćenje slijeganja odlagališta geodetskim mjerenjima, monitoring ptica i praćenje sastava odlagališnog plina što je također opisano u ovom poglavlju te uzorkovanje i određivanje sastava otpada, što je opisano u prethodnom poglavlju kako bi se tematski bolje uklopilo.

Monitoring označen kao paket A-7 se provodi od početka 2001. godine, ali je bilo dosta praćenja stanja okoliša i prije tog razdoblja, u ovom poglavlju se nastojao dati pregled svih provedenih radova.

3.2.1. Praćenje meteoroloških parametara

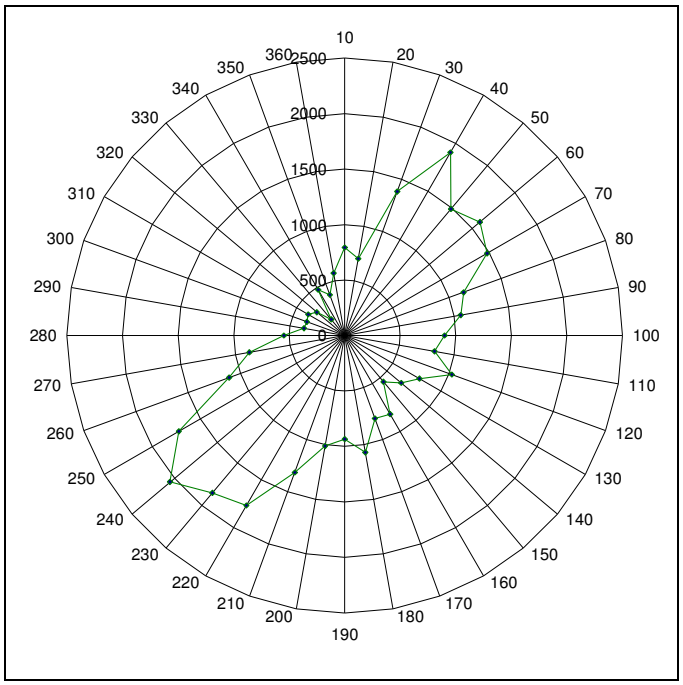
Opažanje meteoroloških parametara obavljalo se svakodnevno na automatskoj meteorološkoj postaji tip QLC50, VaisalaOyi, Finska. Opažanja meteoroloških parametara su trajala od 1998. do 2004. godine, odnosno ukupno šest godina. Praćeni su sljedeći parametri:

1. Temperatura
2. Relativna vlaga
3. Temperatura točke rosišta
4. Tlak zraka
5. Brzina vjetra
6. Čestina smjera vjetra.
7. Isparavanje
8. Oborine.

Rezulltati praćenja parametara od 1. – 6. su prikazani u tablici 3.9. Prema rezultatima praćenja, u razdoblju od 1998. – 2004. godine, na lokaciji je najhladniji mjesec bio prosinac sa srednjom mjesečnom temperaturom od 0.95 °C, a najtopliji kolovoz sa srednjom mjesečnom temperaturom od 23.3 °C. Prosječna vlažnost zraka je bila između 66.38 % i 85.13 %. Prosječni tlak zraka je bio između 962.8 hPa i 1005.68 hPa, a prosječna brzina vjetra između 1.23 m/s i 3.93 m/s. Dominantni smjerovi vjetra su u mjerenom razdoblju bili jugozapadni i sjeveroistočni (Slika 3.9). Dobiveni rezultati korespondiraju sa smjerom vjetra prikazanom na godišnjoj ruži vjetrova Zagreb – Aerodrom Pleso, 1966. – 1975. (Vađić, Hršak, 1996.).

Tablica 3.9: *Rezultati praćenja meteoroloških parametara tijekom šest godina od 1998. – 2004. (Napravljeno prema, Zagrel 1999., 2000.; Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*

1998. – 2004.	Temperatura zraka, °C	Relativ. vlaga, %	Temp. točke rosišta, °C	Tlak zraka hPa	Brz.vjetra, m/s
Siječanj	1.23	84.17	-1.3	1004.55	1.65
Veljača	3.15	76.55	-0.93	1005.68	1.63
Ožujak	8.18	69.03	2.1	986.55	2.15
Travanj	11.3	69.28	5.05	965.2	1.85
Svibanj	17.88	66.38	10.63	969.15	1.55
Lipanj	20.9	70.75	14.75	1002.03	1.4
Srpanj	22.48	69.2	15.8	1000.08	1.48
Kolovoz	23.3	69.18	16.35	962.8	1.45
Rujan	15.58	77.5	11.13	981.15	3.93
Listopad	12.43	84.9	9.65	994.3	1.23
Studeni	6.88	82.7	3.78	993.83	1.3
Prosinac	0.95	85.13	-1.48	994.17	1.43
Srednja	12.02	75.4	7.13	988.3	1.75
Minimum	0.95	66.38	-1.48	962.8	1.23
Maximum	23.3	85.13	16.35	1005.68	3.93

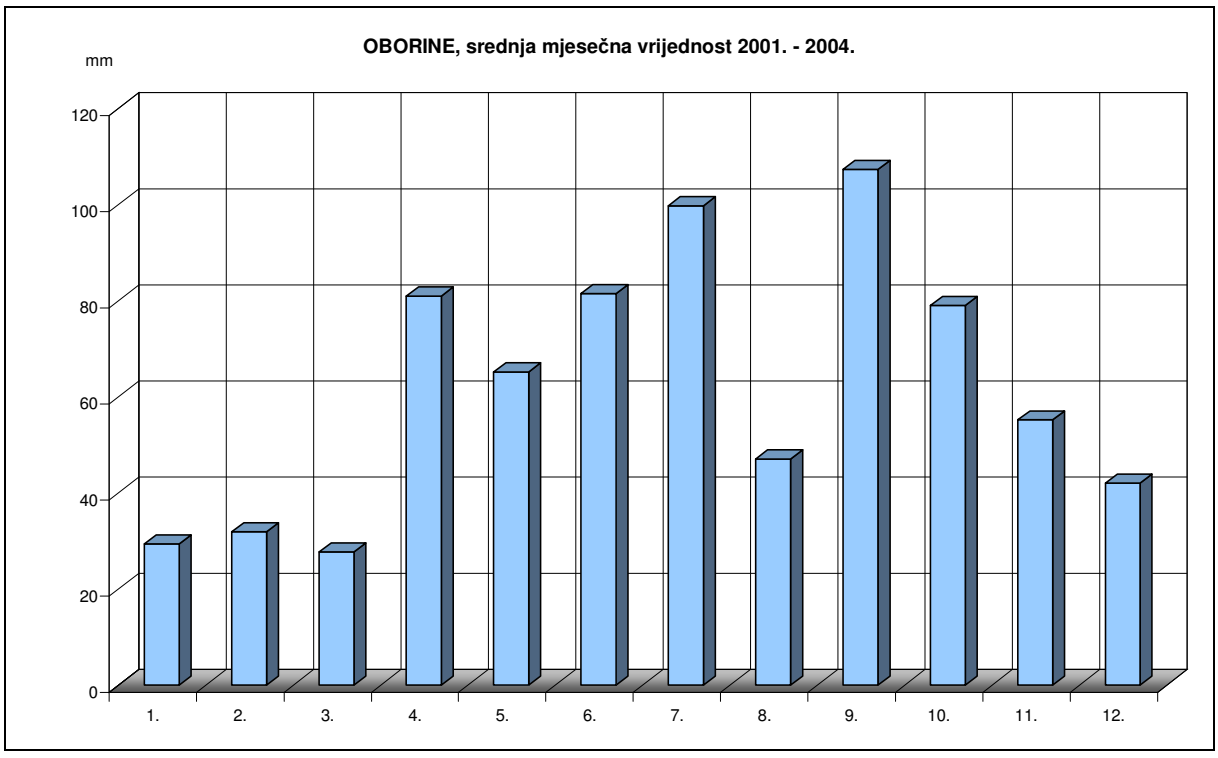


Slika 3.9: *Srednja čestina vjetra za razdoblje od 1998. do 2004. (Napravljeno prema, Zagrel 1999., 2000.; Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*

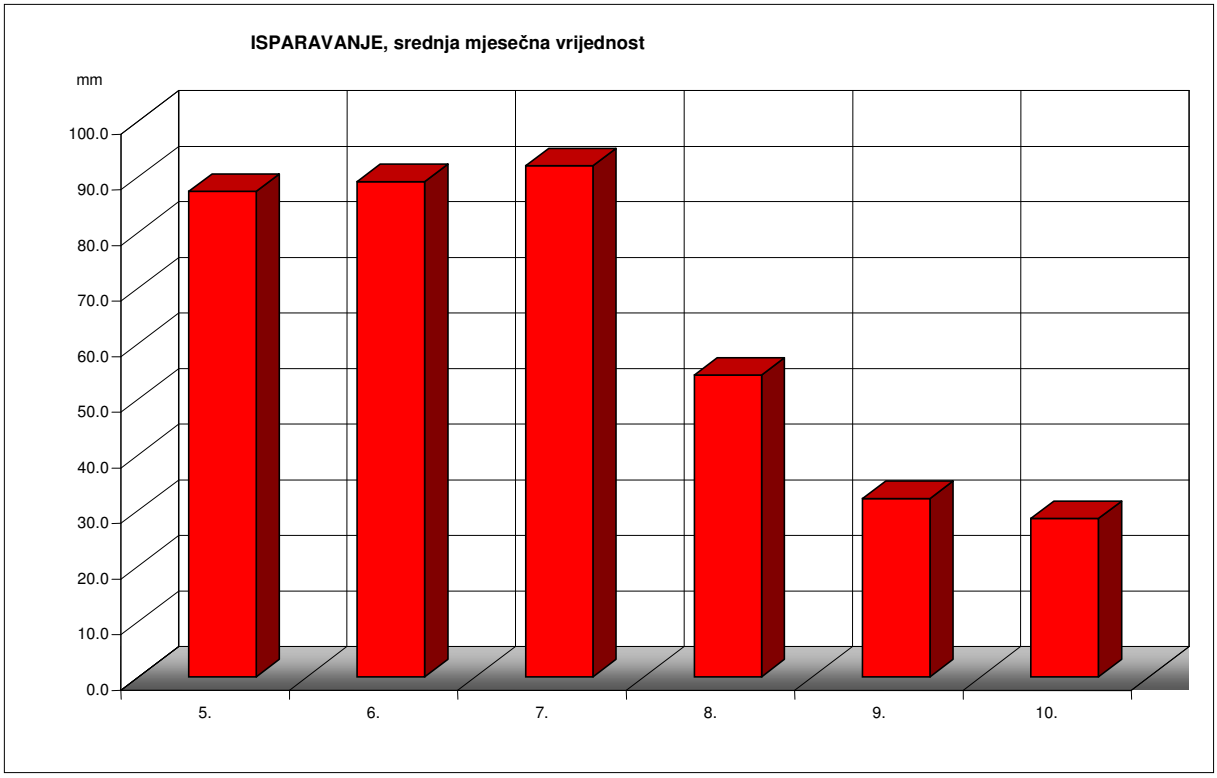
Tijekom četiri godine praćenja, na lokaciji su mjereni i meteorološki parametri, između ostaloga i oborine. Prosječna godišnja količina oborina za grad Zagreb iznosi oko 840 mm kiše. Na lokaciji je u promatranom razdoblju, od 2001. do 2004. godine, izmjerena prosječna godišnja količina oborina od 747 mm, što je nešto manja vrijednost u odnosu na prosjek (Tablica 3.10). Na grafičkom prikazu (Slika 3.10), vidljivo je da su minimalne količine oborina bile između prosinca i ožujka, kao i u kolovozu, dok su maksimumi bili od travnja do studenog. U istom vremenskom razdoblju je bila praćena i evaporacija, međutim samo tijekom proljetnih i ljetnih mjeseci, jer je tijekom zimskih mjeseci senzor trebao biti uklonjen kako bi se izbjeglo njegovo oštećenje zbog zamrzavanja. U tablici 3.10 i na slici 3.11, je vidljivo da su najviše vrijednosti evaporacije bile u razdoblju od svibnja do srpnja, dok su od kolovoza do listopada značajno pale. Zbog toga što je evaporacija mjerena na način da je praćen pad razine vode otvorenim posudama (*Evaporation pan*), ona je mogla biti mjerena samo u toplijem dijelu godine (od svibnja do listopada). Evaporacija u razdoblju od studenog do travnja nije mjerena jer je instrument bio uklonjen iz posude kako se nebi oštetio zbog smrzavanja.

Tablica 3.10: *Srednje mjesečne vrijednosti oborina i isparavanja za razdoblje od 2001. do 2004. Godine (Napravljeno prema, Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*

2001. – 2004.	Oborine (mm)	Isparavanje (mm)
Siječanj	29	
Veljača	32	
Ožujak	28	
Travanj	81	
Svibanj	65	87
Lipanj	82	89
Srpanj	100	69
Kolovoz	47	41
Rujan	107	22
Listopad	79	21
Studeni	55	
Prosinac	42	
Ukupno	747	329



Slika 3.10: *Oborine, srednja mjesečna vrijednost za razdoblje od 2001. do 2004. godine (Napravljeno prema, Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*



Slika 3.11: *Evaporacija srednja mjesečna vrijednost za razdoblje od 2001. do 2004. godine (Napravljeno prema, Bradić et al., 2002., 2003., 2004.)*

3.2.2. Praćenje kakvoće zraka

Prvi podaci o praćenju kakvoće zraka na odlagalištu "Jakuševec" dobiveni su mjerenjem od strane Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (Vađić, Hršak, 1996.). Svrha istraživanja je bilo utvrđivanje cjelokupnog utjecaja odlagališta "Jakuševec" na zrak, kao i utjecaja sanacijskih radova na izvedbi radne plohe. Mjerenja su provedena prije početka sanacijskih radova tijekom srpnja i kolovoza 1995. godine, te za vrijeme sanacijskih radova tijekom studenog i prosinca 1995. godine. Praćeni su sljedeći parametri: sumpor dioksid (SO_2), lebdeće čestice, dušik-dioksid (NO_2), amonijak (NH_3), vodikov-sulfid (H_2S) i merkaptani. U lebdećim česticama su bili analizirani olovo (Pb) i kadmij (Cd).

Mjesta uzorkovanja su bila na lokaciji u naselju Mičevec oko 2,5 km jugoistočno od odlagališta i na lokaciji u naselju Jakuševec oko 1 km jugozapadno od odlagališta. Na lokaciji u naselju Jakuševec, mjerenja kakvoće zraka su bila nastavljena u narednim fazama sanacije i traju do danas.

Pošto mjerenja nisu bila kontinuirana tijekom cijele godine, nije moguće kategorizirati zrak obzirom na njegovu kakvoću kao u kasnijim fazama, međutim, dobiveni rezultati vrlo vjerojatno daju pravu sliku kakvoće zraka u to vrijeme. Tadašnja zakonska regulativa je obzirom na kakvoću zraka uključivala Zakon o zraku (NARODNE NOVINE48/05), koji je donesen u srpnju 1995. i Nacrt uredbe o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka.

Koncentracije metala olova i kadmija u lebdećim česticama bile su niske tijekom obje faze mjerenja, ispod preporučenih dnevnih graničnih vrijednosti, prema Nacrtu uredbe. Lebdeće čestice su prelazile preporučenu dnevnu graničnu vrijednost tijekom obje faze određivanja. Razina masenih koncentracija sumpornog dioksida je na obje lokacije mjerenja bila osjetno viša tijekom zimskog razdoblja, što se može pripisati loženju u okolnim obiteljskim kućama. Razine dušik dioksida su bile također nešto više tijekom zimskog razdoblja, što je pripisano loženju i radu teške mehanizacije na radnoj plohi. Dominantna onečišćenja su tijekom obje faze istraživanja, na obje lokacije bili sumporovodik i merkaptani, te je zaključeno da su stanovnici Jakuševca i Mičevca bili vrlo često izloženi neugodnim mirisima sa odlagalište "Jakuševec" (Vađić, Hršak, 1996.). Sljedeći ciklus mjerenja kakvoće zraka je bio u ljeto 1997., a trajao je sve do veljače 1998. (Vađić, et. al., 1998.).

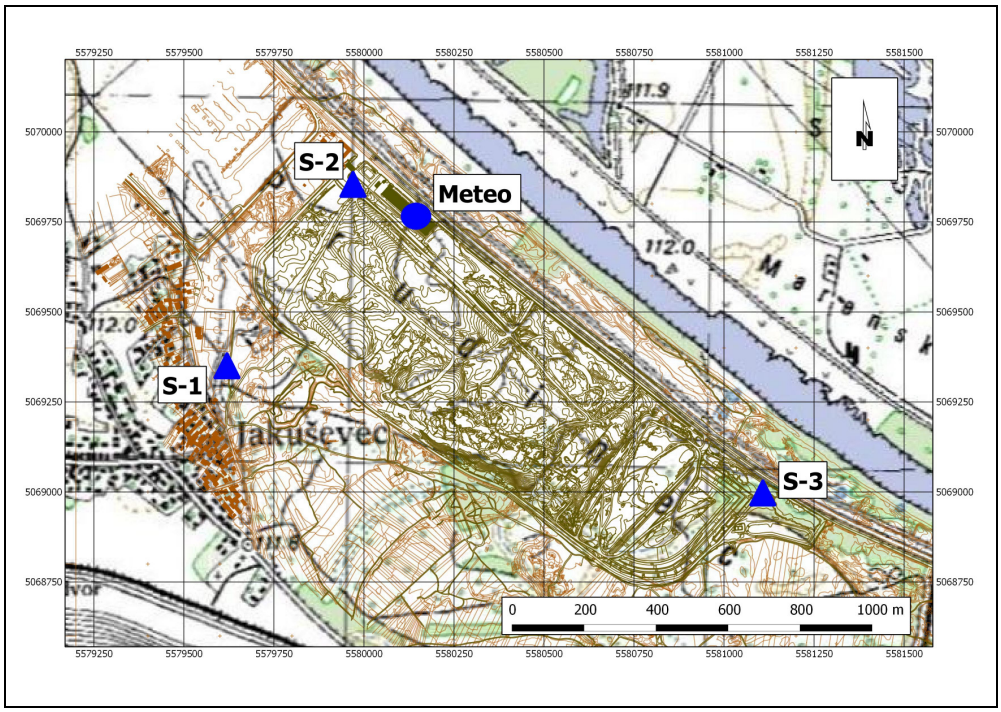
Ovaj ciklus mjerenja je bio napravljen kako bi se utvrdio utjecaj odlagališta otpada "Jakuševec" na okolni zrak prije puštanja u rad pogona za termičku obradu tehnološkog otpada PUTO. U tom razdoblju su u naselju Jakuševec mjerene lebdeće čestice, olovo, kadmij i mangan u lebdećim česticama, sumporov dioksid, dušikov dioksid, amonijak, sumporovodik i merkaptani. Također su sakupljani i uzorci ukupne taložne tvari, a u njima su određivani olovo, kadmij i talij. Rezultati su pokazali ujednačene koncentracije lebdećih čestica i metala u lebdećim česticama te dušikovog dioksida tijekom cijelog razdoblja mjerenja te u cijelom tom razdoblju. Dominantna onečišćenja su bili merkaptani i amonijak (Vađić, et. al., 1998). Paralelno sa ovim mjerenjima praćene su i koncentracije metana oko odlagališta "Jakuševec" (Papišta, et al. 1998.). Rezultati ispitivanja su pokazali da se na cijelom području odlagališta mogu očekivati česte pojave vrlo visokih koncentracija metana i to do 25.000 mg/m^3, inače prirodne koncentracije iznose cca 1.000 mg/m^3 (Papišta et. al., 1998.). Povremeno u kraćim intervalima, koncentracije metana oko odlagališta "Jakuševec" mogu dostići ekstremne iznose od cca 100.000 – 250.000 mg/m^3 (cca 150 – 380 ppm) (Papišta et. al., 1998.).

Autori su zaključili da je uzrok tome zatečeno stanje u kojem se nalazio taj dio komunalnog objekta što je izravno doprinosilo pojavama visokih i/ili ekstremnih imisijskih koncentracija metana, što je moglo imati izrazito negativne utjecaje na okoliš i zdravlje okolnog stanovništva, te je predloženo intenziviranje radova na sanaciji odlagališta (Papišta et. al., 1998.). Sanacija odlagališta u pogledu metana može donijeti dvostruku korist, osim opasnosti po zdravlje i okoliš, metan je izuzetno jak stakleнički plin, sa stakleničkim efektom čak 24 puta jačim od CO_2 (Gore, 2007.), a uz to se može i energetski iskoristiti.

Hršak, et. al. 1998. su dali usporedbu koncentracija žive u zraku u okolici naselja Jakuševec i u sjevernom dijelu Zagreba. Uzorkovanje je bilo provedeno od lipnja 1997. godine do siječnja 1998. godine na mjernim postajama u naselju Jakuševec i na Ksaverskoj cesti (sjeverni dio Zagreba). Masena koncentracija žive u zraku na mjernoj postaji u Jakuševcu, kretala se u promatranom razdoblju od 0,007 do 0,509 $\mu g/m^3$, a na mjernoj postaji na Ksaverskoj cesti od 0 do 0,149 $\mu g/m^3$. Prosječna izmjerena vrijednost na stanici u naselju Jakuševec je iznosila 0,131 $\mu g/m^3$, prosječna izmjerena vrijednost na stanici na Ksaverskoj cesti je iznosila 0,018 $\mu g/m^3$, odnosno prosječna koncentracija žive u zraku na postaji u naselju Jakuševec je bila preko sedam puta viša od koncentracije izmjerene na postaji na Ksaverskoj cesti (Hršak, et. al. 1998.). U nastavku su dane usporedbe ovih rezultata sa daljnjim mjerenjima.

U sklopu projekta sanacije odlagališta "Prudinec /Jakuševec" predviđeno je mjerenje kakvoće zraka u neposrednoj okolini odlagališta. Opažanje kakvoće zraka vrši se na tri mjerne postaje koje su postavljene u trokutni raspored oko odlagališta (Slika 3.12.). Postaja S-1 je smještena u naselju Jakuševec i nalazi se na smjeru utjecaja odlagališta uslijed sjeveroistočnog vjetra koji je jedan od dominantnijih. Postaja S-2 se nalazila blizu ulaza na odlagalište, a postaja S-3 se nalazila na njegovom istočnom dijelu.

Sve tri mjerne postaje sadržavaju online analizatore za kontinuirano mjerenje sljedećih parametara: vodikov sulfid (H_2S), merkaptani, amonijak (NH_3), sumporov dioksid (SO_2), dušikov dioksid (NO_2) i lebdeće čestice. U ovom radu su prikazani rezultati praćenja kakvoće zraka s obzirom na parametre koji su praćeni automatskim analizatorima od 2001. do 2005. godine. Osim automatskih analizatora, svaka mjerna postaja sadrži i opremu za uzorkovanje metala u lebdećim česticama, žive, ukupne taložne tvari te opremu za uzorkovanje fluorida i klorida. Ovi pokazatelji su praćeni od strane Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada, Jedinice za higijenu okoline.



Slika 3.12: *Raspored mjernih postaja za mjerenje kakvoće zraka (S-1, S-2 i S-3) i meteorološke postaje (Meteo)*

Tri mjerne postaje u kojima su smješteni analizatori za praćenje jednake su po veličini, dizajnu i opremljenosti. Svaka postaja opremljena je klimatizacijom i grijanjem, električnom instalacijom te sistemom za uzorkovanje zraka.

Sistem za uzorkovanje zraka sastoji se od borsilikatnog stakla s vanjskom zaštitnom pokrovnom cijevi i poklopcem za kišu od nehrđajućeg čelika. Uzorak se neprekidno uvlači pomoću ventilatora. Svaki pojedini analizator (SO_2, NO_X, H_2S, TRS, NH_3 i TEOM) uzima svoj uzorak odvojenim kanalima iz glavnog ulaza. Tehničko rješenje sistema za uzorkovanje napravljeno je prema ÖNORM 5852. Uzorkovanje se vrši svakodnevno i kontinuirano.

Mjerač prašine (lebdeće čestice): Za mjerenje prašine koristi se uređaj TEOM 1400a. Ovaj mjerač je ispitan i provjeren prema US EPA (EQPM-1090-079), kao i prema Njemačkim TÜV i europskim normama EN 12341. Ispunjeni su i premašeni zahtjevi prema ÖNORM M 5854. Raspon mjerenja ovog instrumenta je od 0 – $5x10^6$ $\mu g/m^3$ (5 g/m^3), a može raditi pri temperaturama od –40 do +60°C. Instrument radi na principu vibrirajućeg filtra. Nakupljanjem prašine na filtru mijenja se frekvencija vibracije filtra i na temelju promjene frekvencije u promatranom vremenskom razdoblju (uz protok poznatog volumena zraka) instrument očitava vrijednost koncentracije prašine (Rupprecht & Patashnick Co., Inc., 1996).

Sumporov dioksid: Za mjerenje koncentracije SO_2 koristi se uređaj MLU 100A. Odobren je od Njemačkog TÜV i US EPA (EQSA-0495-100) kao automatska ekvivalentna metoda, Federal Register Vol. 60, str. 17061, 04/04/95 i ispunjava zahtijeve ÖNORM M 5854. Vrijednosti SO_2 se određuju UV fluorescencijom (API, 1994.).

Dušikov dioksid: Za mjerenje NO_2 koristi se MLU 200A. Odobren je od Njemačkog TÜV, US EPA (RFNA-0691-082) kao automatska referentna metoda, Federal Register Vol. 56, str. 27014, 06/12/91 i ISO 7996 Ambient air-Determination of the mas concentration of nitrogen oxides – chemiluminescence method i ispunjava zahtijeve ÖNORM M 5855. Nakon zagrijavanja u thermal-converteru, u plinu se pomoću kemiluminiscencije molekula mjere koncentracije NO_2.

Vodikov sulfid: MLU 101A se zasnova na istom principu mjerenja (UV fluorescencija) kao i MLU 100A SO_2 analizator. Jedini dodatak je SO_2 čistač kako bi se uklonio SO_2 iz uzorka te unutrašnji konverter za oksidaciju sumporovodika. Nakon oksidacije uzorak se obasjava UV svjetlošću, koja izaziva fluorescenciju molekula. Mjerenjem fluorescencije određuje se količina molekula SO_2 u uzorku (API a, 1998.).

TRS (total reduced sulfur) analizator : Za mjerenje merkaptana koristi se MLU 102 TRS. Instrument se također zasniva na MLU 100A i koristi SO_2 čistač kako bi se uklonio ovaj sastojak iz uzorka i vanjski visokotemperaturni konverter kako bi oksidirao sve komponente sumpora (ukupni reducirani sumpor koji uključuje H_2S) u SO_2. Kako bi izračunali merkaptane, H_2S (koji je detektiran analizatorom MLU 101A) treba oduzeti od ukupno reduciranog sumpora (vrijednosti dobivene TRS analizatorom). Princip mjerenja količine molekula u uzorku je isti kao i kod mjerenja sumporovodika.

Amonijak: Mjerenje NH_3 se provodi sa MLU 201A analizatorom amonijaka. Ovaj instrument se zasniva na MLU 200A kemijsko-svjetlosnom mjerenju. Uzorak mora proći NO_x čistač i vanjski konverter da bi oksidirao amonijak u NO, koji se detektira jednako kao kod MLU 200A (API b, 1998.).

Automatski analizatori za SO_2, NO_X, H_2S, TRS, NH_3 i lebdeće čestice opremljeni su pojedinačnom automatskom kalibracijom za 24-satnu provjeru funkcija. Podaci sa svih analizatora šalju se u datalogger, koji je opremljen s ugrađenim hard-discom i modemom. Preko modema podaci se mogu slati do središnje stanice, a to je PC s modemom i printerom i potrebnim softwareom za obradu podataka (EnviMan).

Podaci o provjerama funkcija su obilježeni s odgovarajućim statusom (npr. kalibracija raspona i kalibracija nule) i spremljeni su u datalogger. To omogućuje operateru da provjeri da li se pojavljuju razlike u mjerenjima.

Također, zbog sofisticirane elektronike analizatora, na ekranu svakog analizatora se može provjeriti više unutrašnjih parametara, što omogućuje lako planiranje servisa i održavanje (OPSIS, 2000.).

Rezultati mjerenja

Prema Zakonu o zaštiti zraka (Narodne Novine 48/1995) i Uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996, Narodne Novine 2/1997) uvedene su dvije razine graničnih onečišćenja:

- Preporučene vrijednost (PV)
- Granične vrijednosti (GV)

Prema stupnju onečišćenja zraka područja se mogu svrstati u tri kategorije:

I. kategorija – čist ili neznatno onečišćen zrak (nisu prekoračene preporučene vrijednosti (PV) kakvoće zraka)

II. kategorija - umjereno onečišćen zrak (prekoračene su PV, a nisu prekoračene granične vrijednosti (GV) kakvoće zraka)

III. kategorija - prekomjerno onečišćen zrak (prekoračene su granične vrijednosti (GV) kakvoće zraka)

Do 2006. godine kategorizacija zraka se provodila prema Zakonu o zaštiti zraka (Narodne Novine 48/1995) i Uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine101/1996, Narodne Novine 2/1997). Od 1. siječnja 2006. godine stupila je na snagu nova Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (Narodne Novine 133/2005), prema novoj uredbi i Zakonu o zaštiti zraka (Narodne Novine 48/1995) kategorizacija područja prema stupnju onečišćenja zraka se i dalje utvrđuje nakon najmanje jedne godine praćenja okolnog zraka, a prema stupnju onečišćenja zraka područja se mogu svrstati u tri kategorije međutim uz malo izmijenjene nazive:

I. kategorija – čist ili neznatno onečišćen zrak (nisu prekoračene granične vrijednosti (GV) kakvoće zraka)

II. kategorija - umjereno onečišćen zrak (prekoračene su GV, ali nisu prekoračene tolerantne vrijednosti (TV) kakvoće zraka)

III. kategorija - prekomjerno onečišćen zrak (prekoračene su tolerantne vrijednosti (TV) kakvoće zraka)

Preporučene i granične vrijednosti prema novoj uredbi, odnosno granične i tolerantne vrijednosti prema staroj uredbi služe kao osnova za:

- ocjenu kakvoće zraka
- svrstavanje područja u kategorije prema razini onečišćenja zraka
- upravljanje kakvoćom zraka

S obzirom na kolebanja u intenzitetu emisija, kao i na utjecaj promjena vremenskih prilika na razine onečišćenja zraka, ocjena kakvoće zraka se donosi na temelju više parametara i to:

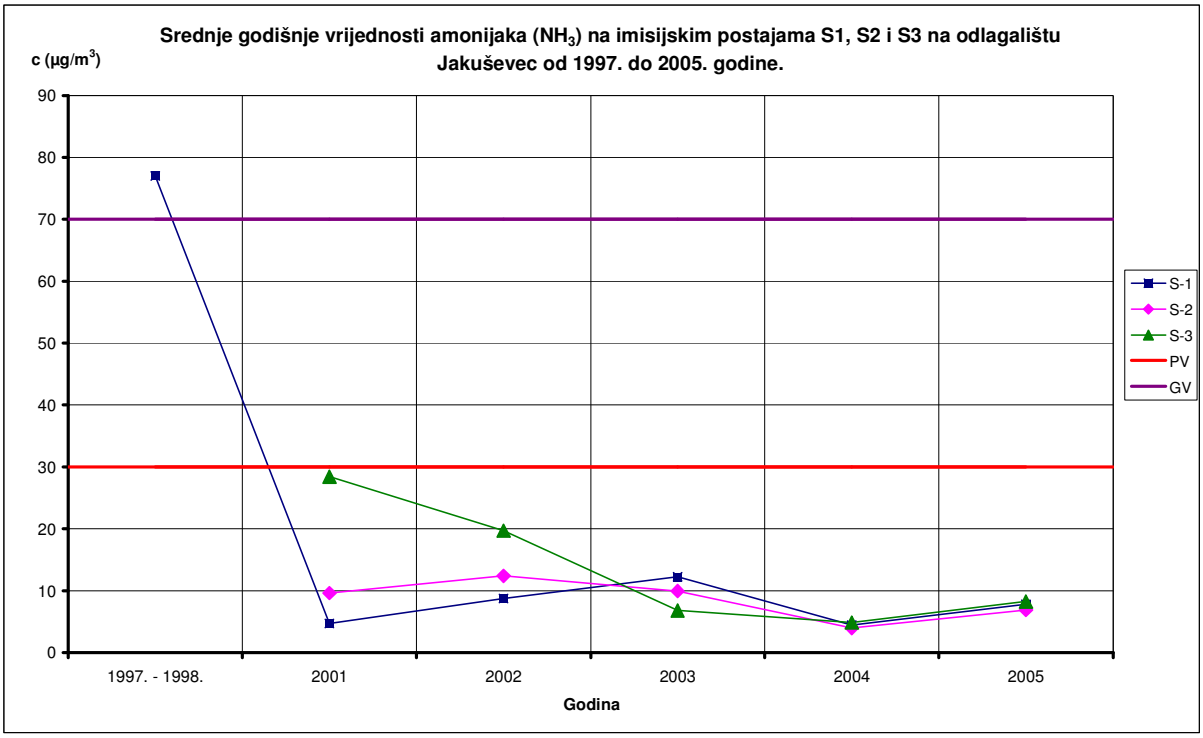
- C – srednja vrijednost za razdoblje mjerenja
- C_M – najviša izmjerena 24-satna koncentracija
- C_{50} - 50. percentil – medijan ili centralna vrijednost, tj. vrijednost od koje je 50% izmjerenih rezultata bilo manje ili veće
- C_{98} - 98.percentil – vrijednost od koje je 98% izmjerenih rezultata niže
- N broj rezultata
- C_m najniža izmjerena 24-satna koncentracija

Obzirom da detaljna analiza kakvoće zraka prelazi okvire ove disertacije, ovdje ćemo se zadržati na trendovima srednjih godišnjih vrijednosti (C) pojedinih parametara tijekom razdoblja praćenja.

Rezultati mjerenja su bili obrađeni i prezentirani u godišnjim izvješćima od 2001. do 2010. godine (Bradić et al, 2001. – 2005., Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010.).

Amonijak – NH_3

Amonijak je bio praćen u vremenskom razdoblju od siječnja 2001. do lipnja 2005. godine (Slika 3.13). Tijekom promatranog razdoblja koncentracije amonijaka na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti (PV = 30 µg/m^3). Zrak je s obzirom na amonijak, na sve tri mjerne postaje bio I kategorije kakvoće. Iako mjerene vrijednosti pokazuju trend opadanja koncentracije, kategorizaciju za 2005. godinu treba uzeti uvjetno zato što je razdoblje mjerenja bilo dvostruko kraće (181 dan) od propisanog Zakonom o zaštiti zraka (NARODNE NOVINE48/95) i Uredbom o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (NARODNE NOVINE101/96, NARODNE NOVINE2/97). U razdoblju mjerenja od ljeta 1997. do zime 1998. (Vađić, et. al. 1998.) srednja vrijednost koncentracije amonijaka je bila jako visoka, iznad granične vrijednosti prema uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996). Iako su ta prva mjerenja trajala oko osam mjeseci i nisu u potpunosti usporediva sa kasnijim mjerenjima, ipak se može zaključiti da je na lokaciji došlo do značajnog pada koncentracija amonijaka u zraku.



Slika 3.13: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije amonijaka na imisijskim postajama S1, S2 i S3 u vremenskom razdoblju od 2001. do 2005. godine (Vasiljević et al., 2007. Vađić et al., 1998.).*

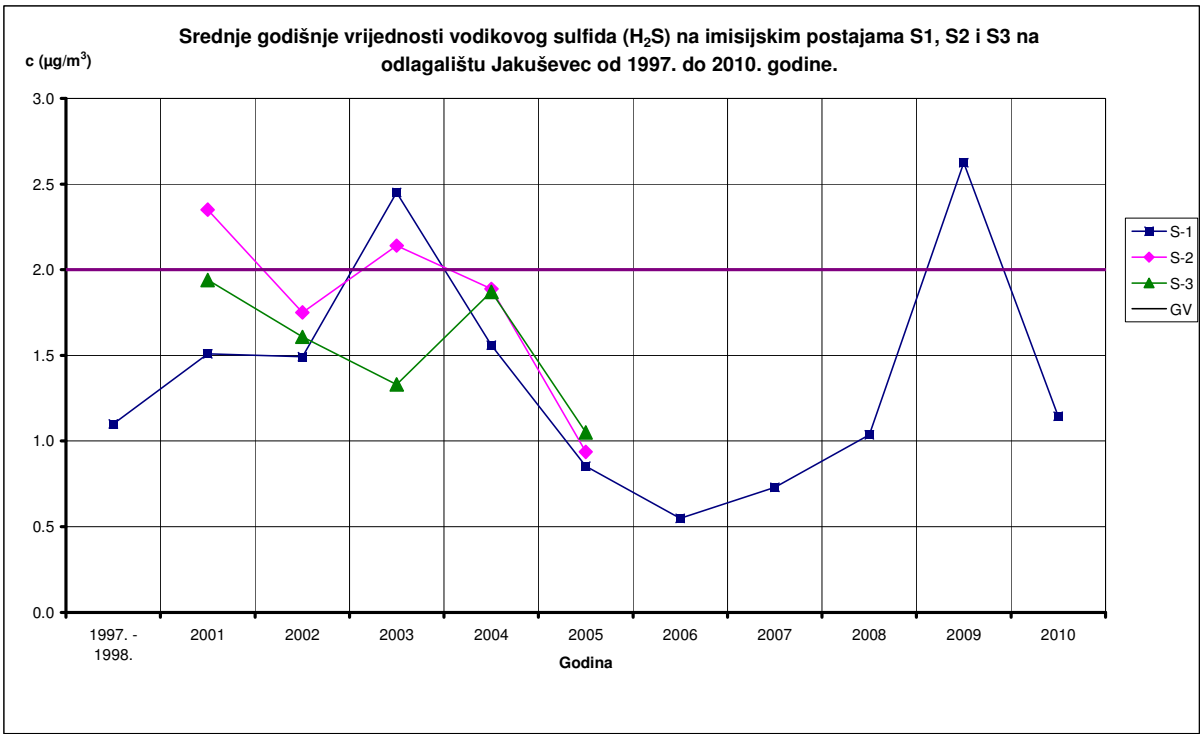
Vodikov sulfid – H_2S

Prekoračenje srednje godišnje koncentracije vodikovog sulfida iznad granične vrijednosti (GV = 2 $\mu g/m^3$) zabilježeno je na postaji S2 u 2001. te na postajama S1 i S2 u 2003. godini. Ostale vrijednosti su bile ispod granične vrijednosti (Slika 3.14). Od 2003. do 2006. godine vidljiv je trend pada koncentracija vodikovog sulfida, a od 2006. do 2008. godine trend laganog porasta, međutim, sve srednje godišnje vrijednosti su bile ispod 2 $\mu g/m^3$. U 2009. godini srednja vrijednost je bila iznad 2 $\mu g/m^3$, a u 2010. srednja vrijednost je pala ispod 2 $\mu g/m^3$. Od početka listopada 2009. godine, pa do svibnja 2010. godine instrument nije bio u funkciji, pa obzirom na manji broj mjerenja, za te godine nije bilo moguće napraviti kategorizaciju zraka obzirom na ovaj parametar. Međutim, povišene koncentracije u 2009. godini se ne mogu zanemariti.

Uzrok porasta koncentracija od 2006. do 2009. godine je najvjerojatnije premještanje radova na sjeverozapadni dio odlagališta koji je i najbliži naselju Jakuševec, ali uspostavom redovitog sustava dnevnog prekrivanja otpada uočljiv je ponovni trend popravljanja kakvoće zraka.

U razdoblju mjerenja od ljeta 1997. do zime 1998. (Vađić, et. al. 1998.) srednja vrijednost koncentracije vodikovog sulfida je bila nešto niža od vrijednosti izmjerene na postaji S-1 u 2001. godini. Iako su ta prva mjerenja trajala oko osam mjeseci i nisu u potpunosti usporediva sa kasnijim mjerenjima, indikativno je da su u tom razdoblju na lokaciji koncentracije sumporovodika u zraku bile slične.

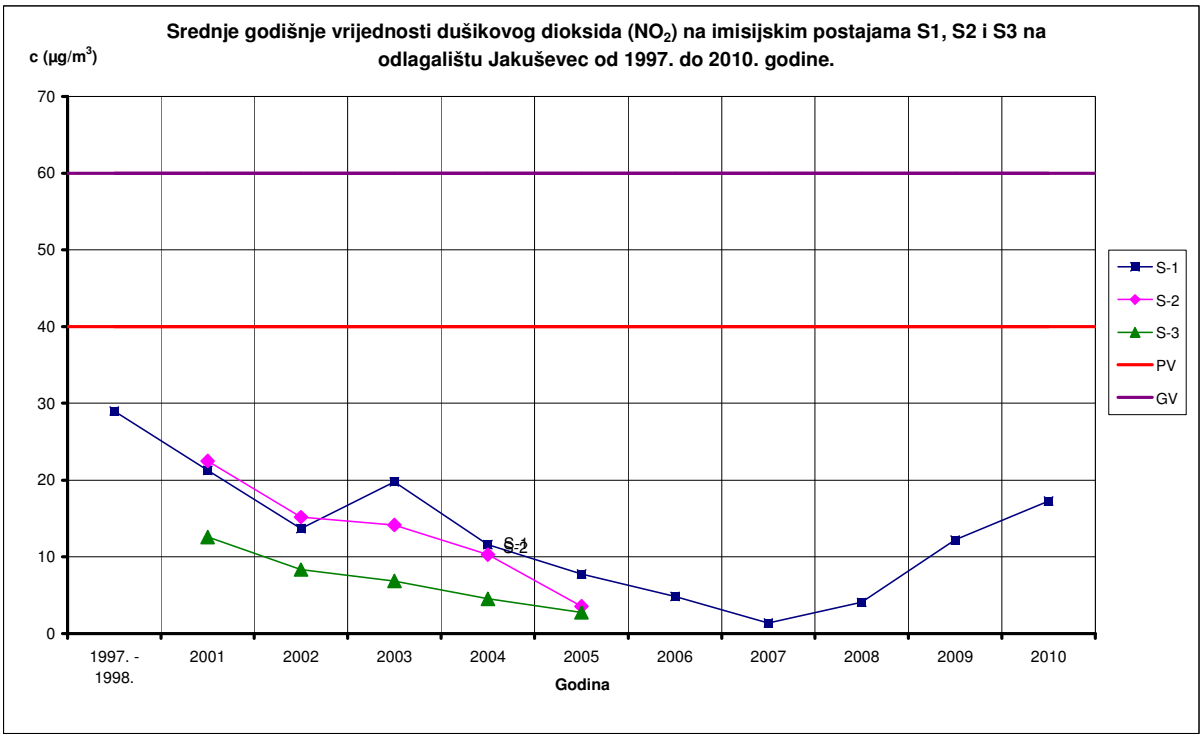
Potrebno je napomenuti da je, prema uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996), za vodikov sulfid mjerodavna granica mirisa te se vrijednost daje samo na razini granične vrijednosti od 2 $\mu g/m^3$. Prema novoj Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (Narodne Novine 133/2005), mjerodavna granica mirisa je i dalje ostala na 2 $\mu g/m^3$ samo uz razliku što se zove tolerantna vrijednost.



Slika 3.14. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije vodikovog sulfida na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011., Vađić et al., 1998.).*

Dušikov dioksid – NO_2

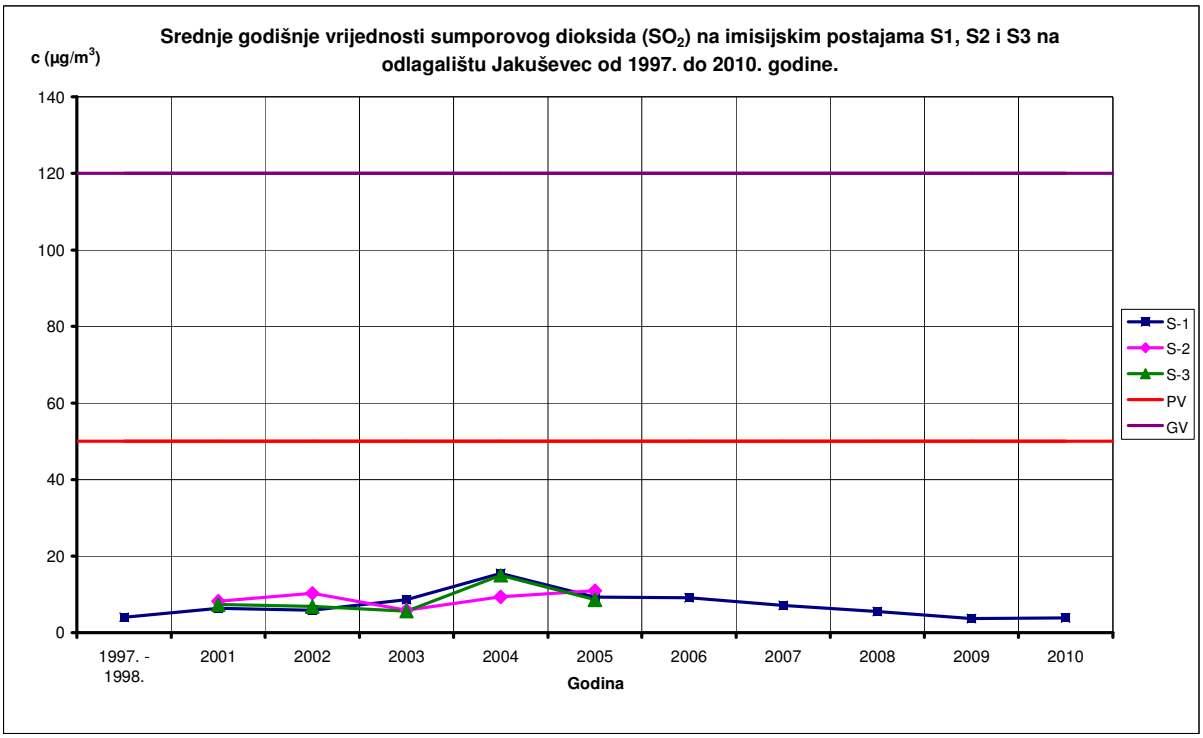
Tijekom promatranog razdoblja mjerne vrijednosti dušikovog dioksida na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti (PV = 40 µg/m^3) i u razdoblju od 1997. do 2007. godine pokazuju trend opadanja koncentracije (Slika 3.15). Od 2007. do 2010. godine zabilježen je lagan trend porasta koncentracija, ali koncentracije su se zadržale ispod 40 µg/m^3. Uzrok porasta koncentracija od 2007. do 2009. godine je najvjerojatnije premještanje radova na sjeverozapadni dio odlagališta koji je i najbliži naselju Jakuševec.



Slika 3.15: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije dušikovog dioksida na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011., Vađić et al., 1998.).*

Sumporov dioksid – SO_2

Tijekom promatranog razdoblja mjerne vrijednosti sumporovog dioksida na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti (PV = 50 µg/m^3) i pokazuju mali porast koncentracije od 1997. do 2004., a nakon tog razdoblja vrijednosti sumporovog dioksida imaju polagani trend opadanja (Slika 3.16).

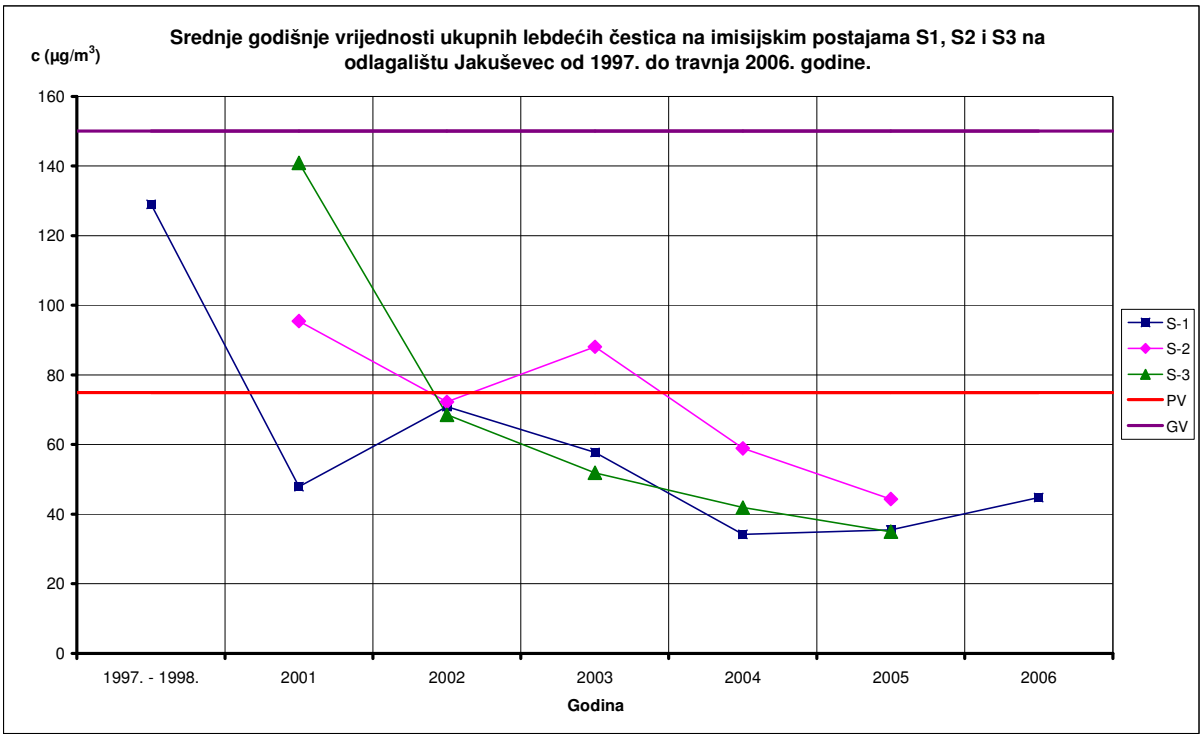


Slika 3.16: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije sumporovog dioksida na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011., Vađić et al., 1998.).*

Ukupne lebdeće čestice

Srednje godišnje koncentracije lebdećih čestica iznad preporučene vrijednosti (PV = 75 µg/m^3) su bile zabilježene 2001. godine na mjernim postajama S2 i S3 te 2003. godine na mjernoj postaji S2. Tijekom promatranog razdoblja mjerene vrijednosti pokazuju trend opadanja koncentracije ukupnih lebdećih čestica (Slika 3.17.). Na stanici S1, prema 98 percentilu, zrak je u 2002. i 2003. godini bio druge kategorije, dok je u 2001., 2004. i 2005. godini bio prve kategorije kakvoće. Na stanici S2, s obzirom na 98 percentil, zrak je bio u drugoj kategoriji kakvoće od 2001. do 2004. godine. U 2005. godini zrak je na stanici S2 prešao u prvu kategoriju kakvoće.

U 2001. godini, s obzirom na 98 percentil ukupnih lebdećih čestica, zrak je na stanici S3 bio treće kategorije, da bi 2002. prešao u drugu kategoriju kakvoće i 2004. u prvu kategoriju. Taj trend je nastavljen u 2005. godini.

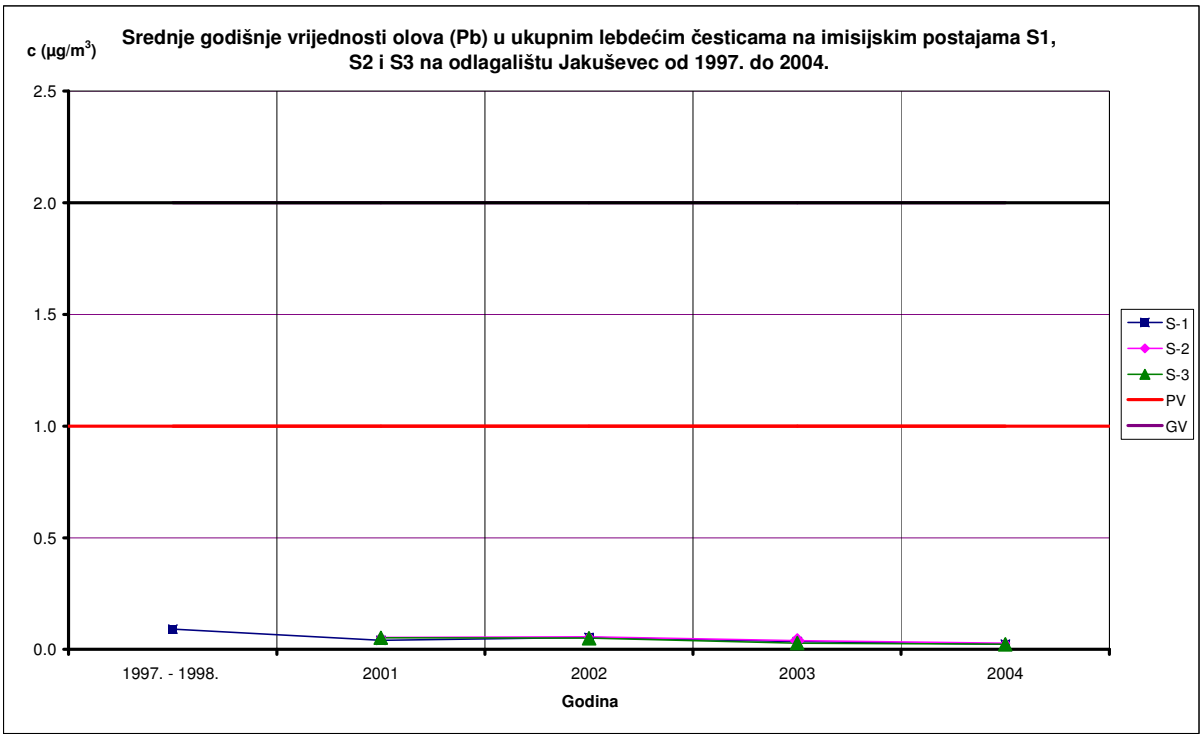


Slika 3.17. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije ukupnih lebdećih čestica na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

Od 2001. do 2004. godine provodila su se praćenja teških metala u ukupnim lebdećim česticama i to: olovo, kadmij, mangan i živa. Kategorizacija zraka obzirom na navedene parametre je zbog razdoblja mjerenja bila napravljena prema Uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996, Narodne Novine 2/1997).

Olovo u ukupnim lebdećim česticama

Olovo u ukupnim lebdećim česticama se pratilo u 1997. i 1998. godini te od 2001. do 2004. godine. Tijekom promatranog razdoblja koncentracije olova u ukupnim lebdećim česticama na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti (PV = 1 µg/m^3) (Slika 3.18.).



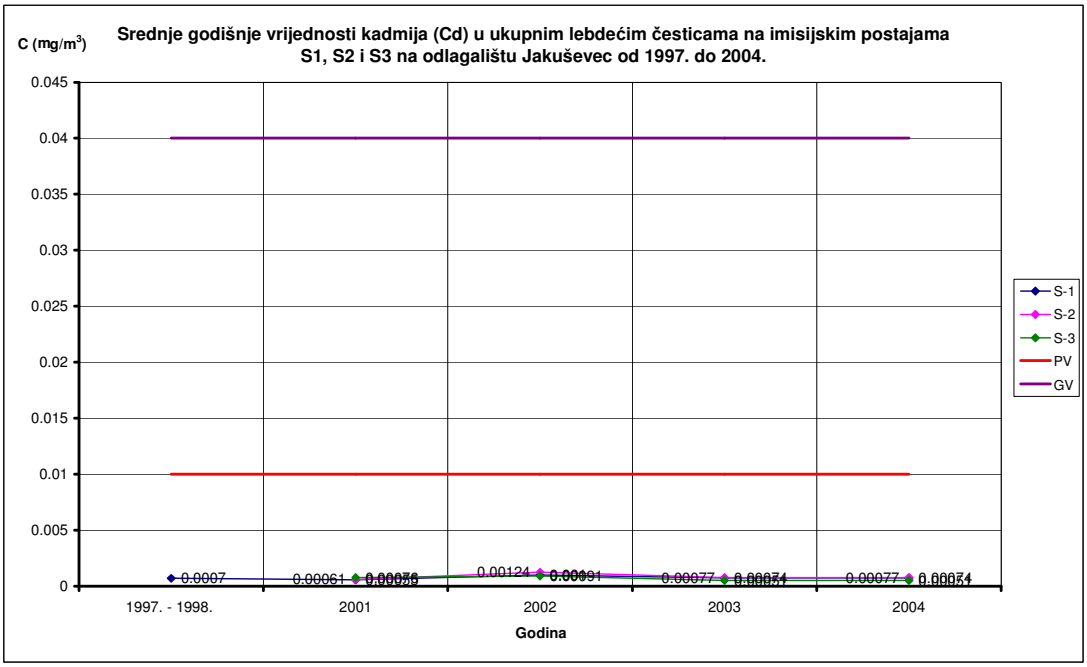
Slika 3.18: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije olova u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

Kadmij u ukupnim lebdećim česticama

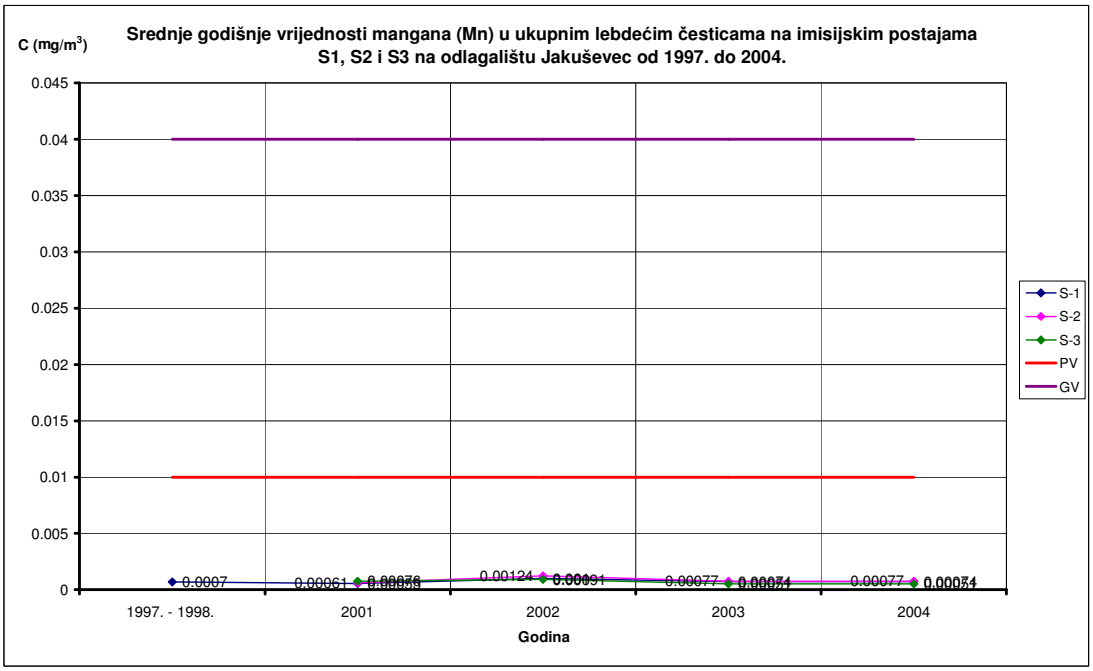
Kadmij u ukupnim lebdećim česticama se pratio u 1997. i 1998. godini, te od 2001. do 2004. godine. Tijekom promatranog razdoblja koncentracije kadmija u ukupnim lebdećim česticama na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti (PV = 0,01 µg/m^3) (Slika 3.19).

Mangan u ukupnim lebdećim česticama

Mangan u ukupnim lebdećim česticama se pratio u 1997. i 1998. godini, te od 2001. do 2004. godine. Tijekom promatranog razdoblja koncentracije mangana u ukupnim lebdećim česticama na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti (PV = 1 µg/m^3) (Slika 3.20).



Slika 3.19: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije kadmija u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*



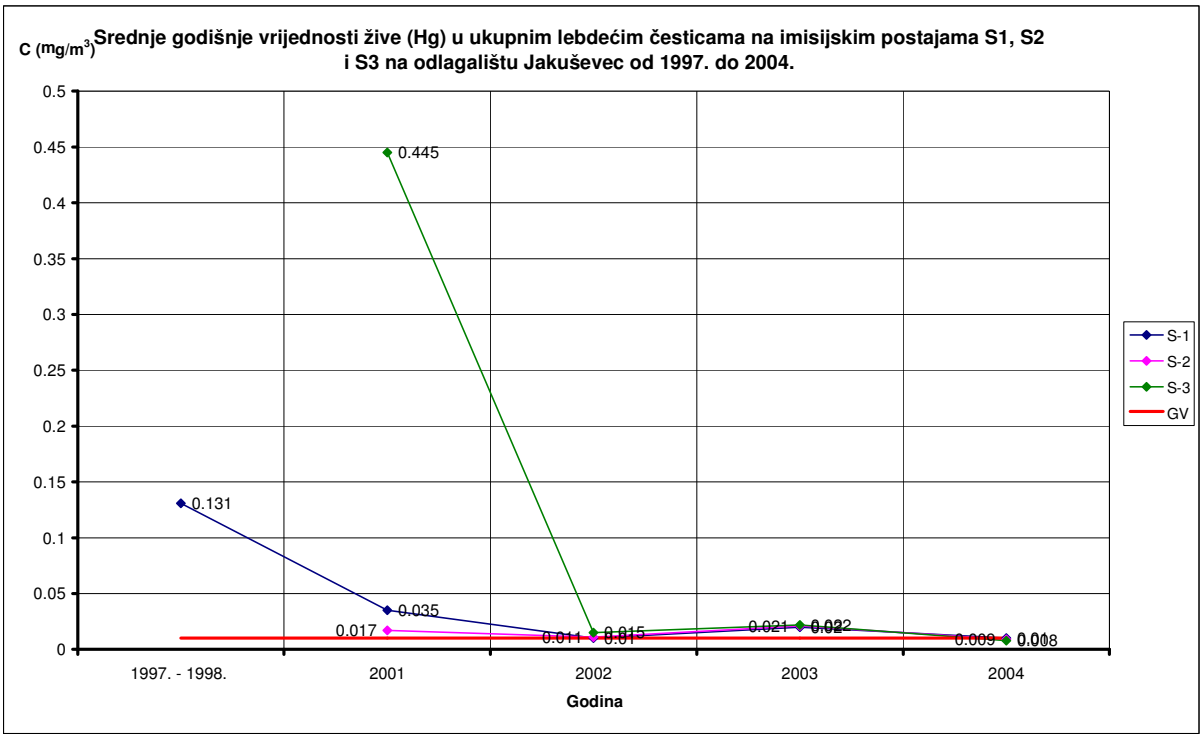
Slika 3.20. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije mangana u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

Živa u ukupnim lebdećim česticama

Živine pare i soli imaju vrlo štetan utjecaj na zdravlje ljudi i na životinjski svijet, pa živa ne bi smjela biti prisutna u otvorenoj atmosferi u koncentracijama u kojima izaziva neželjene efekte. Preporučena granična vrijednost za živu iznosi 0,01 μg/m^3 , a GV iznosi 1 μg/m^3 , ali se može za komentar rezultata uzeti sa rezervom, jer se prema uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996) GV ne bi smjela koristiti za ocjenu koncentracije žive u vanjskom zraku od pretvorbe u topive spojeve te prodiranja u vodu i tlo, kao i ljudsku i stočnu hranu. Najnovija istraživanja svjetske zdravstvene organizacije rezultirala su drugim revidiranim izdanjem smjernice za granične vrijednosti kakvoće zraka, gdje je dana srednja godišnja GV (1 μg/m^3) za vanjsku atmosferu.

Koncentracije žive u ukupnim lebdećim česticama se pratile tijekom 1997. i 1998. godine, te od 2001. do 2004. godine. Srednje godišnje vrijednosti žive u ukupnim lebdećim česticama su u prve tri godine, mjerenja bile iznad preporučene vrijednosti, odnosno zrak je bio II kategorije u odnosu na živu (Slika 3.21).

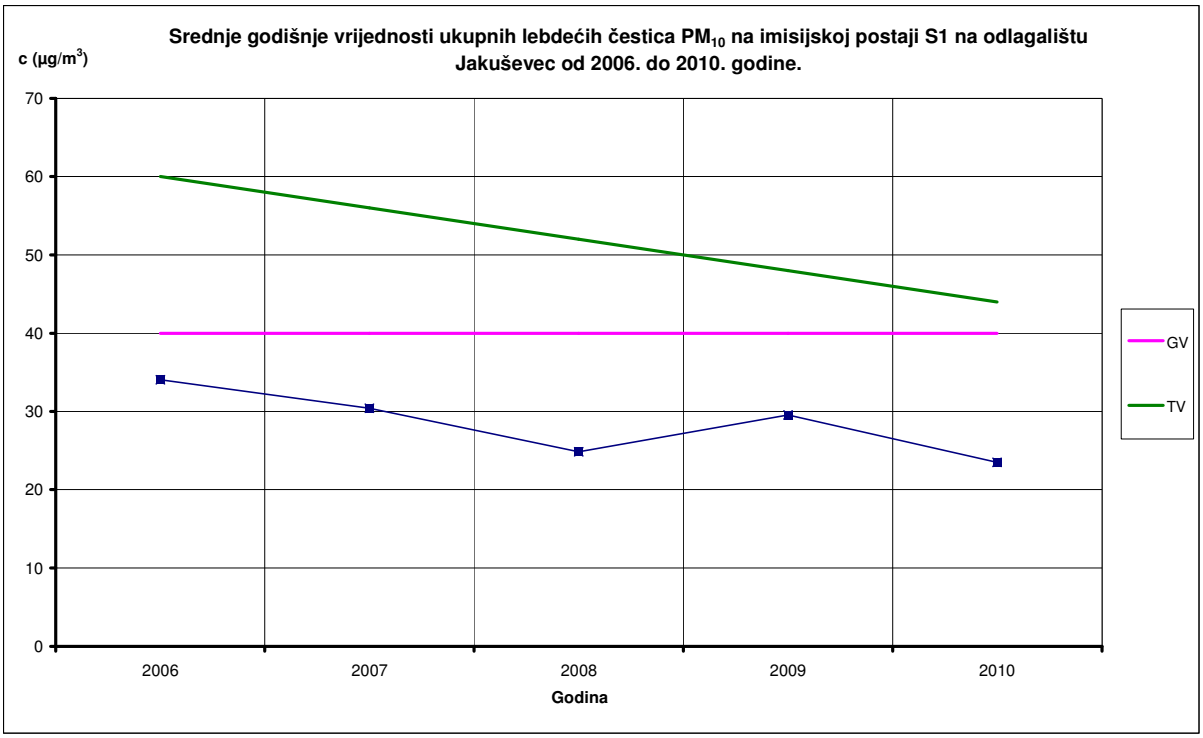
Tijekom mjerenja, koncentracija žive je konstantno opadala, pa je u 2004. godini zrak u odnosu na živu, na sve tri mjerne postaje prešao iz II u I kategoriju kakvoće. Šišović et al. su 2007. dali usporedbu ovih rezultata obzirom na stare i nove propise te su zaključili sljedeće, citat: "ako dobivene vrijednosti usporedimo s vrijednostima propisanim u Uredbi iz 2005. godine, u kojoj je granična vrijednost za živu od 1 μg/m^3 sto puta viša od preporučene vrijednosti (0,010 μg/m^3) propisane u Uredbi iz 1996. godine, zrak bi na sva tri mjerna mjesta tijekom sve tri godine mjerenja bio I kategorije. Primjenom nove Uredbe ubuduće, bitno će se promijeniti kategorizacija područja s obzirom na živu, jer će vjerojatno zrak najčešće biti I kategorije, što nije u redu, budući da se zna da je živa relativno toksičan metal" (Šišović et al. 2007.).



Slika 3.21. *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije žive u ukupnim lebdećim česticama na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Hršak et al., 1998.)*

PM_{10}

Od 1. siječnja 2006. godine stupila je na snagu nova Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (NARODNE NOVINE133/2005) kojom se uređuje potreba mjerenja lebdećih čestica PM_{10} odnosno frakcije čestica manjih od 10 μm. U svrhu prilagođavanja mjerne opreme novoj Uredbi, 24. srpnja 2006. godine postojeće "glave" za uzorkovanje ukupnih lebdećih čestica zamijenjene su "glavama" za uzorkovanje čestica PM_{10}. Ukupne lebdeće čestice su bile mjerene do 24. srpnja 2006., a od tog datuma je započelo uzorkovanje čestica PM_{10}. Statistička obrada čestica PM_{10} lebdećih čestica je bila napravljena prema Uredbi o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (Narodne Novine 133/2005), što je prikazano na slici 3.22.



Slika 3.22: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije PM_{10} lebdećih čestica na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Vulinović et al, 2006., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011.).* ***Napomena:*** *tolerantna vrijednost se smanjuje po godinama*

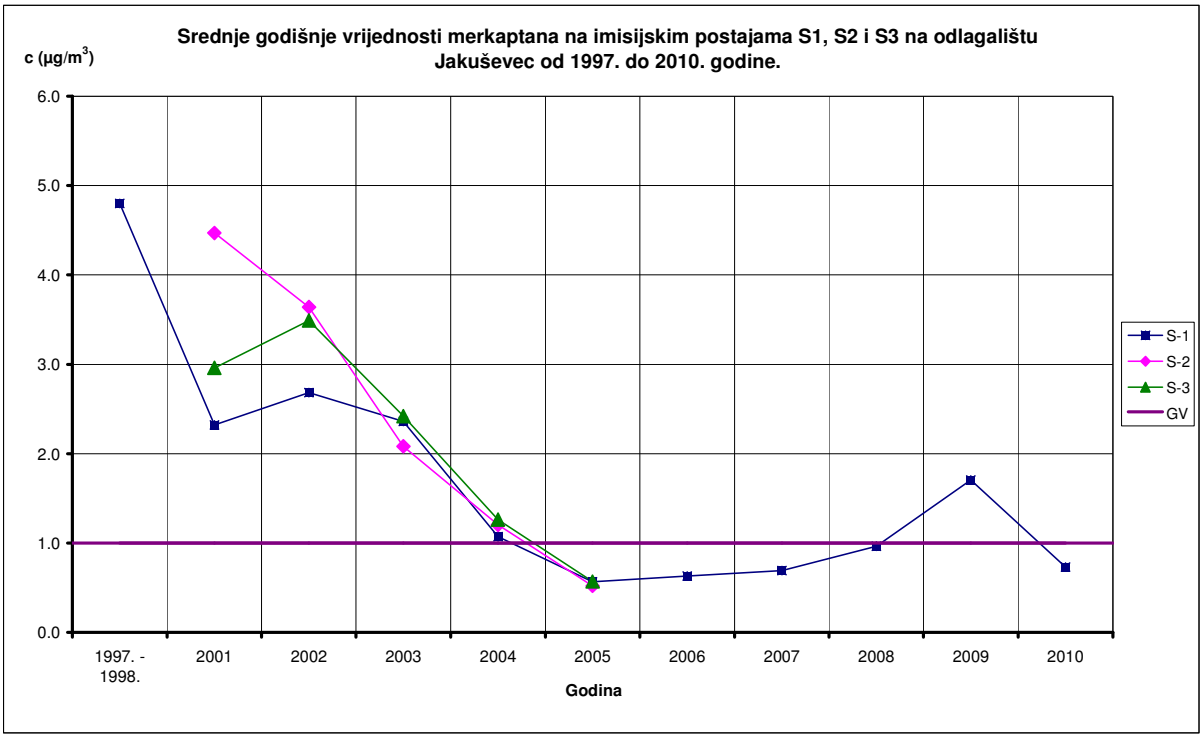
Merkaptani

Tijekom razdoblja kontinuiranog mjerenja od 2001. do 2004. godine, okolni zrak ostao je u istoj kategoriji kakvoće zbog srednje godišnje vrijednosti koja je na sve tri mjerne postaje bila iznad propisane GV (1 µg/m^3). U razdoblju mjerenja od 1997. i 1998. godine vrijednosti merkaptana su bile također iznad 1 µg/m^3, te zbog kratkog razdoblja mjerenja nije napravljena kategorizacija, ali se može pretpostaviti da je u tom razdoblju kakvoća zraka obzirom na merkaptane, bila približno u razini kakvoće zraka u 2001. godini (Slika 3.23).

Prema uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996), za merkaptane je mjerodavna granica mirisa te se vrijednost daje samo na razini granične vrijednosti koja iznosi 1 µg/m^3 .

Od 2005. do 2008. godine vidljiv je trend porasta koncentracija merkaptana, međutim, na godišnjoj razini sve vrijednosti su bile ispod 1 µg/m^3. U 2009. godini srednja vrijednost je bila iznad 1 µg/m^3, a u 2010. srednja vrijednost je pala ispod 1 µg/m^3.

Od početka listopada 2009. godine, pa do svibnja 2010. godine instrument nije bio u funkciji, pa obzirom na manji broj mjerenja, za te godine nije bilo moguće napraviti kategorizaciju zraka obzirom na ovaj parametar. Međutim, povišene koncentracije u 2009. godini se ne mogu zanemariti. Uzrok porasta koncentracija od 2006. do 2009. godine je najvjerojatnije premještanje radova na sjeverozapadni dio odlagališta koji je i najbliži naselju Jakuševec, ali uspostavom redovitog sustava dnevnog prekrivanja otpada uočljiv je ponovni trend popravljanja kakvoće zraka.



Slika 3.23: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti koncentracije merkaptana na imisijskim postajama S1, S2 i S3 (Modificirano prema Vasiljević et al., 2007., nadopunjeno sa Vađić et al., 1998., Vasiljević et al, 2007., 2008., 2009., Budiša et al., 2010., 2011.)*

Ukupna taložna tvar

Taložne tvari su one materije u čvrstom, tekućem ili plinovitom stanju koje nisu sastavni dio atmosfere, a talože se gravitacijom ili ispiranjem padalinama iz atmosfere u tlo. U taložnim tvarima prevladavaju čestice veće od 20 – 40 mm. One su mjerilo vidljivog onečišćenja okoline.

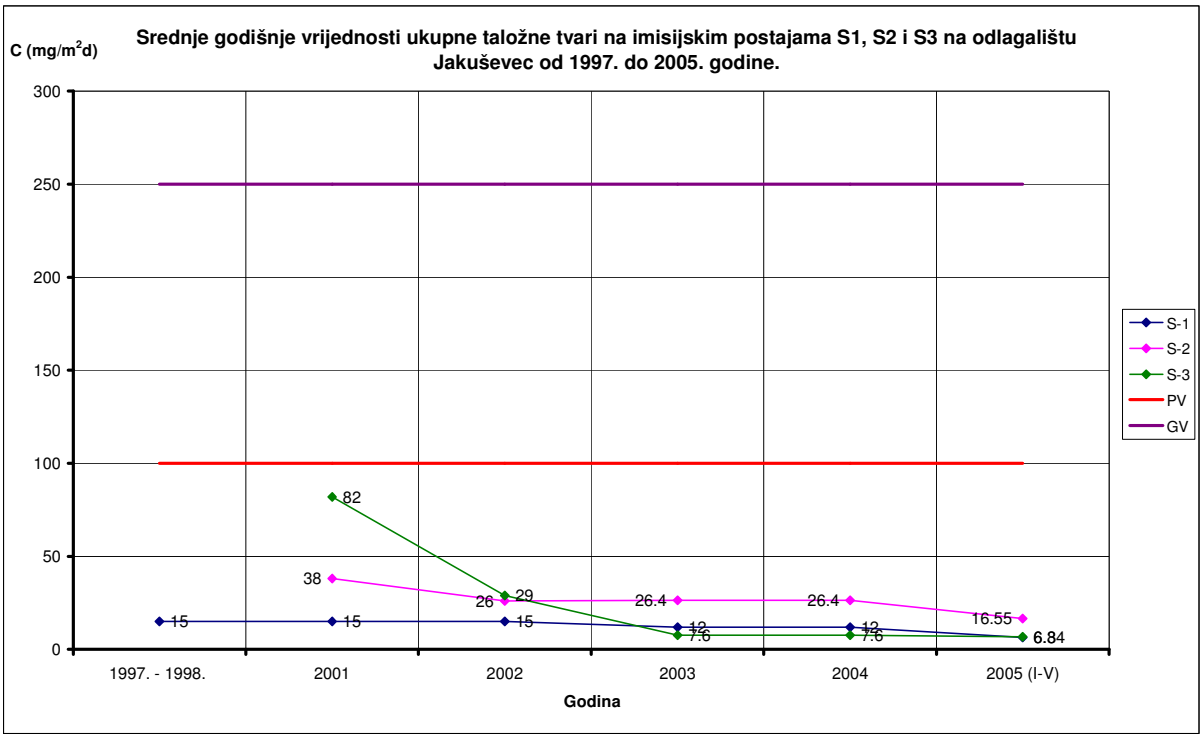
U 2001. godini, na stanicama S2 i S3, srednje godišnje koncentracije su bile iznad granične vrijednosti, te je na njima zrak bio treće kategorije kakvoće u odnosu na ukupnu taložnu tvar. Na stanici S1 , srednje godišnje koncentracije je bila ispod granične vrijednosti, ali je u rujnu prekoračena granična mjesečna vrijednost od 650 mg/m^2 (mikrograma po metru kvadratnom na dan), te je i na S1 zrak bio treće kategorije kakvoće u odnosu na ukupnu taložnu tvar.

U 2002. godini Na stanici S1 je u siječnju bila prekoračena granična mjesečna vrijednost, a na stanici S2 u lipnju, te je na njima zrak bio treće kategorije kakvoće u odnosu na ukupnu taložnu tvar. Na stanici S3, zrak je u odnosu na ukupnu taložnu tvar bio prve kategorije kakvoće.

Tijekom 2003. i 2004. godine, na stanicama S1 i S3 zrak bio prve kategorije kakvoće u odnosu na ukupnu taložnu tvar, dok je na stanici S2 bio druge kategorije.

Tijekom razdoblja mjerenja 1997., 1998., te od 2001. do 2005. godine može se uočiti konstantno poboljšanje kakvoće zraka u odnosu na srednju godišnju koncentraciju ukupne taložne tvari (Slika 3.24). Srednje godišnje vrijednost ukupne taložne tvari je ispod PV (200 mg/(m^2d)). Izuzetak je stanica S2 koja se nalazi na prostoru čistoće koje je vrlo prometno, te su na njoj tijekom 2003. i 2004. godine izmjerene srednje godišnje vrijednosti iznad PV. Na poboljšanje kakvoće zraka ukazuje i činjenica da tijekom 2003. i 2004. godine, niti na jednoj stanici nije registrirano prekoračenje maksimalne mjesečne koncentracije.

Za 2005. godinu nije dana kategorizacija kakvoće zraka s obzirom na parametar ukupne taložne tvari jer je razdoblje mjerenja trajalo samo pet mjeseci, što je puno kraće od razdoblja propisanog zakonom (godina dana).



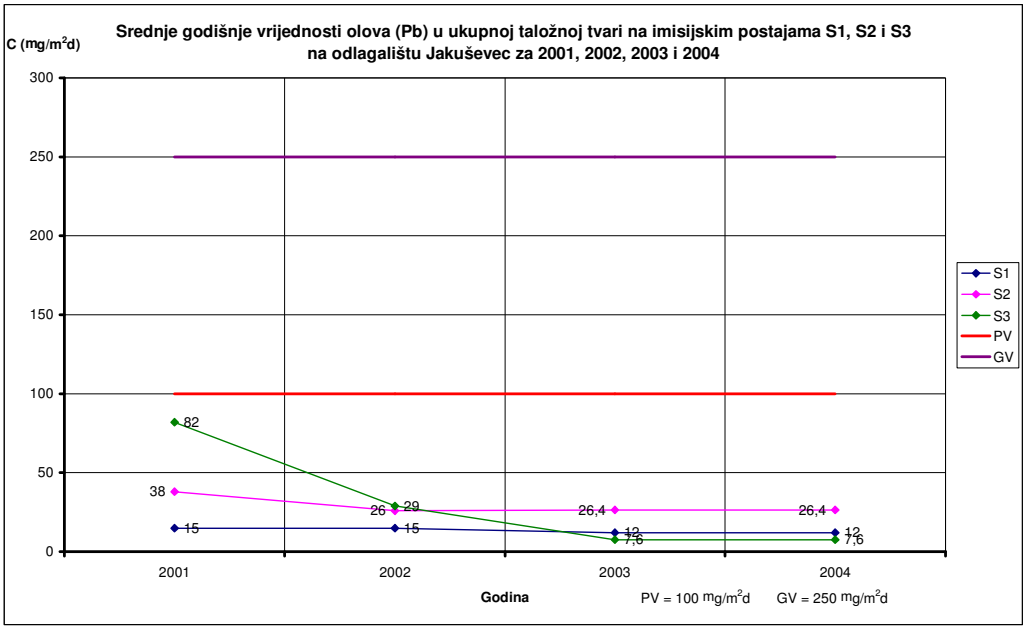
Slika 3.24: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti ukupne taložne tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

Olovo u ukupnoj taložnoj tvari

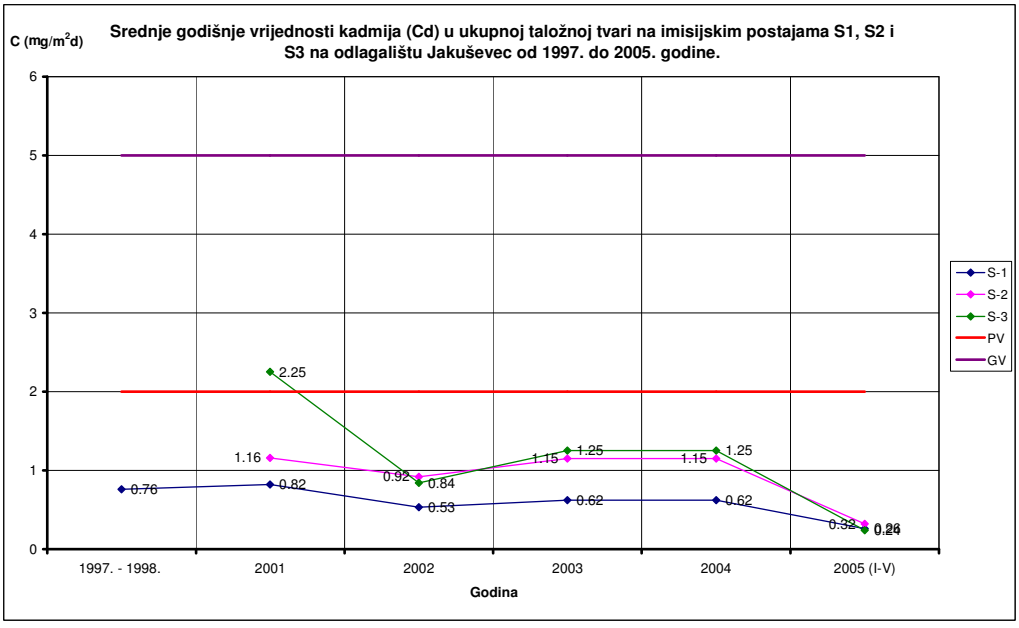
Olovo u ukupnoj taložnoj tvari se pratilo u 1997. i 1998. godini, te od 2001. do 2004. godine. Tijekom promatranog razdoblja koncentracije olova u ukupnoj taložnoj tvari na sve tri mjerne postaje su bile ispod preporučene vrijednosti, PV = 100 µg/m^{2}d (Slika 3.25).

Kadmij u ukupnoj taložnoj tvari

Srednja godišnja vrijednost kadmija u ukupnoj taložnoj tvari iznad preporučene vrijednosti registrirana je jedino na stanici S3 2001. godine (Slika 3.26), ostale vrijednosti su bile ispod preporučene vrijednosti od 2 µg/m^{2}d. Za 2005. godinu nije dana kategorizacija kakvoće zraka s obzirom na parametar kadmija u ukupnoj taložnoj tvari jer je razdoblje mjerenja trajalo samo pet mjeseci.



Slika 3.25: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti olova u ukupnoj taložnoj tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

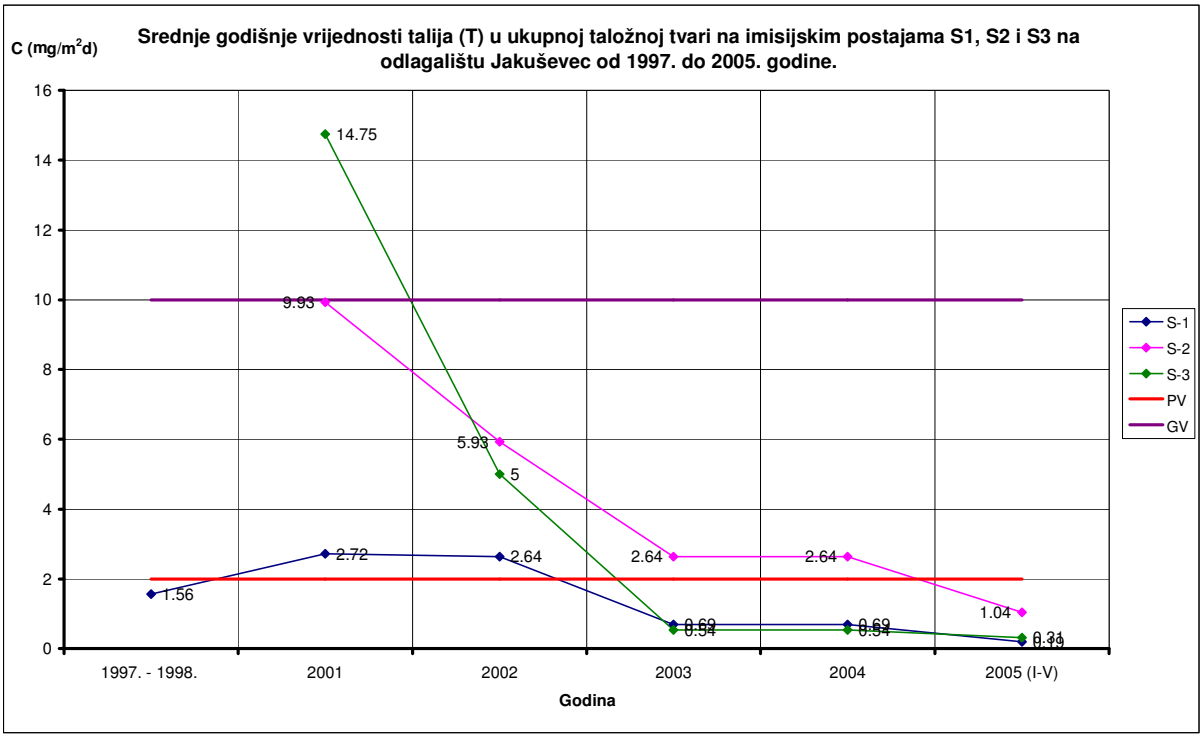


Slika 3.26: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti kadmija u ukupnoj taložnoj tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

Talij u ukupnoj taložnoj tvari

Vrijednosti talija u ukupnoj taložnoj tvari konstantno opadaju (Slika 3.27), tako da su na stanicama S1 i S3 tijekom 2003 i 2004 godine bile ispod PV (PV = 2 µg/m^{2}d). Jedino su na stanici S2 koncentracije talija u ukupnoj taložnoj tvari ostale iznad PV (koncentracije niže od 2 µg/m^{2}d su zabilježene jedino u rujnu i kolovozu 2004.), te je tamo zrak s obzirom na talij II kategorije. Za 2005. godinu nije dana kategorizacija kakvoće zraka s obzirom na parametar talija u ukupnoj taložnoj tvari jer je razdoblje mjerenja trajalo samo pet mjeseci.

Mjerna postaja S-2 se nalazila sjeverno od postrojenja za obradu građevinskog otpada. Povećane koncentracije talija su zabilježene u područjima gdje se troše stare fasade, tako da se pretpostavlja da je postrojenje za reciklažu građevinskog otpada izvor talija koji je bio registriran na mjernoj postaji S-2.

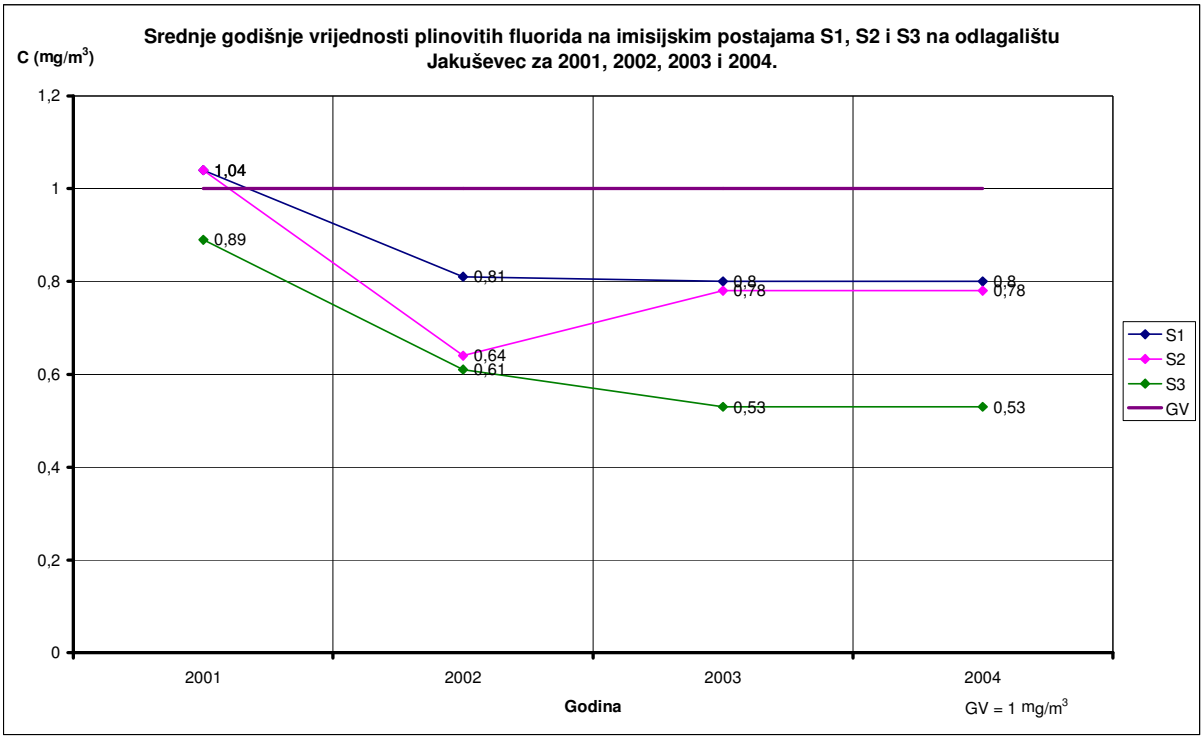


Slika 3.27: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti talija u ukupnoj taložnoj tvari na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Modificirano prema Vasiljević 2006., nadopunjena rezultatima Vađić et al., 1998.)*

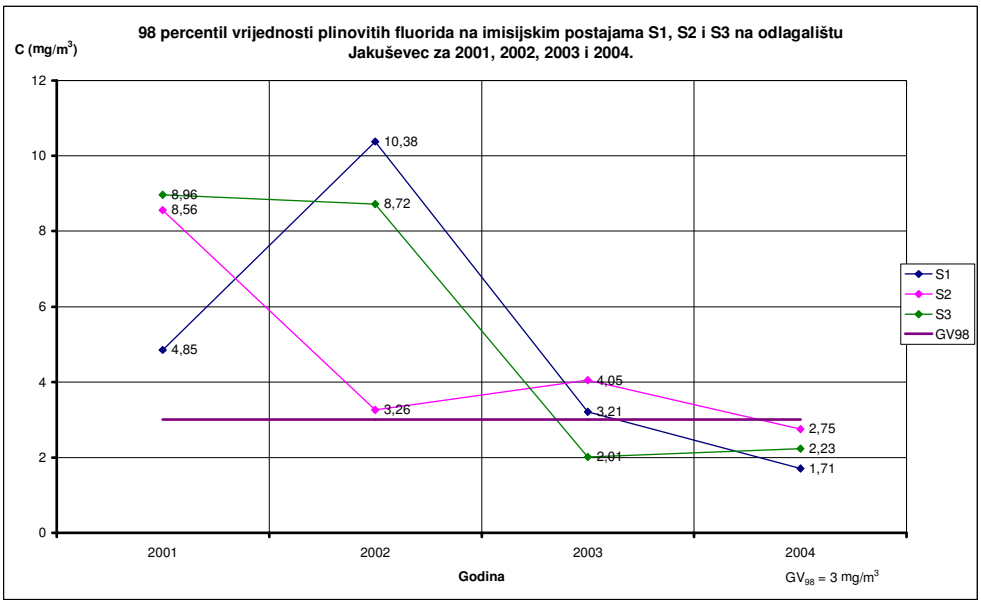
Plinoviti fluoridi

Plinoviti fluoridi su se pratili od 2001. do 2004. godine. Izuzev mjerenja 2001. godine gdje su registrirane srednje godišnje vrijednosti iznad granične vrijednosti (GV = 1 mg/m^3) na mjernim stanicama S1 i S2 (Slika 3.28), ostale su vrijednosti bile ispod GV. Potrebno je napomenuti da je prema uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996), za fluoride, kao i za vodikov sulfid i merkaptane mjerodavna granica mirisa, te se vrijednost daje samo na razini granične vrijednosti koja za plinovite fluoride iznosi 1 µg/m^3.

Vrijednosti 98 percentila također pokazuju trend opadanja (Slika 3.29), ali prema toj vrijednosti, tek 2004. godine vrijednosti fluorida padaju ispod GV_{98} (3 µg/m^3).



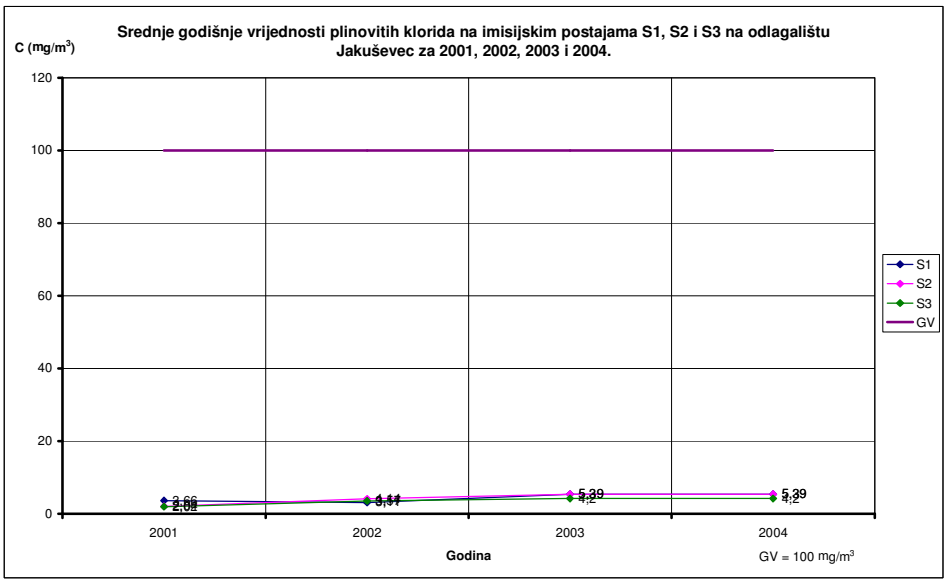
Slika 3.28: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti plinovitih fluorida na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Vasiljević 2006.)*



Slika 3.29: *Grafički prikaz 98 percentil godišnjih vrijednosti plinovitih fluorida na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Vasiljević 2006.)*

Plinoviti kloridi

Plinoviti kloridi su se pratili od 2001. do 2004. godine. Od 2001. do 2004. nije dolazilo do prekoračenja granične vrijednosti za kloride (GV = 100 mg/m^3), te je zrak na ovaj parametar bio I kategorije (Slika 3.30).



Slika 3.30: *Grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti plinovitih klorida na imisijskim postajama S1, S2 i S3. (Vasiljević 2006.)*

Diskusija rezultata praćenja kakvoće zraka

Iako kakvoća zraka nije predmet ove disertacije, na kraju je dana diskusija i zaključak ove teme jer je dosta opsežna i bez toga ne bi bila potpuno zatvorena. Tijekom razdoblja mjerenja od 2001. do kraja 2005. godine zapaža se konstantan pad parametara zagađenja na sve tri imisijske postaje. U 2004. godini vrijednosti svih mjerenih parametara su pale ispod granične vrijednosti, odnosno zrak je na većinu parametara bio I i na neke parametre II kategorije, što znači da je uočeno značajno poboljšanje kakvoće zraka na mjerenom području u zadnje četiri godine. U 2005. godini zrak je s obzirom na sve parametre koji su te godine bili mjereni bio prve kategorije kakvoće.

Obzirom na merkaptane od 2001. do 2004. godine, okolni zrak je najduže ostao u istoj kategoriji kakvoće zbog srednje godišnje vrijednosti koja je na sve tri mjerne postaje bila iznad propisane GV (1 $\mu g/m^3$). Navedeno potvrđuje ranije doneseni zaključak da su merkaptani predstavljali dominantno onečišćenje zraka oko odlagališta otpada Prudinec/Jakuševec (Bradić et. al., 2002.). Na sve tri postaje od 2002. godine zabilježen je trend konstantnog opadanja koncentracije, tako da je 2005. godine koncentracija merkaptana na sve tri postaje bila ispod granične vrijednosti i zrak je prešao u prvu kategoriju kakvoće. Od početka mjerenja koncentracije merkaptana su pale više od pet puta na stanicama S1 i S3 te skoro deset puta na stanici S2.

Od 2005. do 2008. godine uočljiv je trend laganog porasta koncentracija merkaptana, a od 2006. do 2008. godine i vodikovog sulfida, odnosno dominantnih zagađivača zraka oko odlagališta "Jakuševec", međutim, na godišnjoj razini sve vrijednosti su bile ispod graničnih vrijednosti. U 2009. godini srednje vrijednosti su bile iznad graničnih vrijednosti, da bi u 2010. godini ponovno pale ispod graničnih vrijednosti. Pretpostavlja se da je uzrok porasta koncentracija od 2006. do 2009. godine najvjerojatnije bilo premještanje radova na sjeverozapadni dio odlagališta koji je i najbliži naselju Jakuševec, ali uspostavom redovitog sustava dnevnog prekrivanja otpada uočljiv je ponovni trend popravljanja kakvoće zraka.

Zaključak rezultata praćenja kakvoće zraka

Na temelju citirane literature i trendova pojedinih parametara zagađivala zraka, posebno vodikovog sulfida i merkaptana, vidljivo je da je odlagalište bilo glavni izvor zagađenja zraka. Tijekom sanacije, dolazilo je do pada koncentracija zagađivala i poboljšanja kakvoće zraka. Do porasta koncentracija je došlo u razdoblju kada su radovi na odlagalištu bili bliže mjernoj postaji, a nakon uspostave dnevnog prekrivanja odloženog otpada došlo je do značajnog poboljšanja što upućuje na uspješnost sanacije.

Lebdeće čestice su sastavni dio atmosfere, a dolaze i od ljudskih aktivnosti (poljodjelstvo, industrija promet itd). Očito je da je odlagalište "Jakuševec" izvor amonijaka, vodikovog sulfida i merkaptana, međutim, ostala zagađivala (dušikovi oksidi i lebdeće čestice) imaju i druge izvore. Pretpostavka je da je dominantni izvor zagađenja zraka u Zagrebu, posebice lebdećih čestica promet (Šnidaršić, 2010.). Odlagalište "Jakuševec" se nalazi u neposrednoj blizini urbane zone grada Zagreba i nije ga moguće gledati u potpunosti izdvojeno iz cjelokupnog gradskog okružja glede zagađenja bilo koje vrste. Ovu činjenicu potvrđuju i zaključci svjetski poznate studije slučajeva devet velikih svjetskih gradova pod naslovom "Megagradovi i atmosfersko zagađenje" (Megacities and Atmospheric Pollution), citat: "U svijetu se došlo do važne spoznaje o potrebi sveobuhvatnog pristupa u cilju učinkovitog rješavanja pitanja kakvoće zraka: takvoga koji uzima u obzir znanstvene, tehničke, postojeće infrastrukturalne, gospodarske, društvene i političke čimbenike. Uspješan rezultat će biti postizanje cjelovitih upravljačkih strategija koje su učinkovito primijenjene i prihvaćene od javnosti" (Molina, Molina, 2004.).

3.2.3. Praćenje odlagališnog plina

Odlagališni plinovi sastoje se od mješavine stotina različitih plinova. Prema volumnom udjelu, plinovi idealno sadrže 40% do 60% metana i 40% do 60% ugljičnog dioksida. Odlagališni plinovi također sadrže male količine dušika, kisika, amonijaka, sulfida, vodika, ugljičnog monoksida i ne-metanskih organskih spojeva (engl. *Non-Methan Organic Compounds* ili NMOC) kao što je trikloretan, benzen i vinil klorid. "Tipični" otpadni plinovi i njihova uobičajena koncentracija te karakteristike dane su u tablici 3.11. Odlagališni plin nastaje kroz tri procesa: mikrobiološkom razgradnjom koji je ujedno i dominantan proces, hlapljenjem i kemijskim reakcijama (Vulinović et. al. 2010.).

Tablica 3.11: *Tipične sastavnice otpadnih plinova (Lide, 1991.)*

tvar	volumni udio (%)	Karakteristike
metan	45-60	Metan je plin koji se pojavljuje u prirodi. Bezbojan je i bez mirisa.
ugljični dioksid	40-60	Ugljični dioksid u malim koncentracijama (0.03%) se prirodno nalazi u atmosferi. Bezbojan je, bez mirisa i blago kiseo.
dušik	2-5	Volumni udio dušika u atmosferi iznosi oko 79%. Bezbojan je, bez mirisa i okusa.
kisik	0.1-1	Volumni udio kisika u atmosferi iznosi oko 21%. Bezbojan je, bez mirisa i okusa.
amonijak	0.1-1	Amonijak je bezbojan plin s lako uočljivim, neugodnim mirisom.
NMOC	0.01-0.6	NMOC čine organski spojevi (oni koji sadrže ugljik), isključujući metan. NMOC spojevi mogu se pojaviti u prirodi ili proizvesti sintetskim kemijskim procesima. NMOC koji se najčešće nalaze na odlagalištima uključuju: akrilonitril, 1,2,-dikloretan 1,2-cis dikloretilen, diklormetan, ugljični sulfid, etil-benzen, heksan, metil-etil-keton, tetrakloretilen, toluen, trikloretilen, vinil-klorid i ksileni.
sulfidi	0-1	Sulfidi (npr. vodikov sulfid, dimetil sulfid, merkaptani) plinovi su koji se prirodno pojavljuju koji odlagalištu daju neugodan miris pokvarenih jaja. Sulfidi mogu uzrokovati neugodne mirise čak i na vrlo malenim koncentracijama.
vodik	0-0.2	Vodik je bezbojan plin bez mirisa.
ugljični monoksid	0-0.2	Ugljikov monoksid je bezbojan plin bez okusa.

Mikrobiološka razgradnja. Većina odlagališnog plina proizvodi se bakterijskom razgradnjom, koja se javlja odmah nakon odlaganja komunalnog otpada. Organski otpad uključuje hranu, vrtni otpad, ostatke od čišćenja ulica, tekstil te drvo i papirne proizvode.

Procesi mikrobiološke razgradnje traju stotinjak godina pri čemu se intenzitet tih procesa smanjuje za polovinu svakih 5 do 8 godina (Milanović, 1992.). Bakterije razgrađuju organski otpad u sljedeće 4 faze:

Aerobna faza je početna kratka faza koja traje oko mjesec dana. U toj fazi aktivne su bakterije koje troše kisik i time iskorištavaju sav preostali kisik iz tijela deponije. Ukoliko se koriste kompaktori, u tijelu deponije preostaje manje kisika pa ova faza može trajati kraće vrijeme (Milanović, 1992.).

Anaerobna nemetanska faza okvirno traje nekoliko mjeseci. Aktivne su bakterije koje egzistiraju bez ili s malo kisika. U ovoj fazi se stvaraju organske kiseline i alkoholi. Događaju se i kemijske reakcije tako da se primjerice mijenja i pH vrijednost. To je faza stvaranja otopina, hidroliza i fermentacija (Milanović, 1992.).

Anaerobna nestabilna metanska faza traje od nekoliko mjeseci do godinu dana. Počinju djelovati bakterije koje stvaraju metan. Kemijska struktura otpada se stabilizira. Stvaraju se acetati i vodik (Milanović, 1992.).

Anaerobna stabilna metanska faza traje godinama. Metanogene bakterije su aktivne. Intenzitet procesa se smanjuje prema eksponencijalnoj funkciji u ovisnosti o vremenu.

Tamo gdje se zadržava organski ugljik otporan na razgradnju, brzina stvaranja metana je tako niska da se u deponijskom plinu pojavljuje dušik zbog difuzije iz atmosfere. U gornjim slojevima deponija pojavljuju se aerobne zone i zone u kojima je redoks potencijal previsok za stvaranje metana. Prema nekim autorima ta završna faza se tretira kao posebna, ***peta faza razgradnje*** (Milanović, 1992.).

Hlapljenje. Odlagališni plinovi mogu nastati kada se određeni otpad, prvenstveno organskog sastava, mijenja iz tekućeg ili čvrstog stanja u paru. Ovaj proces poznat je kao hlapljenje. Postojanje NMOC spojeva na odlagalištu mogu rezultirati hlapljenjem određenih kemikalija koje su izložene na odlagalištu (Vulinović et. al. 2010.).

Kemijske reakcije. Otpadni plinovi, uključujući i NMOC, mogu se proizvesti reakcijama određenih kemikalija koje su prisutne na odlagalištu (Vulinović et. al. 2010.).

Prve publicirane rezultate mjerenja sastava odlagališnog plina na odlagalištu "Jakuševec" su dali Orešković i Rak, 1996. Godine. Autori su opisali ugradnju sustava otplinjavanja na radnoj plohi odlagališta otpada "Jakuševec".

Svrha mjerenja je bila određivanje sastava plina kako bi se omogućio normalan rad baklje. Mjerenja odlagališnog plina za vrijeme kontinuiranog rada sustava otplinjavanja na 11 zdenaca pokazala su sljedeći sastav komponenti deponijskog plina:

- metan (CH_4) do 45 %
- ugljični dioksid (CO_2) do 30 %
- zrak do 22 %
- vodikov sulfid (H_2S) do 15 ppm

Ukoliko se uzme u obzir da kisika u zraku ima 21% odnosno, oko jedne petine, može se zaključiti da je količina kisika iznosila oko 4,5 %.

Sastav odlagališnog plina se prati na postrojenju za obradu odlagališnih plinova koje je smješteno na sjeveroistočnom dijelu odlagališta otpada Jakuševec, oko 300 metara jugoistočno od ulaza na odlagalište.

Sva mjerenja provedena su prijenosnim detektorom GA2000Plus Gas Analyser, Geotechnical Instruments. Mjerenja su provedena metodom infracrvene apsorpcije. Osim navedenih komponenti, mjereni su atmosferski tlak i tlak unutar sustava prikupljanja plina, brzina strujanja plinova (protok) i temperatura zraka. Mjesto uzorkovanja je cjevovod na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnog plina. Na temelju mjerenja provedenih tijekom 2008. i 2009. godine (Vulinović et al, 2009., 2010.) može se zaključiti da odlagališni plin na odlagalištu "Jakuševec" ima sljedeći prosječni sastav:

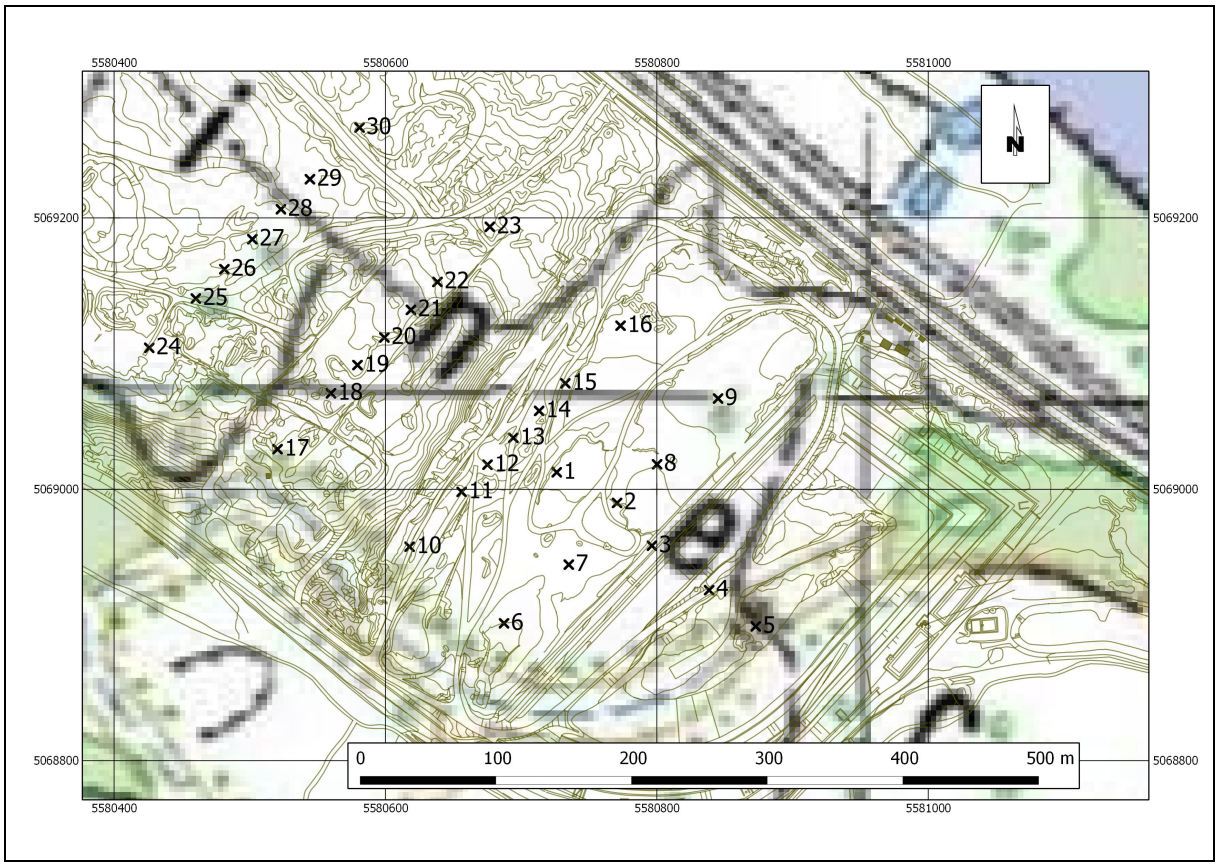
- metan (CH_4) – 42 %
- ugljični dioksid (CO_2) – 30 %
- kisik (O_2) – 5 %
- vodik (H_2) – 200 ppm
- vodikov sulfid (H_2S) – 20 ppm

Mjerenja su pokazala da odlagališni plin u postrojenju za obradu ima očekivani sastav. Udjeli pojedinih komponenti također su u granicama očekivanja. Udjel kisika u ulaznom dijelu postrojenja je nešto povećan (više od 3%), što je razumljivo obzirom na tehnologiju prikupljanja i obrade odlagališnog plina (Vulinović et. al. 2010.).

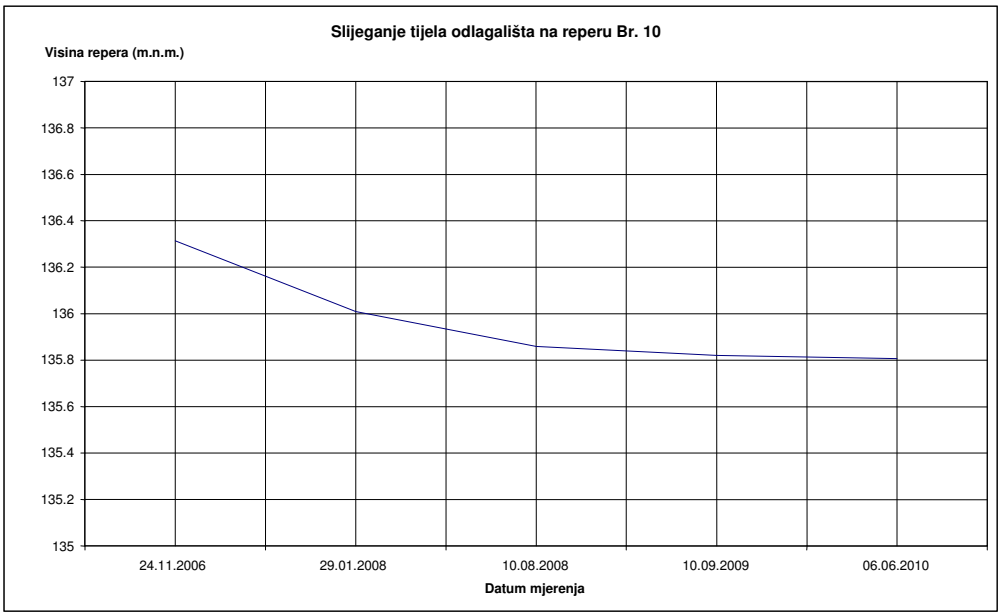
Iako tijekom ranijih mjerenja (Orešković, Rak, 1996.) nisu bile određivane jednake komponente, može se zaključiti da je sastav odlagališnog plina sličan.

3.2.4. Geodetsko snimanje slijeganja tijela odlagališta

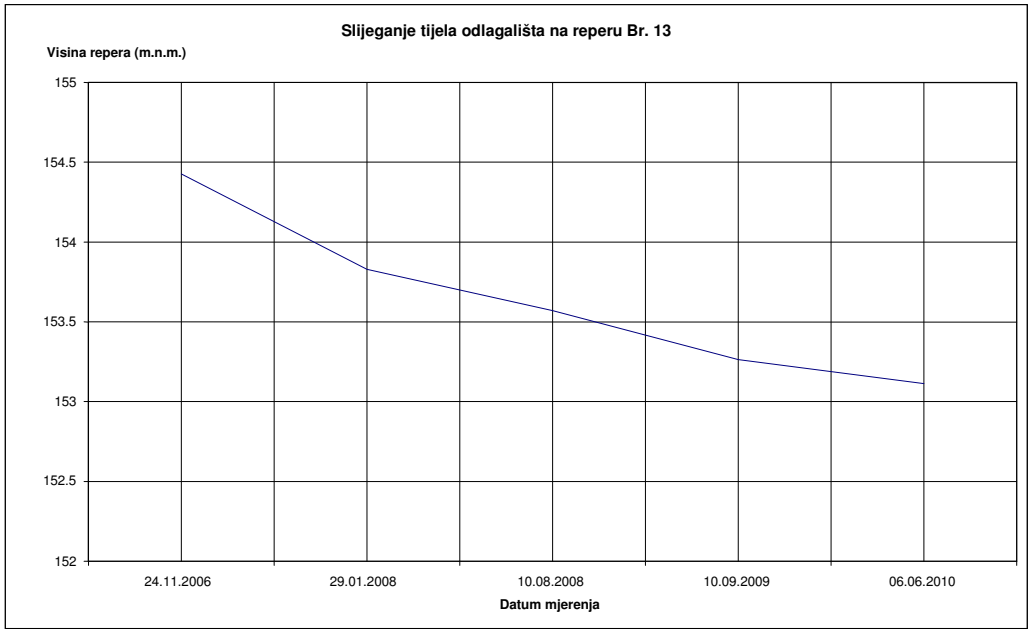
U sklopu monitoringa se od 2006. godine provodi geodetsko praćenje slijeganja tijela na repernim točkama koje se nalaze u njegovom jugoistočnom dijelu (Slika 3.31). Praćenja se provode jedan puta godišnje, a do sada su napravljena četiri ciklusa mjerenja: 24.11.2006.; 29.01.2008., 10.08.2008., 10.09.2009. i 06.06.2010. Za provjeru slijeganja tijela odlagališta, odabrani su reperi broj 10 (Slika 3.32) i 13. (Slika 3.33).



Slika 3.31: *Raspored repera na tijelu odlagališta (Vasiljević, Tudić, Vulinović, 2010.)*



Slika 3.32: *Grafički prikaz slijeganja na rubnom dijelu tijela odlagališta na reperu Br. 10 (Vasiljević, Tudić, Vulinović, 2010.)*



Slika 3.33: *Grafički prikaz slijeganja na centralnom dijelu tijela odlagališta na reperu Br. 13 (Vasiljević, Tudić, Vulinović, 2010.)*

Reperi su odabrani tako da obuhvate rubni i centralni dio tijela odlagališta. Na slikama 3.32 i 3.33 je vidljivo kako je slijeganje najmanje na rubnim, odnosno nižim dijelovima odlagališta, dok je veće na višim dijelovima odlagališta. U rubnom dijelu odlagališta, u razdoblju od 2006. do 2010. godine ukupno slijeganje tijela je iznosilo oko 0,5 metara (Slika 3.32). Dinamika slijeganja rubnog dijela je bila sljedeća, od studenog 2006. do siječnja 2008. godine (oko 14 mjeseci), ukupno slijeganje je iznosilo oko 0,3 metra. Od siječnja 2008. do kolovoza 2008. godine (oko 7 mjeseci), ukupno slijeganje je iznosilo oko 0,15 metara. Može se zaključiti da je od studenog 2006. do kolovoza 2008. godine (21 mjesec), ukupno slijeganje iznosilo oko 0,45 metara, odnosno nešto više od 0,02 metra mjesečno. Tijekom sljedeće dvije godine dolazi do značajnog usporavanja slijeganja rubnog dijela tijela odlagališta i od kolovoza 2008. godine do lipnja 2010. godine (22 mjeseca) ukupno slijeganje je iznosilo manje od 0,1 metra, odnosno, manje od 0,005 metara mjesečno (Slika 3.32). U centralnom dijelu, dinamika slijeganja je bila sljedeća, od studenog 2006. do siječnja 2008. godine (oko 14 mjeseci), ukupno slijeganje je iznosilo nešto više od 0,5 metara. Od siječnja 2008. do kolovoza 2008. godine (oko 7 mjeseci), ukupno slijeganje je iznosilo nešto više od 0,25 metara. Može se zaključiti da je od studenog 2006. do kolovoza 2008. godine (21 mjesec), ukupno slijeganje iznosilo oko 0,75 metara, odnosno oko 0,03 metra mjesečno.

U sljedećih godinu dana, od kolovoza 2008. do rujna 2009., dolazi do usporavanja slijeganja centralnog dijela tijela odlagališta i u tom razdoblju (13 mjeseci) je iznosilo oko 0,3 metra, odnosno, nešto više od 0,02 metra mjesečno. Daljnjih godinu dana, od rujna 2009. do lipnja 2010., nastavljen je trend usporavanja slijeganja centralnog dijela tijela odlagališta i u tom razdoblju (9 mjeseci) je iznosilo oko 0,15 metra, odnosno, nešto manje od 0,02 metra mjesečno. (Slika 3.33).

3.3. Sanacija odlagališta

3.3.1. Ideja sanacije odlagališta

Od početka rada odlagališta Jakuševec do sredine devedesetih godina prošlog stoljeća nije zaustavljen nepovoljan trend njegovog širenja, a taj problem je u međuvremenu bio potenciran kao društveno relevantan (Kaić, Orešković, 1995.). Naime tijekom osamdesetih godina prošlog stoljeća postojeća gradska crpilišta u lijevom zaobalju Save postupno su ispadala iz uporabe.

Organizirana vodoopskrba grada Zagreba datira još od davne 1878. godine. Od tog vremena pa do 1986. izgrađeno je 15 crpilišta koja su količinom, a posebno kvalitetom vode, potpuno zadovoljavala potrebe grada u svim fazama njegovog razvoja (Mayer, 1993.). Međutim, širenjem grada, izgradnjom prometnica i industrijskih objekata u podzemlje su ulazile sve veće količine otpadnih tvari, a prve pojave zagađene vode u gradskim crpilištima uočene su početkom osamdesetih godina ovog stoljeća, dakle više od 100 godina nakon puštanja prvih crpilišta u pogon (Plišo, 1989). Prvo ozbiljno zagađenje podzemne vode registrirano je 1980. godine kada su zatvorena vodocrpilišta u Selskoj cesti (najstarije zagrebačko crpilište), u Zagorskoj i Daničićevoj ulici. Nakon više mjeseci crpljenja crpilišta su "zaliječena" i ponovno priključena na vodovodnu mrežu. Radilo se međutim stvarno samo o privremenom "zalječenju", jer je voda iz istih crpilišta ponovno zatrovana 1984. godine, kada su sva tri crpilišta vjerojatno zauvijek isključena iz sustava vodoopskrbe Zagreba. 1984. godina bila je za vodoopskrbu grada Zagreba gotovo kobna. Naime nakon zatvaranja tri već spomenuta crpilišta u zapadnom dijelu grada, zaredala su zagađenja vode na crpilištima velikih kapaciteta na istočnoj periferiji: "Žitnjak I", i "Žitnjak II". 1985. godine zatvorena su crpilišta "Sašnjak" teglica I i crpilište u Botaničkom vrtu.

1986. godine zatvorena su crpilišta u Zadarskoj i Držićevoj ulici, a 1989. godine zatvorena su crpilišta u Vrbiku, Vrapču i Prečkom. Od svih nabrojenih crpilišta uspjela je jedino rehabilitacija crpilišta "Žitnjak I", a na crpilištu "Sašnjak" instaliran je uređaj za doradu vode. Tako je grad Zagreb u samo deset godina privremeno ili trajno ostao bez crpilišta koja su davala 114,5 milijuna litara vode dnevno. To je količina kojom se mogu potpuno podmiriti potrebe grada od oko 350.000 stanovnika (Mayer 1993.).

Ovi primjeri ukazuju na opasnost koja prijeti podzemnim vodama zagrebačkog vodonosnog sustava, tim više što je nakon ispadanja postojećih crpilišta na značaju dobilo desno zaobalje Save, a područje Črnkovca (Kosnice) je već početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća bilo proglašeno rezervom za budući razvoj vodoopskrbe grada Zagreba. Očuvanje Črnkovca usko je povezano sa sanacijom odlagališta Jakuševec, jer je odlagalište smješteno uzvodno na smjeru glavnog toka podzemne vode prema ovom vodonosnom području (Kaić, Orešković, 1995.).

3.3.2. Opis projektnog rješenja sanacije

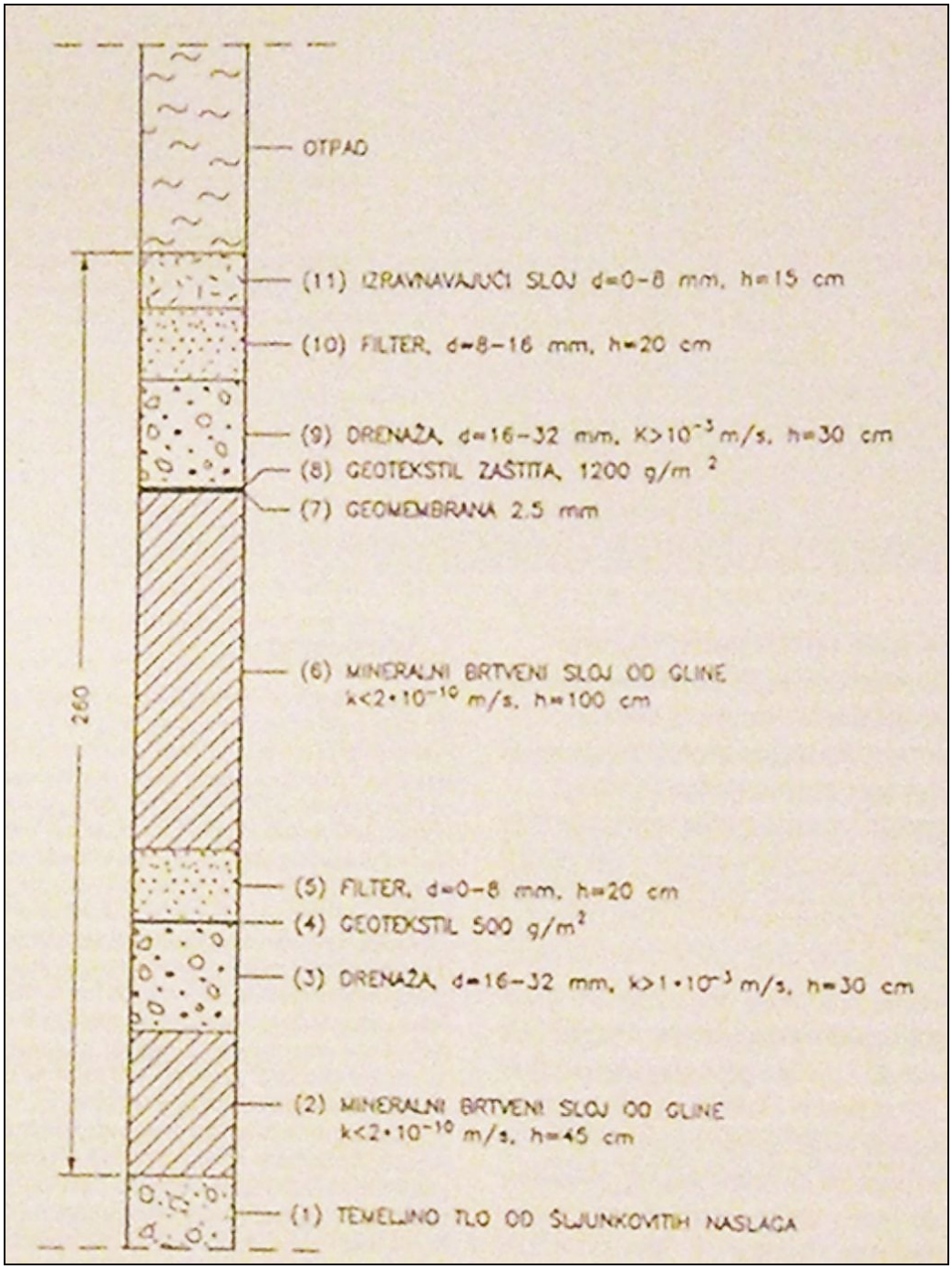
Odlagalište Jakuševec-Prudinec je od 1965. godine do početka devedesetih godina prošlog stoljeća (početka izrade idejnog rješenja sanacije) zauzelo i zagadilo gotovo milijun m^2 tla i ozbiljno ugrozilo kakvoću pitke podzemne vode (Nakić i dr. 2007.).

Početkom 1991. godine pristupilo se izradi idejnog rješenja uređenja i zatvaranja odlagališta Jakuševec. Razmatrano je nekoliko mogućih varijanti sanacije i to:

- Preseljenje otpada na neku hidrogeološki pogodniju lokaciju (najbolje ocijenjena varijanta)
- Izvedba duboke glinobetonske zavjese u vodonosniku oko cijelog odlagališta
- Preslagivanje otpada na uređeno nepropusno dno (Odabrana varijanta).

Projektnim rješenjem na osnovi kojega su započeli radovi na sanaciji smetlišta Jakuševec predviđeno je preslagivanje otpada na uređenu radnu plohu za odlaganje otpada do konačnog rješenja sanacije.

Na Slici 3.34 je dan presjek temeljnog brtvenog sustava iz kojeg je vidljiva sva složenost projektiranog zahvata i visoki zahtjevi za kvalitetu izvođenja (Kaić, Orešković, 1995.), svrha temeljnog brtvenog sustava je sprečavanje prodora zagađenja iz otpada u podzemlje. Projekt brtvenog sustava je izradila tvrtka Elektroprojekt iz Zagreba 1995. godine, a projekt mineralnih brtvenih slojeva izradio je Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb 1995. godine.



Slika 3.34: *Odabrano rješenje temeljnog brtvenog sustava (Elektroprojekt 1995. [1]; Kaić, Orešković, 1995.; Drnjević, Horvat, 1995.)*

Do početka sanacije 21.08.1995. godine, ukupna površina smetlišta je iznosila 80 ha s procijenjenom količinom odloženog otpada od oko 6 milijuna m^3, te s visinom sloja otpada u središnjem dijelu većom od 15 metara (Kaić, Orešković, 1995.).

Prije početka izvedbe radne plohe, napravljena je pokusna ploha. Svrha rada pokusne plohe je bila provjera izabranih materijala za ugradnju i radnih procesa. Na takvoj plohi je u stvarnoj veličini napravljeno sljedeće:

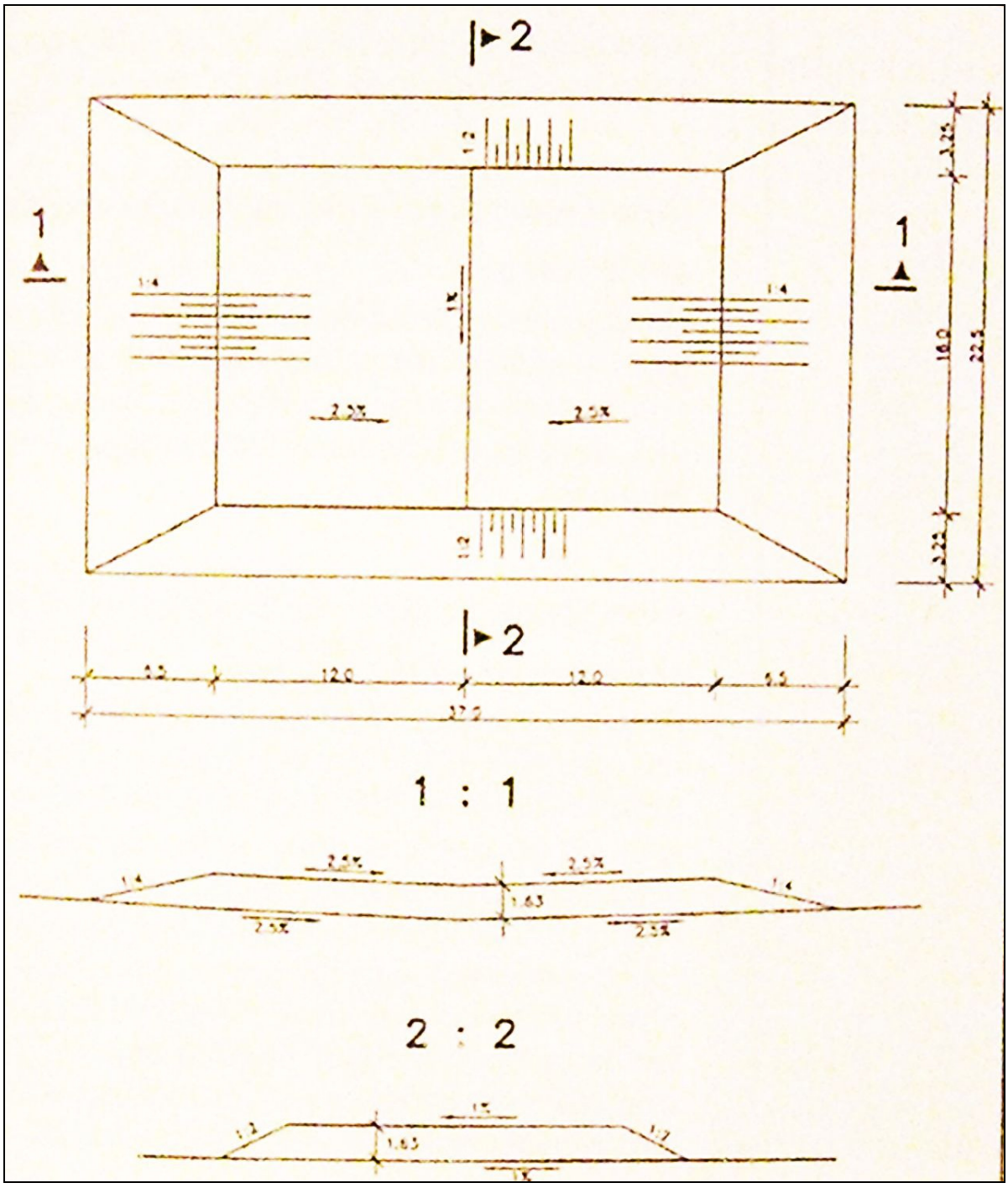
- Istražena je i dokazana uspješnost izvedbe projektiranog brtvenog sustava,
- provjeren i dopunjen program provjere kakvoće ugrađenih materijala i
- provesti sva usporedna ispitivanja koja mogu pojednostavniti i potvrditi provjeru kod izvedbe na radnoj površini.

Izvedba pokusnog polja

Pokusna ploha je bila izvedena na istočnom dijelu radilišta dovoljno udaljenim od radne plohe (Elektroprojekt, 1995., Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb 1995.) Pokusno polje je bilo izvedeno u formi četiri trake pojedinačnih širina 4 metara i dužine 24 metara, tlocrtne dimenzije pokusnog polja su bile 16 x 24 m (Slika 3.35).

Svi slojevi su izvedeni u nagibu 2,5% (nagib drenaže) a nagib u poprečnom smjeru je bio 1% (Drnjević, Horvat, 1995.). Na pokusnom polju se ispitivalo sljedeće:

- Učinak dvije vrste strojeva za sabijanje,
- mogućnost zbijanja glinovitih materijala s dvije različite vlažnosti i
- ispitivanje otpornosti dvije vrste drenažnih cijevi i to od keramike i polietilena visoke gustoće (engl. *Polyethilene High Density* ili PEHD) uz različite debljine drenažnog i filtarskog sloja.



Slika 3.35: *Oblik pokusnog polja (Drnjević, Horvat, 1995.)*

Projektom je predviđeno izvođenje pokusnog polja sljedećim redoslijedom (Drnjević, Horvat, 1995.):

Uređenje podloge – Tlo u podlozi će biti šljunak. Površina podloge će se urediti na način da ima odgovarajuće nagibe za drenažu i modul zbijenosti najmanje $M_s = 50$ MN/m^2.

Donji brtveni sustav – brtveni sloj 1 – U brtveni sustav se ugrađuje glinoviti materijal. Kvaliteta gline i način ugradnje će biti takvi da se postigne vodopropusnost manja od 10^{-7} cm/s. Ugradnja gline u donji brtveni sustav izvest će se u tri sloja pojedinačnih debljina po 17 cm.

Donji brtveni sloj – geomembrana i geotekstil – Geomembrana treba biti izgrađena od kemijski rezistentnih materijala kao što je PEHD debljine 2,5 mm. Preklopi geomembrane se spajaju posebnom tehnikom zavarivanja. Na geomembranu se polaže netkani geotekstil tipa 1200 g/ m^2. Geotekstil se spaja šivanjem.

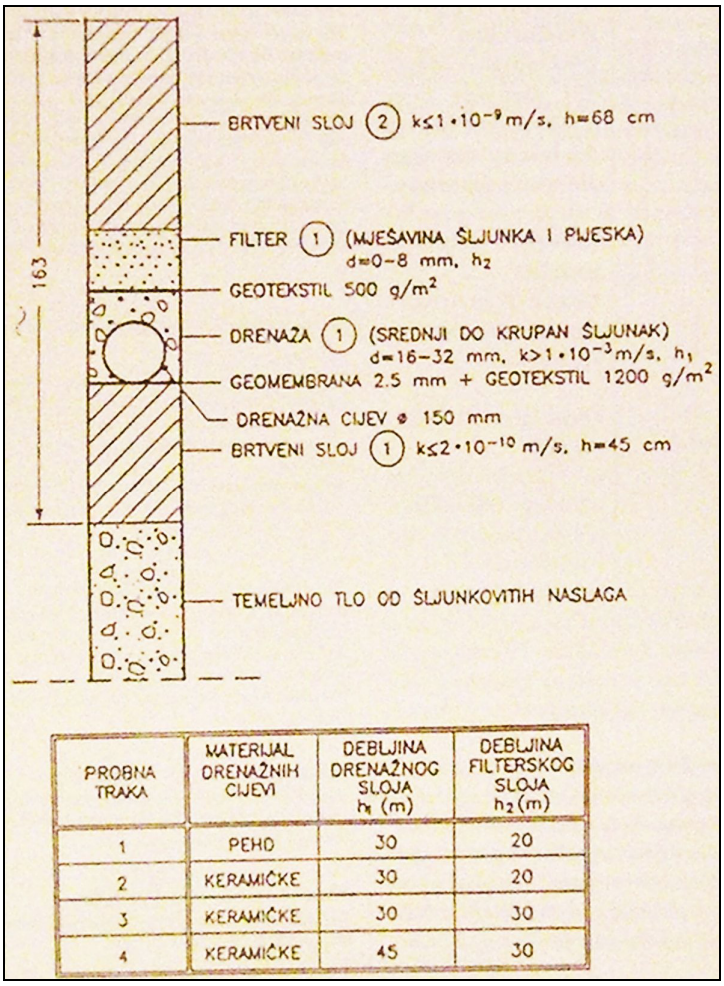
Drenažni sustav – drenažni sloj – Drenažni sloj se izvodi od šljunka veličine zrna između 16 i 32 mm. Debljina drenažnog sloja varira tako da je u tri trake 30 cm, a u četvrtoj 45 cm. Zbijanje drenažnog sloja nije predviđeno projektom.

Drenažni sustav – drenažne cijevi – U jednu traku će se ugraditi cijev od PEHD-a, a u tri trake će se ugraditi cijevi od keramike.

Drenažni sustav –geotekstil –Geotekstil je netkani tipa 500 g/ m^2, a spaja se šivanjem.

Drenažni sustav – filtarski sloj – U filtarski sloj se ugrađuje šljunčano pjeskovita mješavina veličine zrna od 0 do 8 mm. U dvije trake se predviđa debljina od 20 cm, a u preostale dvije od 30 cm. Filtarski sloj se treba tako zbiti da postigne modul zbijenosti najmanje $M_s = 20$ MN/m^2.

Gornji brtveni sustav – brtveni sloj 2 – U brtveni sustav se ugrađuje glinoviti materijal koji mora zadovoljiti iste uvijete kao i materijal donjeg brtvenog sustava. Ugradnja glinovitog materijala će se izvesti u četiri sloja pojedinačnih debljina po 17 cm. Na slici 3.47 prikazan je poprečni presjek pokusnog polja sa svim osnovnim podacima o debljinama slojeva i materijalima koji se ugrađuju (Drnjević, Horvat, 1995.).



PROBNA TRAKA	MATERIJAL DRENAŽNIH CIJEVI	DEBLJINA DRENAŽNOG SLOJA h_1 (m)	DEBLJINA FILTERSKOG SLOJA h_2 (m)
1	PEHD	30	20
2	KERAMIČKE	30	20
3	KERAMIČKE	30	30
4	KERAMIČKE	45	30

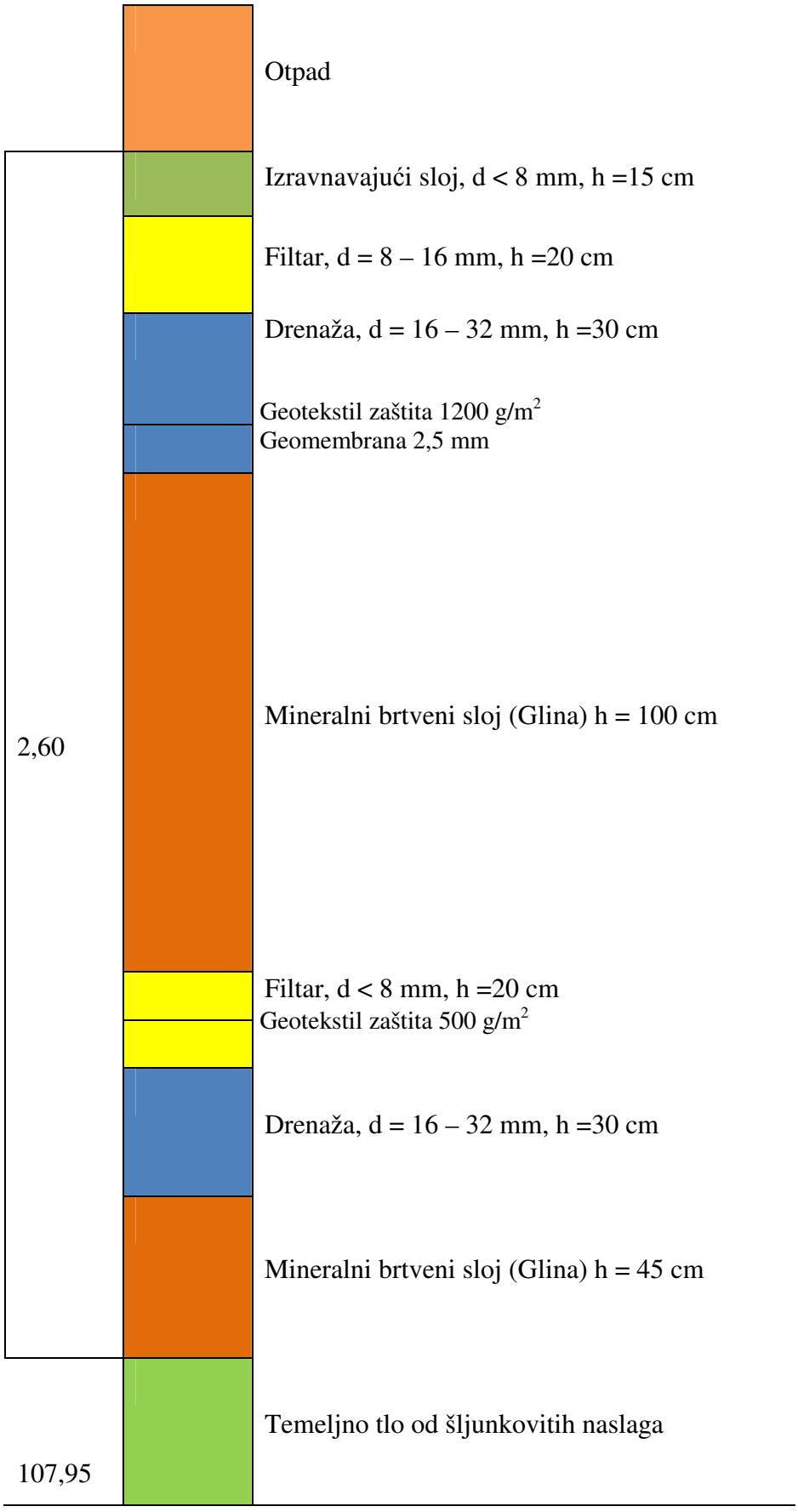
Slika 3.36: *Poprečni presjek pokusnog polja (Drnjević, Horvat, 1995.)*

Tijekom izgradnje pokusne plohe izvedena su sva potrebna ispitivanja materijala, posebno gline, kako bi se potvrdilo da su pogodni za sanaciju. Sistem kontrole kvalitete ugradnje gline u brtvene slojeve je obuhvatio vizualnu kontrolu te provedbu laboratorijskih ispitivanja. Takav sistem je proveden u svim fazama radova kao što su iskopi gline u glinokopima, priprema materijala u poljima za usitnjavanje i homogenizaciju, izvedba pokusnog polja, ugradnja gline i njezino njegovanje. Zahvaljujući takvom sveobuhvatnom sistemu kontrole postignuta je visoka kvaliteta brtvenih slojeva i dobiveni potrebni materijalni dokazi o kvaliteti izvedenih radova (Drnjević, 1996.). Ipak tijekom izvedbe probne plohe utvrđeno je da se uobičajenom mehanizacijom nisu mogli izvoditi radovi te je iz tog razloga došlo do promjena termina izvođenja radova (Babić, et. al. 1996.).

3.3.3. Izvedba radne plohe

Od predloženih varijanti sanacije izabrano je višeslojno uređenje vodonepropusnog dna s cjelovitim rješenjem sustava procjednih i oborinskih voda (Babić, et. al. 1996.). Izvedbom pokusnog polja odabrani su odgovarajući materijali i strojevi za početak sanacije. Početak sanacije je predstavljao izvedbu radne plohe na jugoistočnom dijelu odlagališta. Projektom radne plohe je predviđeno da se najprije ukloni otpad s površine od 12 ha. Na toj površini je za odlaganje novog otpada predviđen prostor od oko 7 ha. Preostala površina predviđena je za druge namjene – vodene površine, zelenilo, komunalne objekte i uređaje.

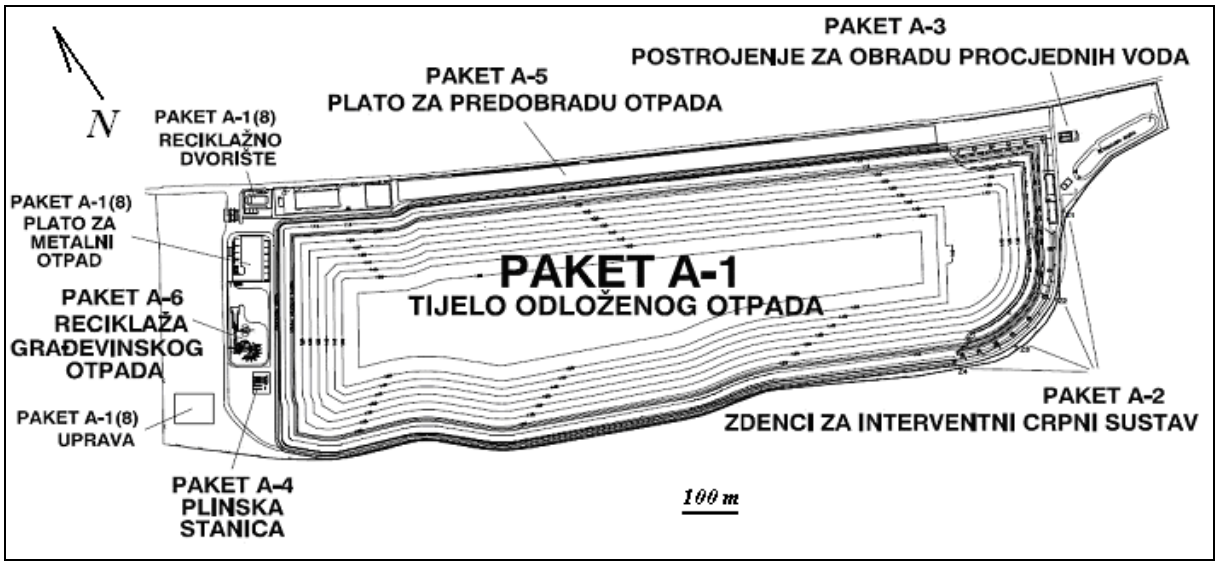
Nakon uklanjanja otpada površinu je potrebno izravnati dovođenjem zamjenskog materijala, (nezagađenog šljunka) te pripremiti temeljnu podlogu do projektirane kote za početak izvođenja slojeva radne plohe. Radna ploha se sastoji od tri osnovna konstruktivna elementa s 11 različitih tipova slojeva ukupne debljine 260 cm (Slika 3.37). Sanacijski radovi su započeli 1995. godine pripremom plohe 1 na 6 ha. Do 1999. godine na pripremljenu radnu plohu, koja je označena kao ploha 1 preslagivan je otpad čime je premješteno oko 7% starog otpada i sanirano oko 11 ha ukupne površine odlagališta. Sanaciju je od 1995. do 1999. financirao grad Zagreb iz vlastitih sredstava, a 1998. godine sklopljen je ugovor o kreditiranju sanacije s Europskom bankom za obnovu i razvoj (EBRD) (Ivšić 2009.).



Slika 3.37: *Projektirani nosivi slojevi "Radne plohe"*

3.3.4. Sanacija odlagališta

Cjelovita sanacija odlagališta Jakuševec je bila kompleksan projekt koji je stoga bio podijeljen na više dijelova tzv. "Paketa", označenih A-1, A-2, ..., A-8 (Slika 3.38).



Slika 3.38: *Građevine izvedene u sklopu pojedinih "Paketa" (Ivšić, 2009., IGH, 2009.)*

Pojedini paketi su:

Paket A-1 – Glavni paket sanacije tijela odlagališta.

Paket A-2 – Izrada interventnog crpnog sustava.

Paket A-3 – Uređaj za pročišćavanje procjednih voda.

Paket A-4 - Sustav otplinjavanja deponije s energetskim iskorištavanjem.

Paket A-5 – Predobrada otpada.

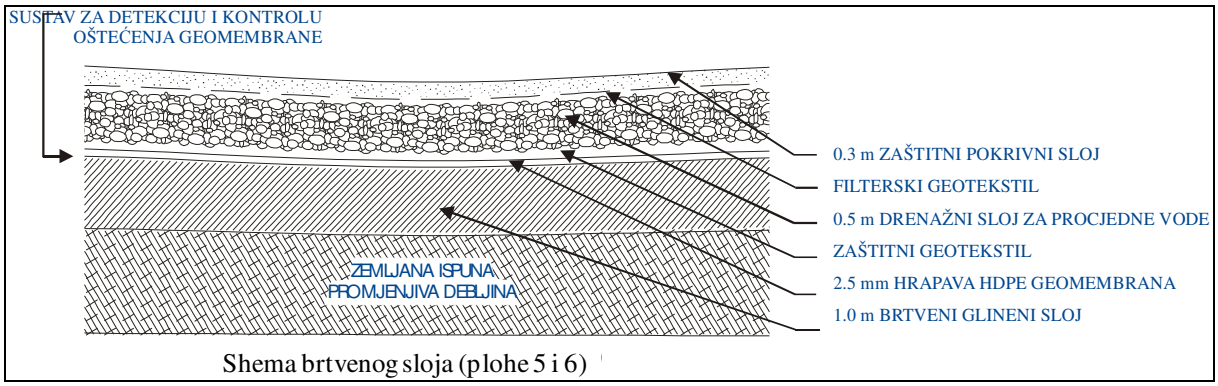
Paket A-6 - Postrojenje za reciklažu građevinskog otpada.

Paket A-7 – Monitoring.

Paket A-1(8) - Ostale građevine.

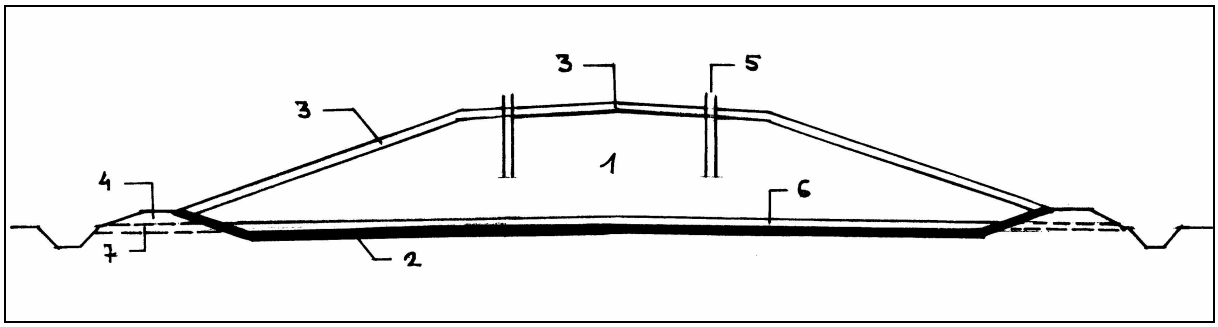
Pojedini paketi su opisani u nastavku teksta.

Paket A-1 – Glavni paket sanacija tijela odlagališta Ovaj dio projekta se odnosi na sam otpad i način njegova odlaganja na sanitarni (kontrolirani) način. Radovi obuhvaćeni ovim paketom su smanjili površinu na kojoj je deponiran otpad sa 80 ha na oko 57 ha (uključivo prostor predviđen za odlaganje otpada u budućnosti). Izgradnjom temeljnog brtvenog sustava i sustava za prikupljanje i odvodnju procjednih voda otklonjena je opasnost od zagađenja podzemlja i podzemnih voda (Slika 3.39).



Slika 3.39: *Sustav brtvljenja dna deponija na Jakuševcu (Milanović, 2009.)*

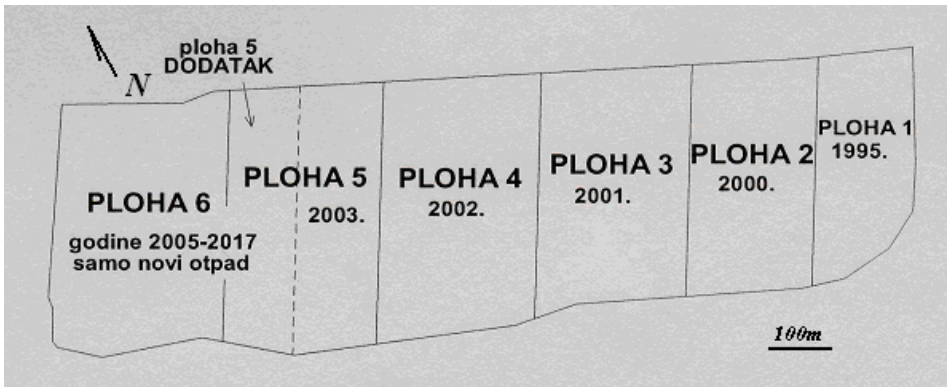
Premještanjem starog otpada na prethodno uređenu podlogu uz istovremeni prihvat novog otpada te provedbu završnog prekrivanja otpadom potpuno ispunjenih ploha, odloženi otpad je u potpunosti izoliran od okoliša pošto se nalazi u «oklopu» između donjih i gornjih brtvenih slojeva (Slika 3.40). Na kraju je izveden sustav otplinjavanja.



Slika 3.40: *Shematski prikaz profila saniranog odlagališta Jakuševec: 1. Otpad, 2. Donji brtveni sloj, 3. Pokrovni sloj, 4. Obodni nasip, 5. Bušotine za otplinjavanje, 6. Drenažni tepih (plošni dren), 7. Odvod vode iz plošnog drena (Ivšić, 2010.)*

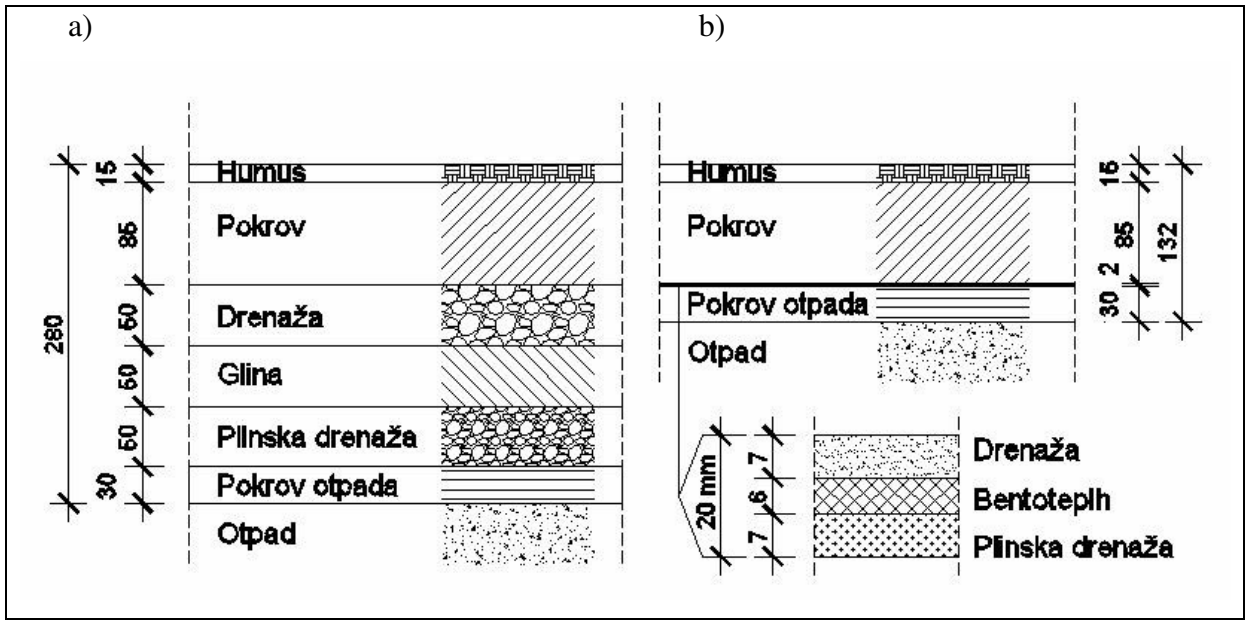
Zahvaljujući kreditu EBRD-a, kompletna sanacija odlagališta "Jakuševec" se intenzivno provodila od 2000. do 2003. godine, kada je i završena sukladno planu. U tom vremenskom razdoblju je na uređenu površinu od 32 ha prebačeno oko 6,9 milijuna m^3 starog otpada uz istodobni prihvat 1,15 milijuna m^3 (800.000 t) novog otpada. Odlagalište Jakuševec je bilo podijeljeno na plohe 1 do 6, površina od 6 do 9 ha. Do početka sanacijskih radova procjenjuje se da je odloženo ukupno oko 7.0 milijuna m^3 otpada. Sav stari otpad je premješten na plohe 1 - 5, s time da plohe 4 i 5 nisu bile do kraja zapunjene (Slika 3.52) (IGH, 2009.).

Sa starim otpadom se tijekom sanacije istovremeno odlagao i novi otpad koji je kontinuirano pristizao na odlagalište. Površina na kojoj će se nalaziti odložen otpad, nakon zatvaranja odlagališta tj. nakon iskorištenja svih kapaciteta je smanjena sa 80 ha na 57 ha (Ivšić 2009.). Nova površina od 57 ha uključuje i prostor za odlaganje otpada u budućnosti, predvidivo do 2017. godine. Od 2003. godine do danas vrši se prihvat novog otpada, koji se ugrađivao na plohe 4 i 5, a danas se ugrađuje na plohu 5D (dodatak plohe 5). Na plohi 6 se izvode radovi na izgradnji donjeg brtvenog sustava, dok će se prihvat otpada početi vršiti tek za par godina. Dinamika popunjavanja ploha ovisi o količini novog otpada koji pristiže na odlagalište. Nakon provedenih sanacijskih radova na odlagalištu je za prihvat otpada na plohe 5 i 6 preostao volumen od cca. 5.0 milijuna m^3. Ovaj prostor omogućava da se odlagalište koristiti još niz godina, koliko se sada može predvidjeti do cca. 2017. godine. Tlocrtni oblik odlagališta je približno pravokutan. Maksimalna duljina projektiranog odlagališta iznosi oko 1.365 m, dok je maksimalna širina 450 m (IGH, 2009.). Raspored radnih ploha na odlagalištu prikazan na slici 3.41.



Slika 3.41: *Skica rasporeda radnih ploha na odlagalištu otpada Jakuševec (TVZ, 2008., Ivšić, 2009., IGH, 2009.)*

Dodatna ušteda je ostvarena izvedbom sustava prekrivanja gdje je upotrijebljen geosintetski glineni tepih i drenažni kompozit, čime su zamijenjeni glina i šljunak, a debljina pokrovnog brtvenog sustava je smanjena sa 280 cm na 132 cm (Slika 3.42). Zbog manje debljine umjetnih materijala osiguran je dodatni volumen za oko 500.000 m^3 otpada, što odgovara količini otpada koja se odloži za 1,5 godinu (Ivšić, 2009.), odnosno, radni vijek odlagališta otpada "Jakuševec" je produljen za godinu i pol.



Slika 3.42: *Stari i novi sustavi brtvljenja završnog brtvenog sloja a) "stari" sustav – prirodni zemljani materijali za drenažne slojeve (šljunak) i nepropusni sloj (glina) b) Izvedeno- Umjetni materijali – geosintetici za drenažne slojeve i brtveni sloj ukupne debljine 2 cm (Ivšić, 2009.)*

Paket A-2 - Interventni crpni sustav Ovim dijelom projekta definiran je sustav kojeg čine 4 zdenca dubine 50 metara. U svakom zdencu je ugrađena crpka kapaciteta 100 l/s. Uloga ovog sustava je slijedeća: sprečavanje strujanja onečišćenih podzemnih voda u nizvodno područje koje, između ostaloga, čini zona budućeg vodocrpilišta Kosnica i sustavno smanjenje postojećeg onečišćenja podzemnih voda.

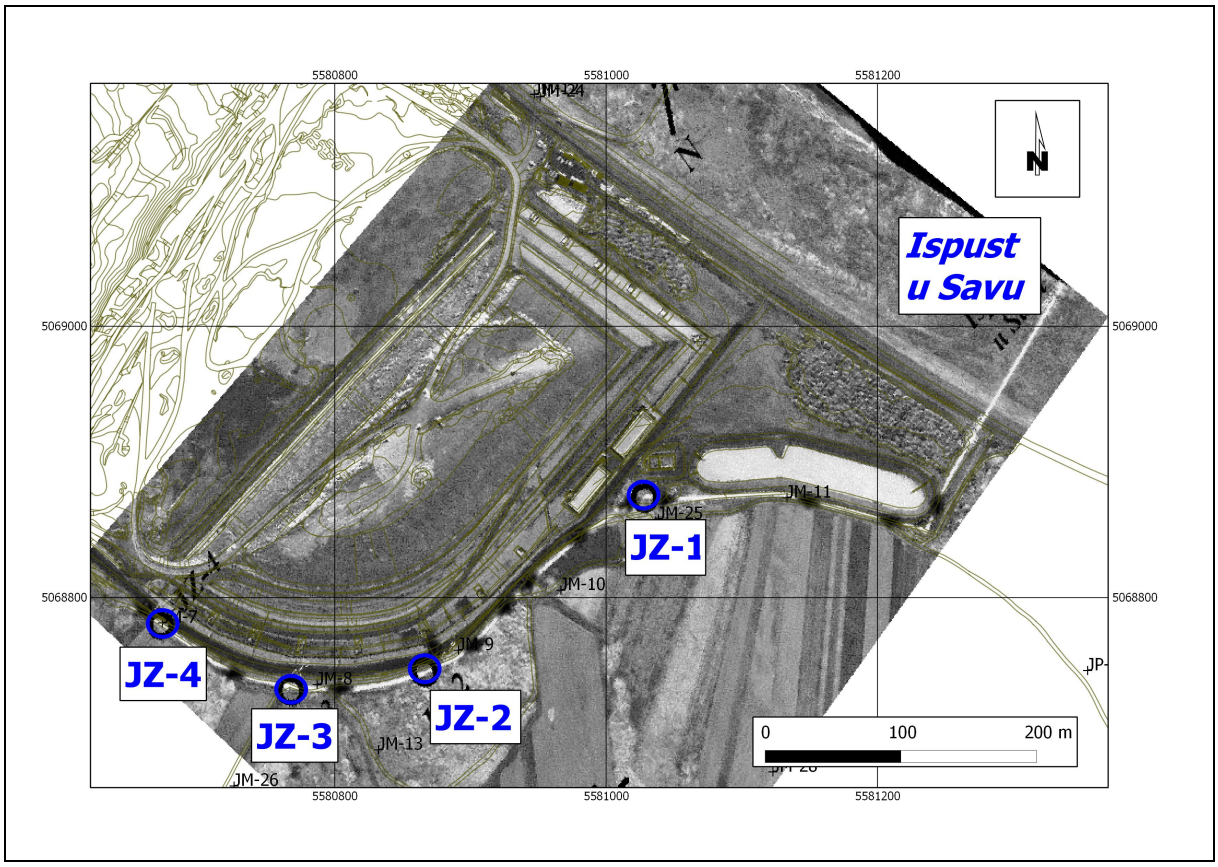
Glavni cilj sanacije odlagališta otpada Jakuševec je uklanjanje jakog onečišćenja podzemne vode koja struji od lokacije odlagališta prema lokaciji najvećeg budućeg crpilišta podzemne vode za vodoopskrbu grada Zagreba, Kosnica. Negativno djelovanje odlagališta na kvalitetu podzemne vode mora se, u toku sanacije odlagališta otpada Jakuševec, postupno smanjiti i konačno potpuno spriječiti.

U toku preslagivanja postojećeg otpada na uređeni dio odlagališta otpada sa vodonepropusnom podlogom, onečišćenje iz starog nepresloženog otpada i dalje se ispiralo i onečišćivalo podzemnu vodu. Međutim da tako onečišćena podzemna voda ne bi onečistila područje nizvodno od odlagališta otpada izgrađen je interventni crpni sustav. Interventnim crpnim sustavom je planirano da se voda koja protječe ispod čitavog odlagališta otpada crpi i otpušta u Savu (Bagarić, 2002.).

Na taj način je planirano zaustavljanje otjecanja onečišćenja iz odlagališta otpada u područje budućeg crpilišta podzemne vode Kosnica. Čišćenje podzemlja će biti dugotrajan proces radi velikog volumena šljunčanog materijala koji treba očistiti, dijela onečišćenja koja su odložena na šljunčani materijal iznad i ispod razine podzemne vode, velike širine spektra onečišćenja koja se čiste s različitom učinkovitošću, različitim maksimalnim dozvoljenim koncentracijama koje treba čišćenjem postići i različite brzine prirodnog procesa transformacije različitih onečišćenja u podzemlju.

Praćenje učinka interventnog crpnog sustava na poboljšanje kvalitete podzemne vode vrši se praćenjem kvalitete vode iscrpljene na zdencima ICS-a i praćenjem kvalitete vode u širem području odlagališta otpada. Tijekom više od deset godina rada ICS-a, iscrpljeno je preko 5 milijuna kubnih metara podzemne vode.

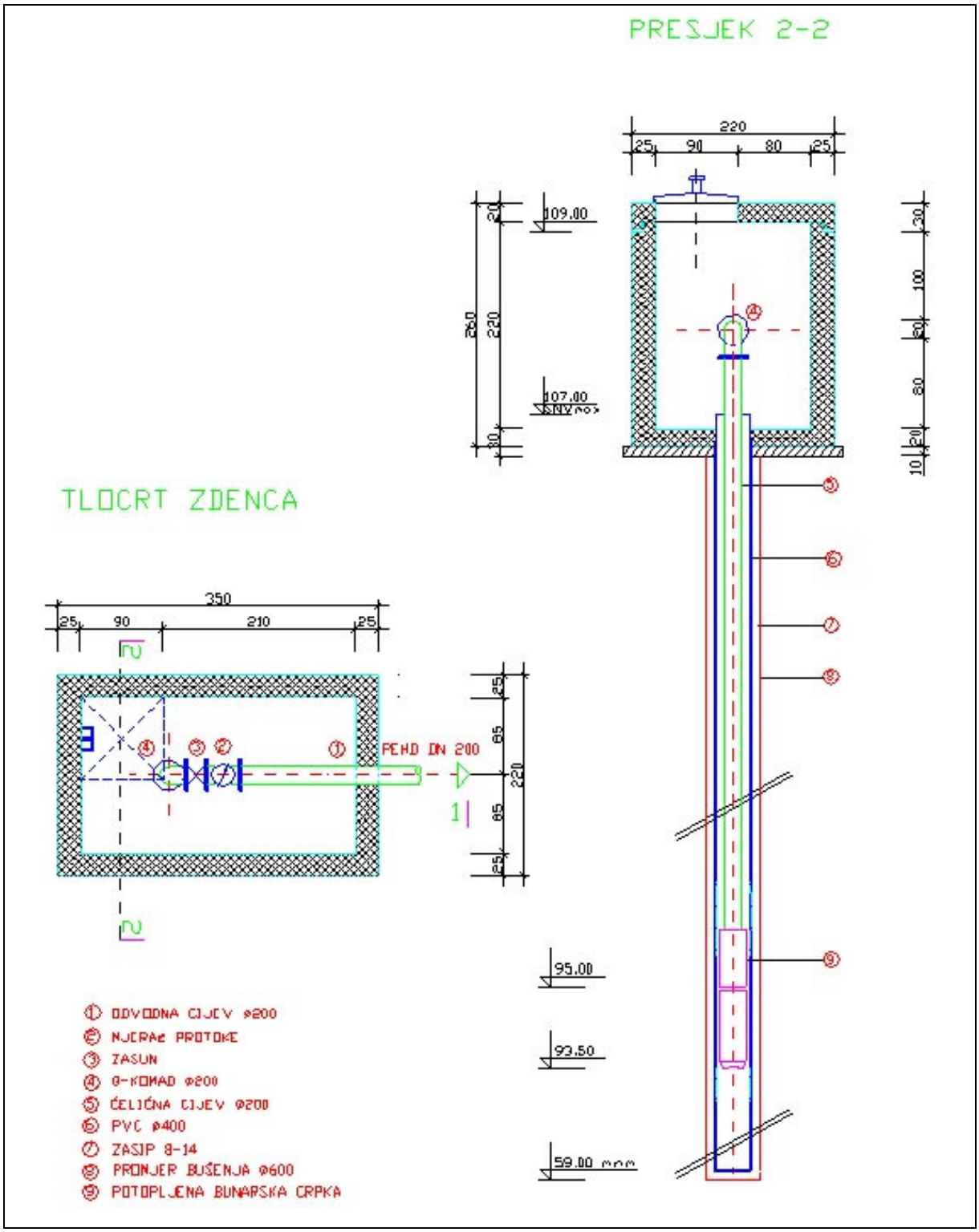
Položaj zdenaca interventnog crpnog sustava je izabran tako da se crpljenjem vode iz pojedinih zdenaca može kontrolirati dotok podzemne vode sa čitavog područja odlagališta otpada Jakuševec (Bagarić, 2002.). Prvi zdenac je odmaknut od Save da dotok vode u taj zdenac iz Save bude uglavnom iz središnjeg dijela odlagališta otpada da bi se tako maksimalno spriječilo strujanje onečišćenja ispod Save u smjeru crpilišta Petruševec u hidrološkim uvjetima malih voda rijeke Save i velike kolmiranosti dna rijeke Save (Slika 3.43).



Slika 3.43: *Položaj zdenaca interventnog crpnog sustava (JZ-1, JZ-2, JZ-3 i JZ-4) na jugoistočnom dijelu odlagališta otpada Jakuševec (Modificirano prema Bagarić, 2002.)*

Ostala tri zdenca imaju sličnu ulogu kao i prvi s tim da još osiguravaju da pri velikim vodama Save onečišćenje iz odlagališta otpada Jakuševec ne prođe kroz južni rub odlagališta otpada i onečisti podzemlje u pravcu prema crpilištu Velika Gorica.

Prema projektu, planirano je da interventni crpni sustav čine 4 zdenca dubine 50 metara (Slika 3.44), sa crpkama kapaciteta 100 l/s, međutim zbog uvjeta na terenu izvedba je izmijenjena. Crpke su postavljene na dvije dubine kako bi se izbjegao utjecaj lokalnih gubitaka energije za vertikalno strujanje u zdencu. Dvije crpke u zdencu JZ-1 i JZ-3 postavljene su na dubini 45 metara a crpke u zdencima JZ-2 i JZ-4 na 15 metara od kote terena. Ovo je posebno izvedeno kako bi se moglo bolje djelovati na dublje šljunčane slojeve ispod Save i onemogućiti eventualno otjecanje onečišćenja ispod Save u područje crpilišta Petruševec u hidrološki nepovoljnim uvjetima (Bagarić, 2002.).



Slika 3.44: *Shematski prikaz izvedbe zdenca Interventnog crpnog sustava*

Interventni crpni sustav je projektiran kao privremeni uređaj sa svrhom sprečavanja onečišćenje budućeg crpilišta Kosnica i crpilišta Petruševec (Bagarić, 2002.). Uređaj će raditi dok se smeće ne presloži i dok se postojeće onečišćenje koje se nalazi u šljunčanom materijalu ispod odlagališta otpada Jakuševec ne ispere prirodnim tokom podzemne vode.

To znači da će interventni crpni sustav raditi samo do momenta kada će koncentracije onečišćenja u podzemnoj vodi koja se crpi s interventnim crpnim sustavom postanu manje od maksimalnih dozvoljenih koncentracija onečišćenja za vodu za piće.

Da bi se mogla pratiti učinkovitost interventnog crpnog sustava, prati se kvaliteta podzemne vode koja se crpi iz pojedinih zdenaca i volumen vode iscrpljen iz pojedinih zdenaca. Parametri kvalitete vode koji se prate na sva četiri zdenca su temperatura, amonijak, željezo, mangan, i ukupna ulja. To su parametri koji su u toku pokusnih crpljenja bili viši od MDK za pitku vodu. Rezultati praćenja kakvoće iscrpljene vode iz zdenaca interventnog crpnog sustava su detaljno opisani u poglavlju 4.3.5 o monitoringu.

Paket A-3 – Uređaj za pročišćavanje procjednih voda Procjedne vode koje se sakupljaju ispod odloženog otpada dovode se do SBR uređaja za pročišćavanje koji je automatiziran, te stoga zahtijeva minimalno posredovanje operatora.

SBR uređaj (*Sequencing Batch Reactor*) je uređaj gdje se proces biološkog pročišćavanja i naknadnog taloženja odvija u istom bazenu (SBR-reaktor). SBR-reaktor se određeno vrijeme koristi kao bioaeracijski bazen, a nakon prestanka rada puhala kao sekundarna taložnica. Odgovarajući vremenski i funkcionalni slijed pročišćavanja naziva se SBR-ciklus (Krajačić, 2010.).

SBR uređaj na odlagalištu ima kapacitet obrade od 400 m^3/dan (Milanović, 2009.), obrađena voda se odvaja u retencijski bazen, odakle se ispušta u rijeku Savu. Razina pročišćavanja procjednih voda je do kvalitete za ispuštanje u kanalizacijski sustav.

Paket A-4 - Sustav otplinjavanja deponije s energetskim iskorištavanjem Odlaganjem biorazgradivog otpada u tijelu deponija počinju djelovati razni složeni biokemijski procesi, koji među ostalim stvaraju i deponijski plin. Pokazuje se da se stvarne promjene sastava deponijskog plina podudaraju s teoretski pretpostavljenim promjenama (Milanović, 1992.). Već nakon nekoliko mjeseci od odlaganja otpada na deponiju se može očekivati razvoj metanske faze koja će zatim trajati godinama. Zato najkasnije 6 mjeseci nakon početka odlaganja otpada treba početi kontrolirano sakupljanje i obrada deponijskog plina (Milanović, 1992.). Iskustva govore da na komunalnom deponiju i nakon 75 godina treba računati sa emisijama deponijskih plinova (Milanović, 1992.).

Najveća proizvodnja deponijskog plina se ostvaruje u prvih 20 godina. Nakon 10 godina proizvodnja plina je u stalnom porastu i doseže oko 70 % maksimalne snage. Nakon 30 godina, snaga je smanjena na 44 %, a nakon 40 godina na samo 16 % maksimalne snage (Milanović, 1992.). U deponiju bez prekrivnog brtvljenja prosječno je moguće obuhvatiti polovicu količina plina koji nastaje, a u deponiju s prekrivnim brtvljenjem postoji mogućnost obuhvata do 80 % količina (Milanović, 1992.).

Prvi sustav otplinjavanja je bio napravljen tijekom izrade radne plohe kako bi se smanjila koncentracija deponijskog plina prilikom radova sanacije (Orešković, Rak, 1996.).
Sustav je bio izveden tako da je izvedeno četrnaest plinskih sondi kvadratično raspoređenih u razmaku od 50 metara na radnoj plohi, spojenih plinovodom koji je odvodio plin na baklju gdje se spaljivao. Ovim radovima su smanjeni rizici od požara i eksplozija koji bi se mogli pojaviti tijekom izvođenja radova, a stalnim praćenjem i analizom deponijskih plinova prikupljeni su podaci potrebni za daljnje razvijanje sustava otplinjavanja sa ciljem energetskog iskorištavanja plina (Orešković, Rak, 1996.). Prikupljeni podaci o kvaliteti deponijskog plina na odlagalištu "Jakuševec" su u ono vrijeme predstavljali dragocjeno iskustvo pošto je navedeno postrojenje bilo prvo probno postrojenje za prikupljanje, mjerenje i spaljivanje deponijskog plina u Hrvatskoj i na neki način je bilo prvi korak ka rješavanju problema prikupljanja i korištenja deponijskog plina kod izgradnje novih i sanacije postojećih deponija (Orešković, Rak, 1996.).

Nakon dobivanja zajma od EBRD-a, započela je uspostava sustava otplinjavanja kojem je cilj energetsko iskorištavanje deponijskog plina. Ovaj sustav omogućava iskorištavanje energije sadržane u odlagališnom plinu njenim pretvaranjem u električnu energiju. Uz to, ovim sustavom kontroliranog gospodarenja odlagališnim plinom onemogućuje se i najmanja emisija plina u atmosferu kao i stvaranje neugodnih mirisa. Nadalje, opasnost od pojave eksplozija na odlagalištu se također onemogućuje.

Svrha postrojenja je spaljivanje i energetsko iskorištavanje odlagališnog plina kako bi se izbjegle štetne emisije sa uređenog odlagališta otpada. Ovim sustavom se nadzirano prikuplja i obrađuje odlagališni plin, čime se štiti ozonski sloj i smanjuje rizik od efekta staklenika, metan ima 24 puta jači stakleнički efekt od CO_2 (Gore, 2007.).

Sustav otplinjavanja je napravljen tako da se u navoze smeća koji se odlažu na pojedinim plohama sondiraju perforirane cijevi koje prihvaćaju plin koji se stvara raspadanjem smeća, te ga odvode u stanicu za prikupljanje bioplina. Prikupljeni bioplin se podzemnim plinovodom vodi do postrojenja za obradu bioplina.

Prema podacima objavljenim na službenim web stranicama ZGOS-a u 2011. godini, sustav otplinjavanja odlagališta otpada "Jakuševec" sastoji se od 68 plinskih bušotina i mreže plinovoda s kondenznim loncima i plinskog postrojenja (Slika 3.45).
Plinsko postrojenje se sastoji od dvije visokotemperaturne baklje s puhalima kapaciteta 1 500 m^3/h, dva plinska motora s generatorima kapaciteta 525 m^3/h motoru ukupne električne snage svakog generatora 1 MW.

Mjerenjem sastava deponijskog plina (Vulinović, et al. 2009., 2010.) je utvrđeno da razlika tlaka u cjevovodu kojim se dovodi plin sa deponije u odnosu na atmosferski iznosi svega -25 mbar (odnosno tlak u cjevovodu iznosi 0,975 bar). Podtlak sustava za aktivno otplinjavanje iznosi najčešće između 50 i 150 milibara čime se ustaljuje proces biorazgradnje otpada (Milanović, 1992.). Ukoliko bi se plin crpio sa većim podtlakom, postojala bi mogućnost prodora zraka u tijelo odlagališta, čime bi se mikrobiološki procesi vratili u aerobno područje.

Slika 3.45: *Plinsko postrojenje za obradu deponijskog plina na odlagalištu otpada "Jakuševec", preuzeto sa službenih web stranica ZGOS-a*

Prema podacima ZGOS-a, od prosinca 2004. godine do rujna 2010. godine na plinskom postrojenju proizvedeno je 29.341.000 kWh električne energije, a iz tijela odlagališta je iscrpljeno 29.956.293 m^3 deponijskog plina.

Paket A-5 – Predobrada otpada Ovaj dio projekta se odnosi na izgradnju postrojenja za obradu bio-razgradivog otpada (kompostana), te na izvedbu platoa za proces «ozemljavanja». U kompostani se obrađuju slijedeće vrste otpada: otpad s tržnica (voće, povrće), odvojeno sakupljen kućni bio-otpad, prerađivački i sav ostali zeleni otpad. Proces obrade je aeroban, a može se podijeliti u tri osnovne faze: homogeniziranje, prosijavanje i odvajanje željeznog materijala (Slika 3.46). Konačni proizvod je kompost, koji se koristiti u poljoprivredi i vrtlarstvu. Na platou gdje se vrši «ozemljavanje» također se obrađuje zeleni otpad, a nakon procesa «ozemljavanja» dobiva se kvalitetni humusni materijal. Konačni produkt biokompostiranja koristi se također i za ozemljavanje samog odlagališta otpada "Jakuševec". Prema podacima sa web stranice ZGOS-a za 2011., Postrojenje obrađuje 2.000 tona godišnje biorazgradivog otpada: ~ 726 tona / god kućnog bio-otpada, ~ 987 tona / god zelenog otpada, ~ 103 tona / god otpada s tržnica koji se uglavnom sastoji od voća i povrća i ~ 185 tona / god prerađivačkog bio-otpada. Krajnji proizvodi biokompostiranja su gotovi kompost – visokovrijedno gnojivo u poljoprivredi, vrtlarstvu i sadnji nasada, prosijani talog – koristi za ponovno kultiviranje zemljišta i izdvojeni metalni otpad koji se reciklira ili zbrinjava na odgovarajući način (ZGOS, 2011.).

Ozemljavanje je projekt čiji je cilj proizvodnja tla iz odvojeno prikupljenog otpada (grana, kore, lišća, piljevine, te papira, biomuljeva i drugih kompatibilnih materijala) aerobnim se procesom proizvodi kompost. Isti se zatim prema recepturi umješava sa zemljom u mjeri koja jamči generiranje tla prirodne kakvoće. Dobiveni materijal koristi se za prekrivanje i ozelenjavanje tj. kultiviranje zemljišta. Postrojenje ima godišnji kapacitet do 30 000 tona / godišnje.

Slika 3.46: *Postrojenje za obradu komposta, preuzeto od ZGOS*

Paket A-6 - Postrojenje za reciklažu građevinskog otpada

Na odlagalištu otpada Prudinec u Jakuševcu izgrađeno je postrojenje za reciklažu građevinskog otpada (Slika 3.47) kojim se šuta, betonski lom te ostali otpad s gradilišta prerađuje u reciklirani materijal. Korištenjem recikliranog materijala (npr. za prekrivanje otpada te izgradnju pristupnih puteva na deponij) sprječava se uništavanje prirodnih resursa (ZGOS, web stranica, 2011.). Pod građevinskim otpadom koji se može reciklirati u postrojenju spadaju sljedeći materijali: opeka, beton, armirani beton, asfalt, kamen i tome slični građevinski otpad.

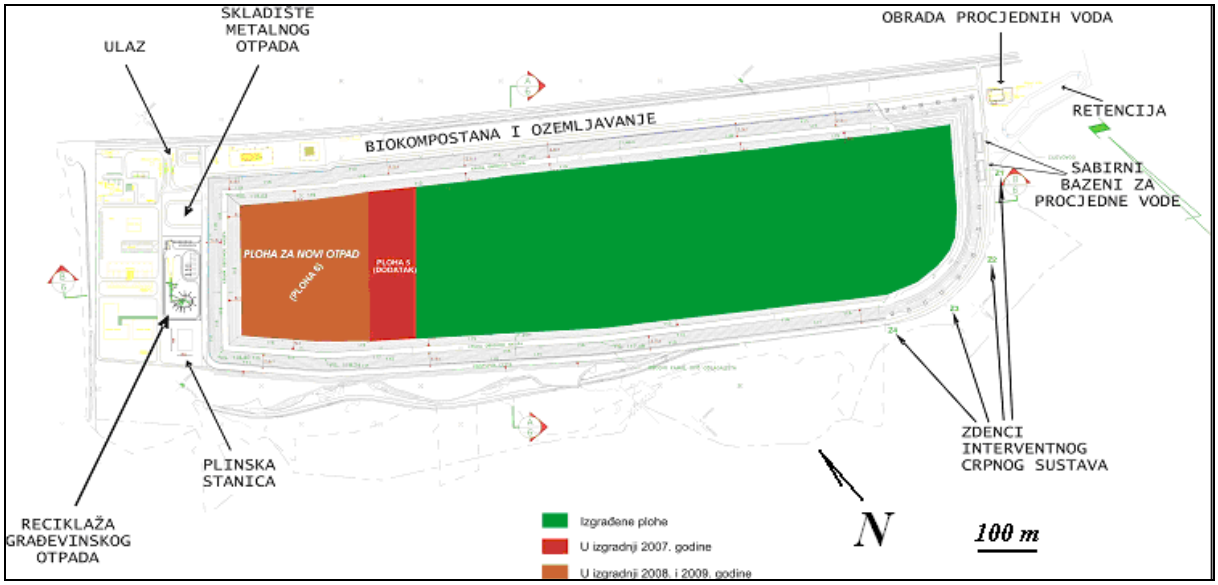
Postrojenje za reciklažu građevinskog otpada većim dijelom je automatizirano, a sadrži svu potrebnu opremu za cjelovitu obradu tog otpada i to od prihvata građevinskog otpada pa do izdvajanja i skladištenja dobivenih frakcija agregata. U ovom postrojenju se može obraditi lomljeni beton, kameni materijali, opeka, keramičke pločice i ostale vrste keramike, zemljani materijali itd.

Slika 3.47: *Postrojenje za reciklažu građevinskog otpada*

Postrojenje se sastoji od prilazne rampe, usipnog koša, primarne čeljusne drobilice, dijela za ručni odabir, sekundarne udarne drobilice, odvajanja lakih čestica te komplet sita za separaciju frakcija 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm i 16-32 mm i povratnim trakama za vraćanje zrna većih od 32 m, jasno uz mogućnost grupiranja pojedinih frakcija u jedan izlaz. Tijekom radnog procesa zasebno se odvajaju lake frakcije (plastika, papir itd.), drvo, metali itd. U sklopu postrojenja je i bager s košarom i hidrauličkim čekićem, utovarivač te kamion-damper. Primarna čeljusna drobilica može prihvatiti pojedinačne komade čije dvije najveće dimenzije ne prelaze 80x100 cm. Veći komadi građevinskog otpada se trebaju usitniti pomoću hidrauličkog čekića montiranog na bageru. Reciklirani materijal na izlaznom dijelu postrojenja je sljedećih frakcija: 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm i 16-32 mm. Efektivni kapacitet postrojenja je 50 tona/sat (ZGOS, web stranica, 2011.).

Paket A-7 – Monitoring Monitoring podrazumijeva praćenje utjecaja odlagališta na okoliš. Njegov konačni cilj je zaštita zdravlja ljudi na deponiju i u njegovoj blizini, te zaštita prirode. Ovaj paket je predvidio monitoring sljedećih sastavnica okoliša: podzemne vode uzorkovane iz piezometara i zdenaca interventnog crpnog sustava, procjednih voda prije i nakon pročišćavanja, kvalitete zraka i prikupljanje meteoroloških podataka. Povijest i podaci monitoringa su obrađeni u prethodnim poglavljima (zrak i meteorologija), a monitorng voda je obrađen u drugom dijelu disertacije.

Paket A-1(8) - Ostale građevine Ovim dijelom projekta obuhvaćene su ostale popratne građevine koje se grade na odlagalištu, a to su: uprava odlagališta i plato za međuodlaganje metalnog otpada reciklažno dvorište – prostor za prihvat različitih vrsta otpada kojeg doprema građanstvo. Na slici 3.48 je prikazana završna situacija odlagališta "Jakuševec" sa svim sadržajima opisanim u ovom poglavlju.



Slika 3.48: *Odlagalište otpada "Jakuševec" nakon sanacije sa svim popratnim sadržajima (Milanović, 2009.)*

4. PODACI I METODE

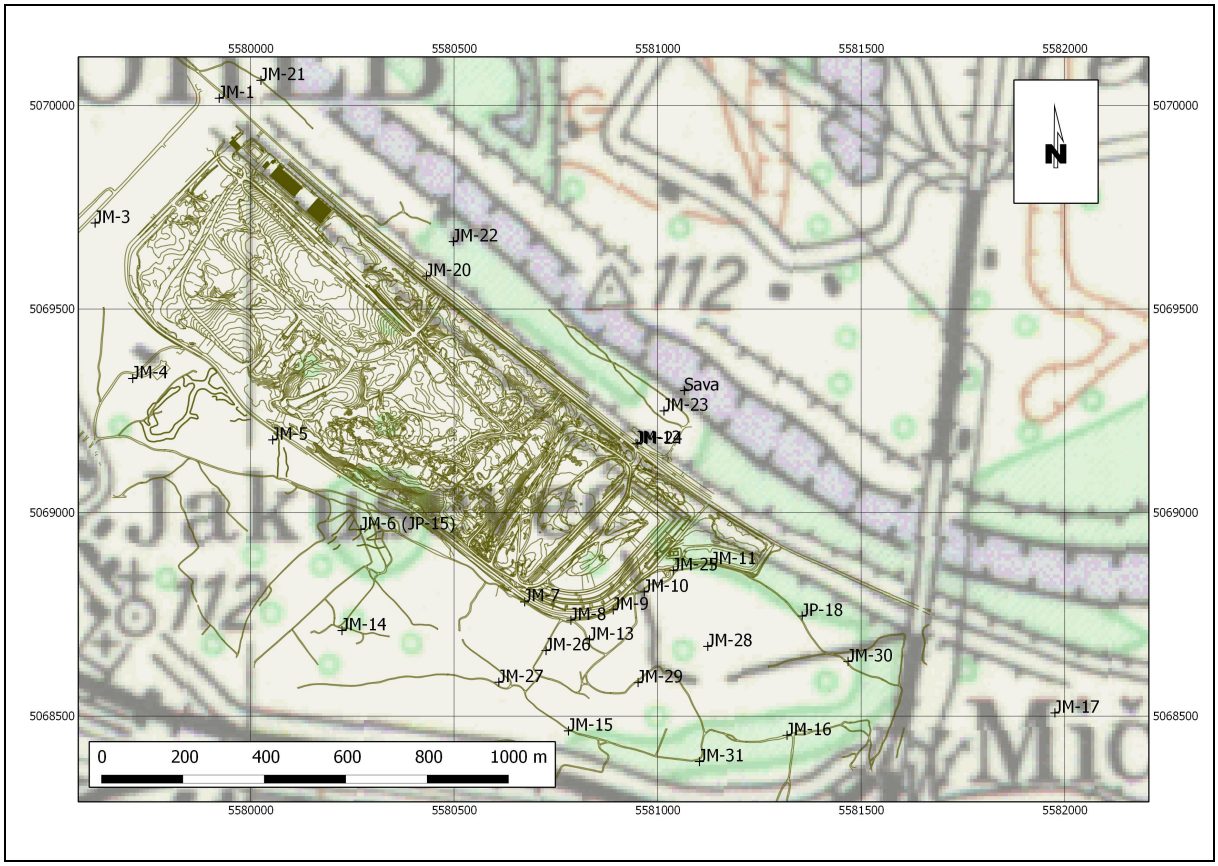
Metode rada primijenjene u disertaciji obuhvaćaju neke od uobičajenih postupaka koji se koriste pri uzorkovanju podzemnih i površinskih voda. Tijekom razdoblja istraživanja, četiri puta godišnje je uzorkovana podzemna voda iz piezometara kako bi se pokrila razdoblja visokih i niskih voda. Način uzorkovanja podzemne vode je bio u skladu s Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne Novine 47/2008). Sva uzorkovanja, su bila izvedena u kontinuitetu unutar vremenske cjeline od dvadeset i četiri sata i prema pravilima struke transportirana u laboratorij. Na uzorcima vode su in situ izmjereni osnovni fizikalno kemijski parametri: temperatura vode (°C), specifična elektroprovodljivost (μS/cm), pH, otopljeni kisik (mg/l). Kemijski pokazatelji su u laboratoriju određeni metodom ionske kromatografije i spektrometrije. Paralelno sa uzorkovanjem mjerena je razina podzemne vode, kako bi se potvrdilo hidrološko razdoblje. Promjene pojedinih parametara su utvrđivane usporedbom piezometara koji se nalaze nizvodno od odlagališta, sa referentnim piezometrima koji se nalaze uzvodno od odlagališta i izvan njegovog utjecaja.

4.1. Podaci o razinama podzemne vode

Za obradu podataka o razinama podzemne vode na širem području oko odlagališta Jakuševec korišteni su podaci iz baze Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), za razine vodostaja rijeke Save korišteni su također podaci iz baze DHMZ-a, dok su podaci o vodostajima za lokacije stepenica na Savi kod termoelektrane toplane (TE-TO) korišteni podaci Instituta za elektroprivredu, Hrvatske elektroprivrede (HEP) i tvrtke Hidroing, d.o.o. Podaci su dani u ascii formatu odakle su prebačeni u Exscel format radi lakše obrade (Posavec, 2006.), dok je za njihovu interpolaciju odnosno izradu karata hidroizohipsi korišten program Surfer 9.

Analiza je podijeljena u dva glavna dijela a to su razdoblje prije izgradnje vodnih stepenica TE-TO na Savi od 1965. do 1995. i nakon izgradnje vodnih stepenica TE-TO na Savi. Prije izgradnje vodnih stepenica TE-TO, razine podzemne vode su od 1950. g. na području zagrebačkog vodonosnika opadale sve do kraja osamdesetih godina u prosjeku 1-2 m svakih 10 godina, što je bio trend i u razdoblju od 1965. do 1993.

Obrada razina podzemnih voda i smjerova toka napravljena na području Zagrebačkog vodonosnika ima regionalni karakter. Iz tog razloga izdvojeno je i praćenje razine podzemnih voda na mikrolokaciji odlagališta, jer se radi o mjerenju lokalnog karaktera. Na užoj lokaciji odlagališta otpada Jakuševec prate se razine podzemne vode od 2001. godine (Slika 4.1.).



Slika 4.1: *Lokacije piezometara na mikrolokaciji odlagališta otpada Jakuševec na kojima su mjerene razine podzemne vode*

U razdoblju od 2001. do 2005. godine razine podzemne vode su se pratile ručno na 31 piezometru, a među njima, na njih 10 i automatski (limnigrafima). Uz navedeno je praćena i razina rijeke Save uz jugoistočni rub odlagališta također limnigrafom. Za automatska mjerenja su korišteni limnigrafi tipa MDS Floater 2 i MDS Insider 3, dok je za praćenje nivoa rijeke Save korišten pneumatski tlačni limnigraf tipa PS-LCD svi instrumenti su od proizvođača SEBA Hydrometrie GmbH. Ručna mjerenja razine podzemne vode su rađena jedanput mjesečno na svim piezometrima.

Osim redovitih mjesečnih mjerenja, mjerenja su se provodila za vrijeme uzorkovanja podzemne vode i svakih nekoliko dana prilikom obilaska limnigrafa, kada su sa njih bili očitavani podaci i kalibrirani. Podaci ručnih mjerenja razine podzemne vode su bili upisivani u MS Excel tablice, podaci sa limnigrafa su bili očitavani softverom Wbedien i također su bili prebacivani u Excel format, kako bi se mogli lakše obrađivati. Nakon 2005., pa do kraja 2011., razine podzemne vode su bile praćene na samo 10 piezometara.

4.2. Podaci o kemijskim analizama procjednih voda

Zbog infiltracije padalina i otpuštanja primarne vlage iz otpadaka, u odloženim otpacima nakuplja se voda koja postepeno otapa topive komponente, pa tako nastaje iscjedak ili filtrat (starija literatura), odnosno procjedne vode (novija literatura). To je otopina vrlo složenog kemijskog sastava, koja može biti vrlo toksična (Zanoni, 1972, Mayer, 1993.). Procjedna voda predstavlja zagađenu tekućinu, koja se procijedila kroz slojeve odloženog otpada i pri tome je primila u sebe velike količine otopljenih i suspendiranih tvari te produkte biokemijskih reakcija (Milanović, 1992.). Procjedne vode predstavljaju jednu od najvećih prijetnji ljudskom zdravlju i okolišu. One izravno ugrožavaju površinske i podzemne vode na području i u okolici deponija.

Onečišćenje procjednih voda ovisno je o sastavu i stanju odloženog otpada. Kod deponije komunalnog otpada, onečišćenje procjednih voda može biti 5 do 10 puta veće od prosječnog onečišćenja otpadnih voda iz domaćinstva (Jahić, 1980). S obzirom na podrijetlo otpad se može podijeliti u četiri velike skupine. To su tzv. komunalni otpad, industrijski otpad, bolnički otpad i poljoprivredni otpad.

Pod komunalnim otpadom podrazumijeva se otpad nastao u domaćinstvima i smeće prikupljeno čišćenjem gradskih ulica i drugih javnih površina.

Industrijski otpad sastoji se od ostataka različitih sirovina, ambalaže, organskih i anorganskih otapala, muljeva iz bazena za galvanizaciju, taloga iz rezervoara različitih kemikalija koje se koriste u industrijskoj proizvodnji, ostataka goriva i maziva - pretežno nafte i naftnih derivata, te produkata sagorijevanja - šljake i pepela. U industrijski otpad se po podrijetlu može svrstati i radioaktivni otpad, no on se, zbog svojih karakteristika obično izdvaja, pa sa još nekim tvarima čini podskupinu opasnog otpada.

Bolnički otpad čine ostaci lijekova i lijekovi kojima je prošao rok uporabe, različita ambalaža i upotrijebljeni sanitetski materijal i oprema. I među bolničkim otpadom ima radioaktivnih i drugih tvari koje spadaju u podskupinu opasnog otpada.

Poljoprivredni otpad predstavljaju životinjski i biljni ostaci, te ostaci različitih agrotehničkih kemijskih sredstava i ambalaža u kojoj su se ona nalazila prije uporabe (Mayer 1993.). Na mobilnost štetnih tvari, to jest na njihovo procjeđivanje iz tijela deponija utječu fizikalni, biološki i kemijski čimbenici. Osnovni fizikalni čimbenici su: vodopropusnost, gustoća odloženog otpada, specifična vanjska površina.

Fizikalni čimbenici određuju brzinu transporta, vrijeme kontakta, površinu kontakta i odnos između otopine i krute tvari. Najvažniji kemijski čimbenici su: ukupne koncentracije, svojstva pojedinih štetnih tvari (npr. topivost u vodi), pH (Milanović, 1992.). Biološki čimbenici prvenstveno djeluju u deponiju s otpadom koji sadrži biorazgradive tvari, npr. komunalni otpad. Utjecaj bioloških čimbenika se veoma teško prognozira i kontrolira. Kod deponija obrađenog (mineraliziranog, odnosno neutraliziranog) otpada biološki čimbenici nemaju gotovo nikakav utjecaj. S obzirom na moguće utjecaje na kvalitetu podzemnih voda posebno je značajan kemijski sastav otpada. Prema rezultatima analiza koje je 1985. godine napravio Institut za agroekologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Mayer, Markovac, 1992.), u zagrebačkom komunalnom otpadu od kationa najzastupljeniji je kalcij, a slijede magnezij, kalij, natrij, željezo i ugljik. Od aniona prevladavaju silikati, karbonati, kloridi, sulfati i fosfati. Zbog sve veće primjene proizvoda koji sadrže i druge elemente, kao što su npr. baterije i elektronički otpad (televizori, računala, telefoni i sl.) te zbog toga što se među komunalnim otpadom uvijek "ilegalno" nađe i nešto industrijskog otpada iz manjih pogona ili obrtničkih radionica, komunalni otpad sadrži i mikroelemente, među kojima su posebno važni teški metali (Mayer 1993.). Odloženi otpaci ne ostaju trajno u prvobitnom stanju, već tijekom vremena, zbog utjecaja atmosferilija i mikroorganizama prolaze proces transformacije. Taj proces ima dva stadija. U prvom stadiju se organski spojevi iz otpadaka pretvaraju u humusnu tvar, a u drugom stadiju humusna tvar prelazi u anorganske spojeve - mineralnu tvar (Mayer 1993.). Pri transformaciji otpada važnu ulogu ima fermentacija. U površinskom dijelu otpada odvija se aerobna fermentacija pri kojoj se razvija toplina, zbog čega u odlagalištu tempreratura doseže 70 do 90°C. U dubljim dijelovima odlagališta, gdje nema cirkulacije zraka, dolazi do anaerobne fermentacije, a temperatura se kreće oko 40°C.

Procesima fermentacije približno 60% otpada prelazi u kompost - tvar bogatu ugljikom, dušikom, kalijem i magnezijem, ali često i mikroelementima, odnosno teškim metalima (Mayer 1993.). Procjedne vode mogu biti onečišćene organskim tvarima i zasićene u većoj ili manjoj mjeri anorganskim spojevima. U procjednim vodama nalazimo nedopuštene koncentracije koliformnih i patogenih bakterija. Konkretno je utvrđeno da procjedne vode sadrže bakterije koje uzrokuju tifus, paratifus, crni prišt, tetanus, tuberkulozu i dizenteriju (Jahić, 1980.). Prosječni sastav procjednih voda iz odlagališta otpada prema Bouwer, 1978, preuzeto iz Mayer 1993., prikazan je u tablici 4.1.

Tablica 4.1: *Prosječni kemijski sastav procjednih voda iz odlagališta komunalnog otpada (prema Bouwer, 1978, preuzeto iz Mayer, 1993.)*

Sastojak	**Uobičajena koncentracija (mg/l)**	**Najviša registrirana koncentracija (mg/l)**
Kalcij	240 - 2330	4080
Magnezij	64 - 410	15600
Natrij	85 - 3800	7700
Kalij	28 - 1700	3720
Željezo	0,1 - 1700	5500
Mangan	-	1400
Cink	0,3 - 135	1000
Nikal	0,01 - 0,8	0,8
Bakar	0,1 - 9,0	9
Olovo	-	5
Kloridi	47 - 2400	2800
Sulfati	20 - 730	1826
Ortofosfati	0,3 - 130	472
Ukupni dušik	2,6 - 945	1416
BPK	21700 - 30300	54610
KPK	100 - 51000	89520
Tvrdoća ($CaCO_3$)	200 - 7600	22800
Alkalnost	730 - 9500	20850

Ako se uz komunalni otpad odlaže i nešto industrijskog otpada, što je u našim prilikama čest slučaj, procjedne vode iz odlagališta otpadaka može sadržavati i arsena, cijanida, poliklornih bifenila i cijeli niz drugih vrlo toksičnih sastojaka. Zbog svega toga odlagališta komunalnog otpada predstavljaju jedan od najznačajnijih izvora onečišćenja podzemnih voda.

Prema Milanović (1992.), ovisno o izvedbi deponija i stanja, to jest vrste odloženog otpada, procjedne vode mogu na određenom deponiju imati veće koncentracije štetnih tvari. Konkretno pH vrijednost eluata može se kretati između 5,3 i 9,1. Sadržaj klora može doseći i 55000 mg/l. Kemijska potrošnja kisika (KPK) može doseći vrijednost 35000 mg/l, biološka potrošnja kisika kroz pet dana (BPK_5) 23000 mg/l, a koncentracija amonijaka može doseći i 15000 mg/l (Milanović, 1992.).

Kemijski sastav procjednih voda iz odlagališta otpada Jakuševec (Tablica 4.2.), se uglavnom poklapa sa vrijednostima kemijskog sastava procjednih voda iz odlagališta komunalnog otpada (prema Bouwer, 1978).

Međutim, u odnosu na njega, maksimalne zabilježene koncentracije željeza, mangana, nikla i olova su značajno veće, također je veća i maksimalna zabilježena koncentracija sulfata. Obzirom na pH vrijednost, procjedne vode su bile u neutralnom do blago bazičnom području. Koncentracije amonijaka su u prosjeku iznosile oko 400 miligrama po litri, a maksimalna zabilježena koncentracija je bila 2538 mg/l. Obzirom na maksimalne vrijednosti BPK_5, KPK i amonij iona one su još uvijek bile puno manje od maksimalno mogućih vrijednosti danih u Milanović, 1992. i Bouwer, 1978.

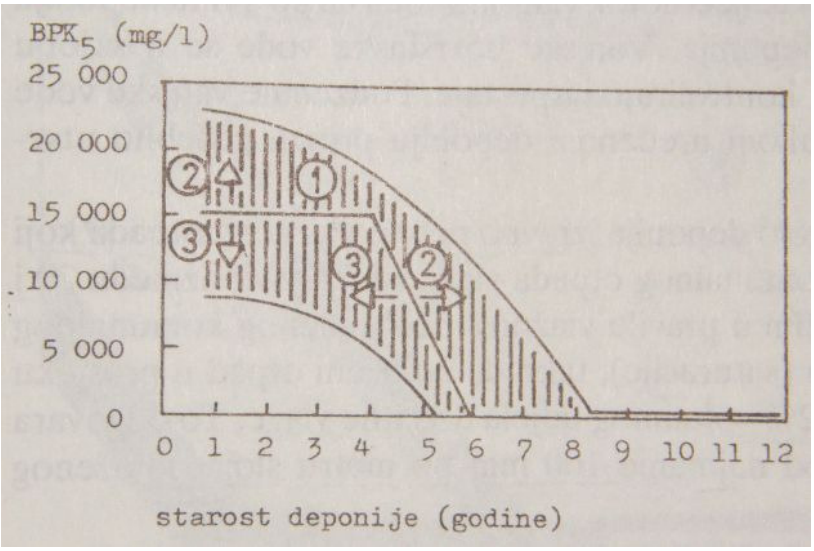
Zaključno, može se reći da su procjedne vode odlagališta Jakuševec prosječno opterećene organskom tvari, ali u pojedinim slučajevima registrirana su značajnija opterećenja metalima. Od preostalih parametara registriranih u procjednim vodama odlagališta Jakuševec je vidljivo značajno bakteriološko opterećenje, opterećenje ukupnim i mineralnim uljima te opterećenje kromom živom i arsenom.

Odležavanjem otpada u deponiju odvijaju se razni biokemijski procesi koji uzrokuju promjene u sastavu procjednih voda. Koncentracije metala i njihovih spojeva značajno se smanjuju. Starenjem deponija naglo se smanjuje kemijska i biološka potrošnja kisika, ali može porasti koncentracija amonijaka.

Tablica 4.2: *Prosječni kemijski sastav procjednih voda iz odlagališta otpada Jakuševec*

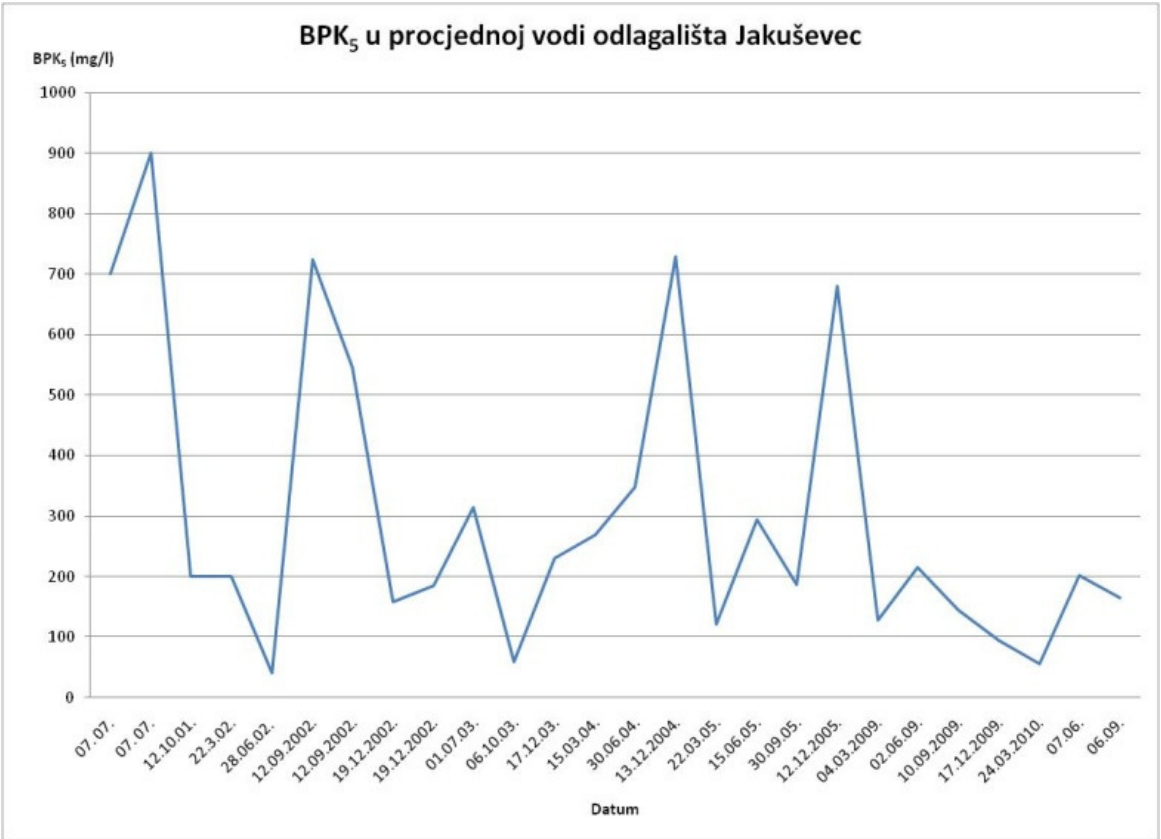
Sastojak	Srednja koncentracija (mg/l)	Minimalna registrirana koncentracija (mg/l)	Najviša registrirana koncentracija (mg/l)
pH vrijednost	7,71	7,34	7,9
Električna vodljivost	9870	832	14530
Otopljeni kisik	1,24	0	4,83
Kalcij	424,63	19,5	4081
Magnezij	175,68	14,08	1314
Natrij	981,55	285	1269,6
Kalij	584,66	358	1232,83
Željezo	90,875	11,7	17840
Mangan	10,07	4,13	3748,5
Cink	0,245	0,041	434
Nikal	0,214	0,02	237,9
Bakar	0,644	0	4,69
Olovo	0,836	0	24
Kloridi	1256, 7	20,26	1882
Sulfati	374,6	0,07	2485
BPK5	244,56	40	900
KPK	1305,75	286,7	2569
Nitriti	123,28	0	674,71
Nitrati	39,35	0	183
Amonij	452,6	43	2538
Tvrdoća ($CaCO_3$)	1647,1	54,7	12331,7
Fosfati	12,47	0,01	250
Cijanidi	36,42	0	473,1
Sulfidi	409,4	0	1974
Fluoridi	0,28	0	970
Silicij	215,05	0,13	748
Ukupni fosfor	5,02	0,62	20,85
Krom ukupni	0,28	0,02	1,87
Krom +6	0,028	0	0,16
Živa	1,211	0	10,9
Arsen	1,68	0,0001	25
Anionski detergenti	0,32	0	0,52
Kationski detergenti	0,14	0	1,7
Fenoli	0,027	0,0001	0,4
Ukupna ulja i masnoće	5,37	0,022	4515,5
Mineralna ulja	0,956	0,062	435,6
Broj bakterija u 1ml (22 C)	197900,2	0,23	720000
Ukupni broj koliformnih bakt.u 100ml	2524438	850	9950000
Fekalni koliformi u 100ml	24929	316	150000
Fekalni streptokoki	2036,25	0	7800
broj bakterija u 1 ml (37 C)	622805	177	1770000
Redoks potencijal (Eh)	247545,8	58	990000
BTEX	11,295	0,05	126
Ukupni organski ugljik (TOC)	343,5556	2	1146
PCB	423,15	292,5	952,5
Otopljeni organski ugljik (DOC)	238,2278	2,53	908,5

Na slikama 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 i 4.7 je dana usporedba promjena KPK, BPK_5 i koncentracije amonijaka u procjednim vodama, prema literaturi i mjerenjima na terenu u ovisnosti od starosti deponija. Na slici 4.2 je prikazana koncentracija biološke potrošnje kisika tijekom rada odlagališta. Biološka potrošnja kisika (BPK_5) nakon prve godine počinje naglo padati, tako da već nakon 5 do 8 godina vrijednost BPK_5 pada gotovo na nulu (Milanović, 1992.). Linija označena brojem 1 predstavlja moguću promjenu BPK_5 kod slojeva otpada debljine 2 metra i odlaganjem 2 do 4 metra otpada na godinu. Brojem 2 označene su tendencije sporije biološke razgradnje, što se postiže kada se na površinu deponija dovoze veće količine otpada. Brojem 3 su označene tendencije brže biološke razgradnje, što se postiže odlaganjem manje količine otpada i recirkulacijom procjednih voda kroz tijelo odlagališta (Milanović, 1992.).



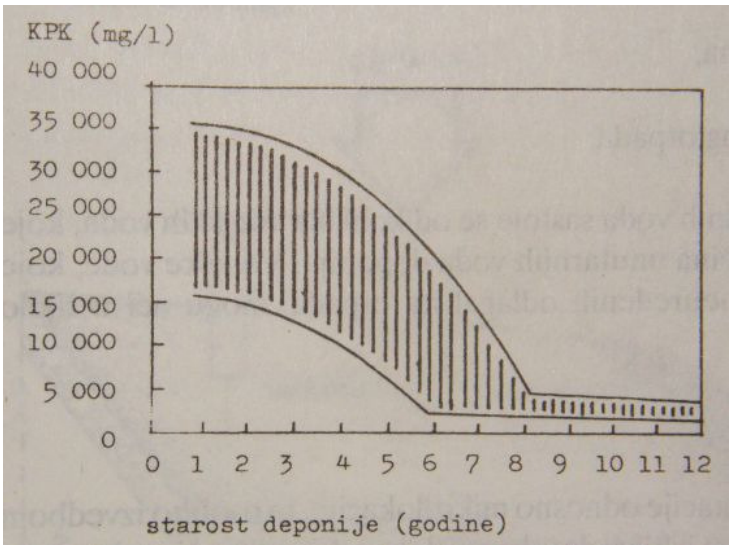
Slika 4.2: *Promjene BPK_5 u procjednim vodama ovisno o starosti deponija, 1 – razgradnja otpada na dubini 2 m, uz odlaganje 2 do 4 m otpada godišnje; 2 – sporija razgradnja (odlaganje veće količine otpada) 3 – brža razgradnja (prema Bilitewski, et. al., 1991., preuzeto iz Milanović, 1992.)*

Maksimalna izmjerena koncentracija BPK_5 u procjednim vodama odlagališta Jakuševec je bila ispod 900 mg/l (Slika 4.3). Tijekom cijelog razdoblja praćenja, zabilježene vrijednosti su značajno varirale, ali je uočljiv lagani trend pada. U odnosu na vrijednosti koje su preuzete od Bilitewski, et. al., 1991. i od Milanović, 1992., vidljivo je da vrijednosti BPK_5 odgovaraju vrijednostima za deponije starije od 9 godina.



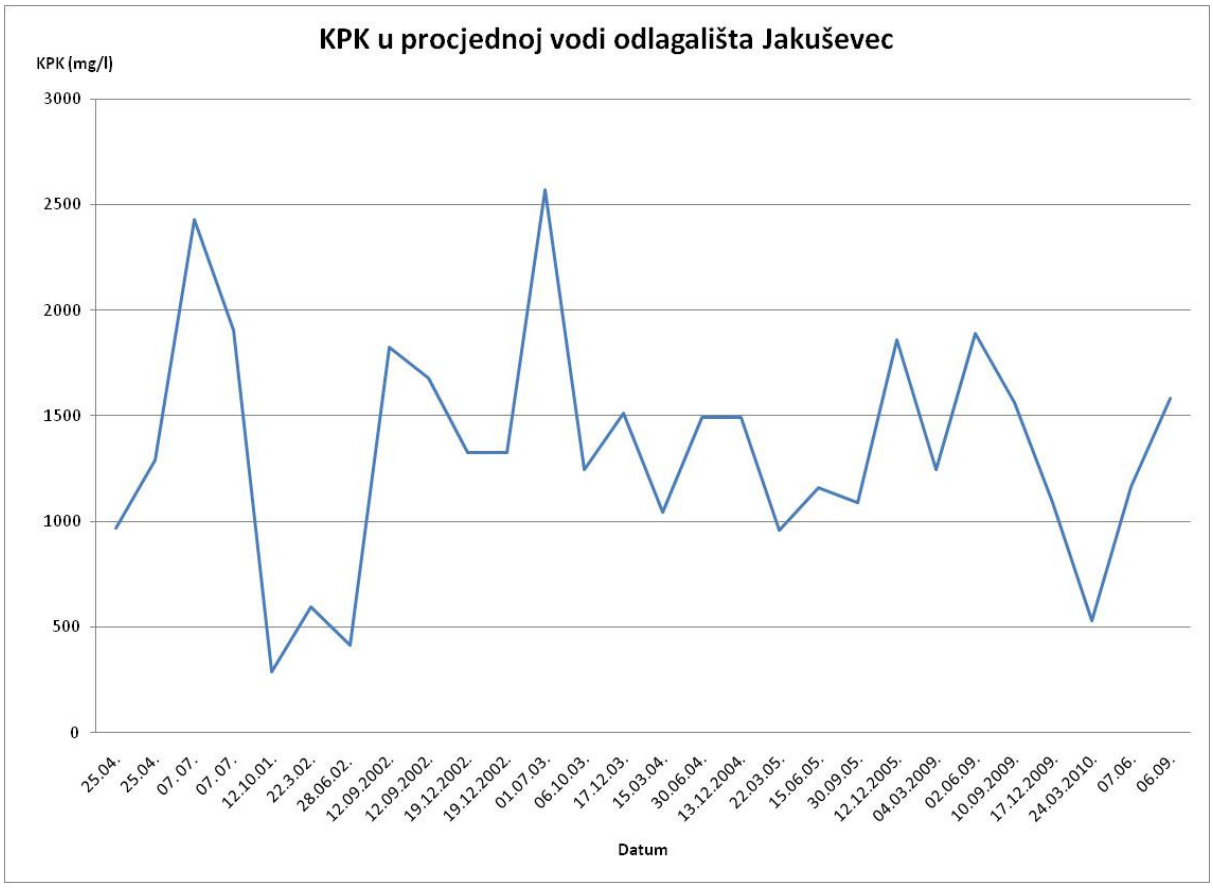
Slika 4.3: *Promjene BPK_5 u procjednim vodama na lokaciji odlagališta Jakuševec od 2001. Do 2010. godine*

Starenjem deponija smanjuje se i kemijska potrošnja kisika (KPK), tako da nakon 5 do 8 godina vrijednost KPK pada ispod 5000 mg/l (Slika 4.4).



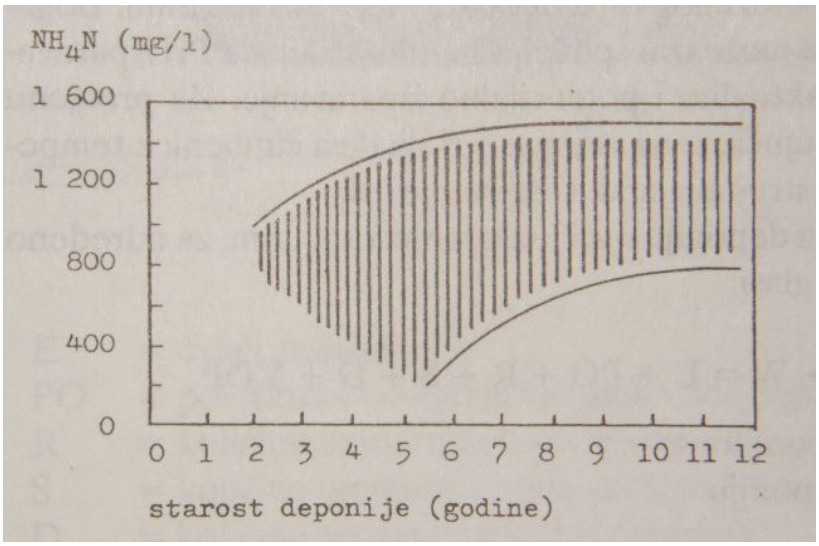
Slika 4.4: *Promjene KPK u procjednim vodama ovisno o starosti deponija (prema Bilitewski, et. al., 1991., preuzeto iz Milanović, 1992.)*

Maksimalne izmjerene koncentracije KPK u procjednim vodama odlagališta Jakuševec su iznosile oko 2500 mg/l (Slika 4.5). Tijekom cijelog razdoblja praćenja, zabilježene vrijednosti su značajno varirale, ali uglavnom su bile u granicama između 1000 i 2000 mg/l. U odnosu na vrijednosti koje su preuzete od Bilitewski, et. al., 1991. i od Milanović, 1992., vrijednosti KPK odgovaraju vrijednostima za deponije starije od 8 godina.



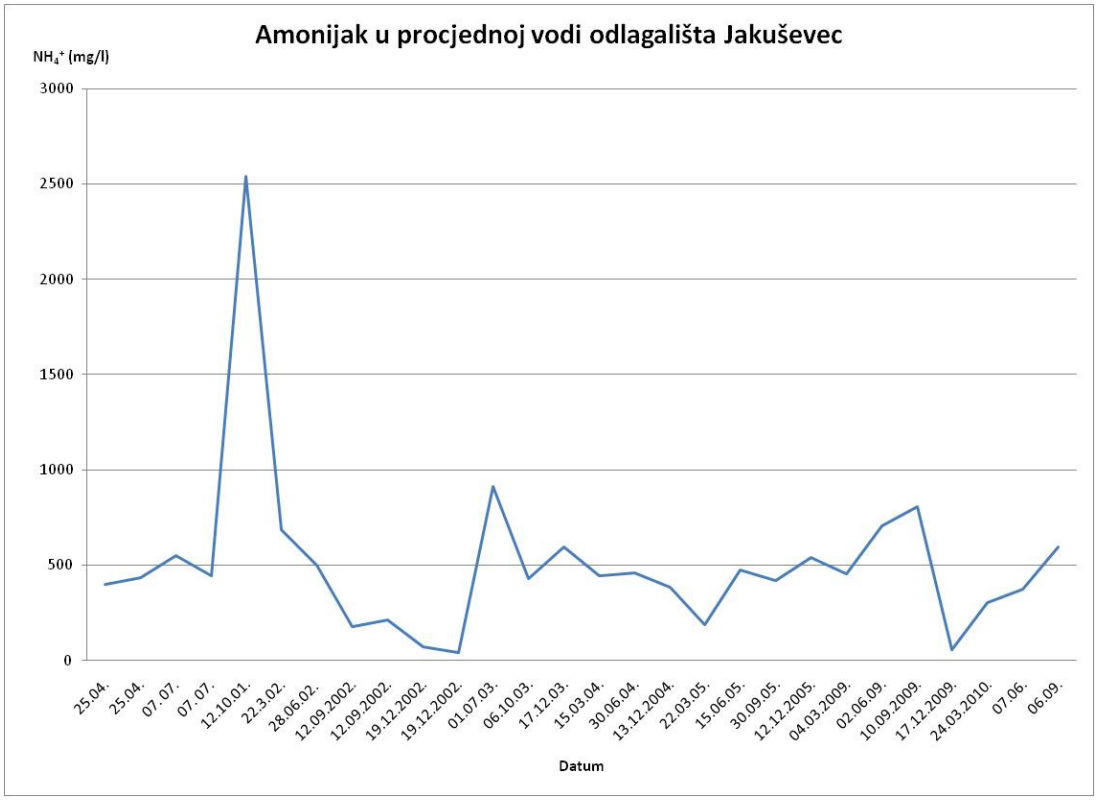
Slika 4.5: *Promjene KPK u procjednim vodama na lokaciji odlagališta Jakuševec od 2001. do 2010. godine*

Za razliku od vrijednosti kemijske i biološke potrošnje kisika (BPK_5 i KPK), starenjem deponija raste koncentracija amonij iona u procjednim vodama (Slika 4.6). Nakon 10 do 12 godina postiže se i zadržava maksimalna koncentracija amonijaka (Milanović, 1992.).



Slika 4.6: *Promjene NH_4N u procjednim vodama ovisno o starosti deponija (prema Bilitewski, et. al., 1991., preuzeto iz Milanović, 1992.)*

Maksimalna izmjerena koncentracija amonijaka u procjednim vodama odlagališta Jakuševec je bila oko 2500 mg/l (Slika 4.7). Tijekom cijelog razdoblja praćenja, zabilježene vrijednosti su značajno varirale, kao i u slučaju parametara BPK_5 i KPK. Usprkos varijacijama, može se vidjeti da se koncentracije amonij iona u procjednim vodama odlagališta kreću oko 500 mg/l, što bi za deponije starije od 6 godina prema Bilitewski, et. al., 1991. i Milanović, 1992., odgovaralo donjoj granici, odnosno bilo bi malo niže od nje.



Slika 4.7: *Promjene amonij iona u procjednim vodama na lokaciji odlagališta Jakuševec od 2001. do 2010. godine*

Utjecaj procjednih voda na površinske vode blizu deponija očituje se prvenstveno u povećenoj potrošnji otopljenog kisika (Milanović, 1992.). Djelovanje procjednih na podzemne vode znatno se teže kontrolira, a osobito kod velikih i neuređenih deponija.

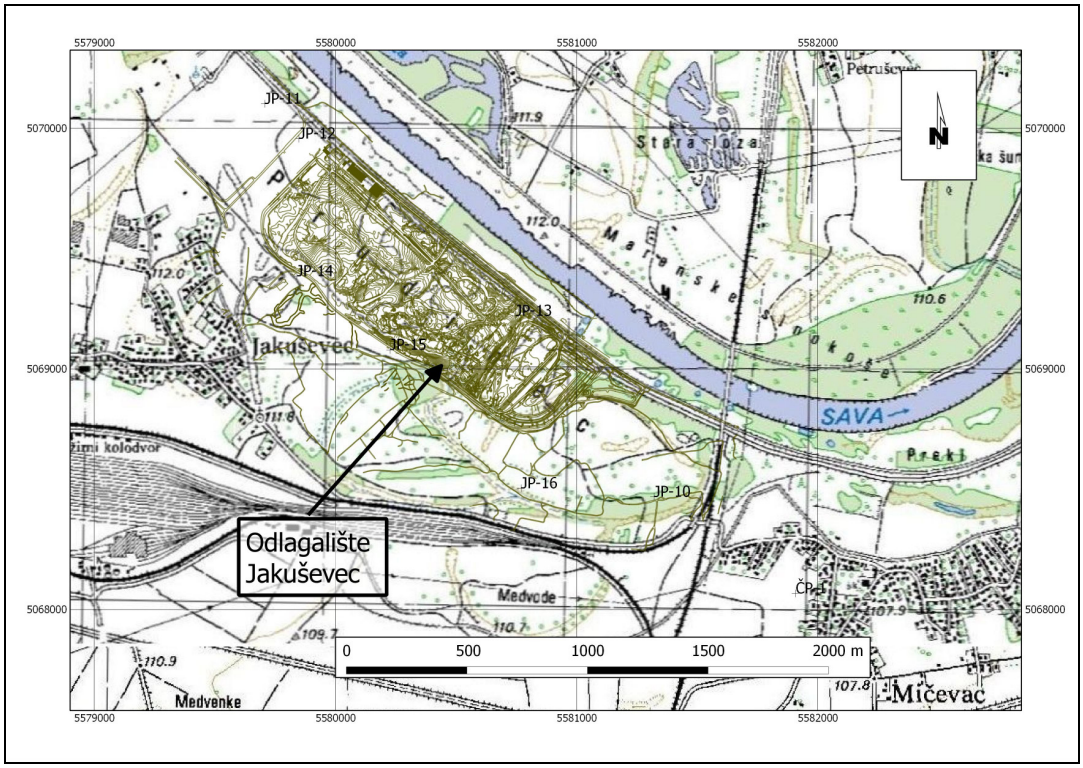
Procjedne vode će na podzemne vode utjecati kroz duže vremensko razdoblje zahvaljujući manjoj količini otopljenog kisika. Jednom onečišćena podzemna voda može biti neupotrebljiva kao izvor pitke vode kroz duže vremensko razdoblje (Milanović, 1992.). Često se postavlja pitanje koji je od parametara procjednih voda važniji za određivanje onečišćenosti (BPK_5 ili KPK). Iako su procjedne vode izuzetno snažno organski onečišćene, na komunalnim deponijima se prema Ivanc, 1982., KPK uzima kao osnovna značajka onečišćenosti. Utvrđeno je da se kisik u recipijentu smanjuje i na račun BPK_5 i na račun KPK. Ispitivanja procjednih voda su pokazala da nakon biološke obrade na BPK_5 = 25 mg O_2/l, ostaje još mnogo biološkim putem teško razgradivih organskih spojeva. Pokusima je dokazano da je potrebno dodatnih 2000 mg O_2/l za njihovu razgradnju. To opterećenje, odnosno onečišćenje procjednih voda se očituje kao KPK (Milanović, 1992.).

4.3. Podaci o kemijskim analizama podzemnih voda

Tijekom sanacije odlagališta otpada Jakuševec, praćena je kakvoća podzemne vode na 31 piezometru, dok je nakon sanacije broj piezometara smanjen na devet. U ovoj disertaciji su dakle obrađeni rezultati praćenja kakvoće podzemnih voda na 31 piezometru u razdoblju od 2001. do 2004. godine i na devet piezometara od 2005. do 2011. godine. Osim ovih analiza dan je osvrt i na povremene analize podzemnih voda koje su bile provedene prije uspostave monitoringa.

4.3.1. Podaci o analizama podzemnih voda prije uspostave kontinuiranog monitoringa

Prije uspostave sustava stalnog monitoringa, analize podzemne vode su se provodile povremeno bez sustavnog praćenja pojedinih parametara. Uzorkovanja i analize je radio Zagrebački vodovod (danas Vodoopskrba i odvodnja). Iz tog razloga analize su se provodile na malom broju lokacija i u jako velikim vremenskim razmacima od nekoliko do čak desetak godina, pa je iz njih teško izvući konkretan zaključak o prijašnjem ponašanju zagađivala i usporediti ih sa rezultatima dobivenim kontinuiranim monitoringom. Iz tog razloga, u ovom podpoglavlju su samo konstatirani dobiveni rezultati s kratkim osvrtom na njih.



Slika 4.8: *Karta lokacija piezometara uzorkovanih 1986., 1992. i 1995. godine na lokaciji odlagališta Jakuševec (napravljeno prema Elektroprojekt, 1992. i Jurković, 1995.)*

1986. godine napravljene su analize podzemne vode u piezometrima JP-11, JP-12, JP-13, JP-14, JP-15, JP-16 i JP-10 (Slika 4.8). Rađene su analize koncentracija amonij iona i utroška $KMnO_4$ (KPK - Kemijska potrošnja kisika). U piezometrima koji su smješteni uz Rijeku Savu (JP-11, JP-12 i JP-13) kvaliteta vode je bila značajno bolja od kvalitete vode u piezometrima smještenim uz jugozapadni rub odlagališta (JP-14, JP-15), i jugoistočno (JP-10, JP-16 i ČDP-1). Uzorci podzemne vode su 1987. uzeti tri puta, međutim nisu dani podaci o datumu uzorkovanja niti o razinama podzemne vode, u tablici 4.3 su dani rezultati uzorkovanja.

Tablica 4.3: *Rezultati uzorkovanja podzemne vode na odlagalištu otpada Jakuševec tijekom 1987. godine (Elektroprojekt, 1992.)*

Piezometar	Utrošak $KMnO_4$ (mg/l)	Amonijak
JP-10	12,96 11,52 15,96	1,01 1,65 0,34
JP-11	6,28 3,53 4,81	0 0 0,053
JP-12	11,64 13,28 11,90	0,079 0,01 0,64
JP-13	9,70 7,62 7,60	0,06 0,05 0,21
JP-14	4,47 3,62 20,10	1,66 1,06 9,35
JP-15	17,05 20,08 26,01	19,32 179,40 30,00
JP-16	3,22 10,20 18,60	2,40 120,80 13,52

Prema dobivenim rezultatima, u piezometrima smještenim uz rijeku Savu JP-11, JP-12 i JP-13 rezultati nisu upućivali na negativan utjecaj odlagališta Jakuševec. Samo je jedanput zabilježeno prekoračenje vrijednosti amonij iona (> 0,1 mg/l) po tada važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti pitke vode (Službeni list br. 33 od 15.05.1987.), u piezometrima JP-12 i JP-13.

U piezometru JP-14 smještenom uz jugozapadni rub odlagališta i u piezometru JP-10 smještenom oko 500 metara jugoistočno od tijela odlagališta, koncentracije amonij iona su bile iznad propisanog MDK, po tada važećem pravilniku i kretale su se između 0,34 i 9,35 mg/l. Najveća zagađenja su registrirana u piezometru JP-15 na središnjem dijelu jugozapadnog ruba odlagališta i u piezometru JP-16, smještenom oko 300 metara južno od južne granice odlagališta. Koncentracije amonij iona su u jednom ciklusu uzorkovanja prešle 120 mg/l (piezometar JP-16), odnosno 179 mg/l (piezometar JP-15). Jurković, 1995. je dao podatke ispitivanja kakvoće podzemne vode u piezometrima JP-10 i ČP-1 u 1986., 1992. i 1995. godine. Rezultati su prikazani u tablici 4.4.

Tablica 4.4: *Rezultati uzorkovanja podzemne vode na odlagalištu otpada Jakuševec tijekom 1986., 1992. i 1995. godine (Jurković, 1995.)*

Piezometar, parametar (mg/l)	1986.	1992.	1995.
JP-10			
Amonijak	0,00	5,36	23,00
Utrošak $KMnO_4$	22,12	20,50	36,36
ČP-1			
Amonijak	0,00	0,23	1,73
Utrošak $KMnO_4$	4,59	4,70	3,64

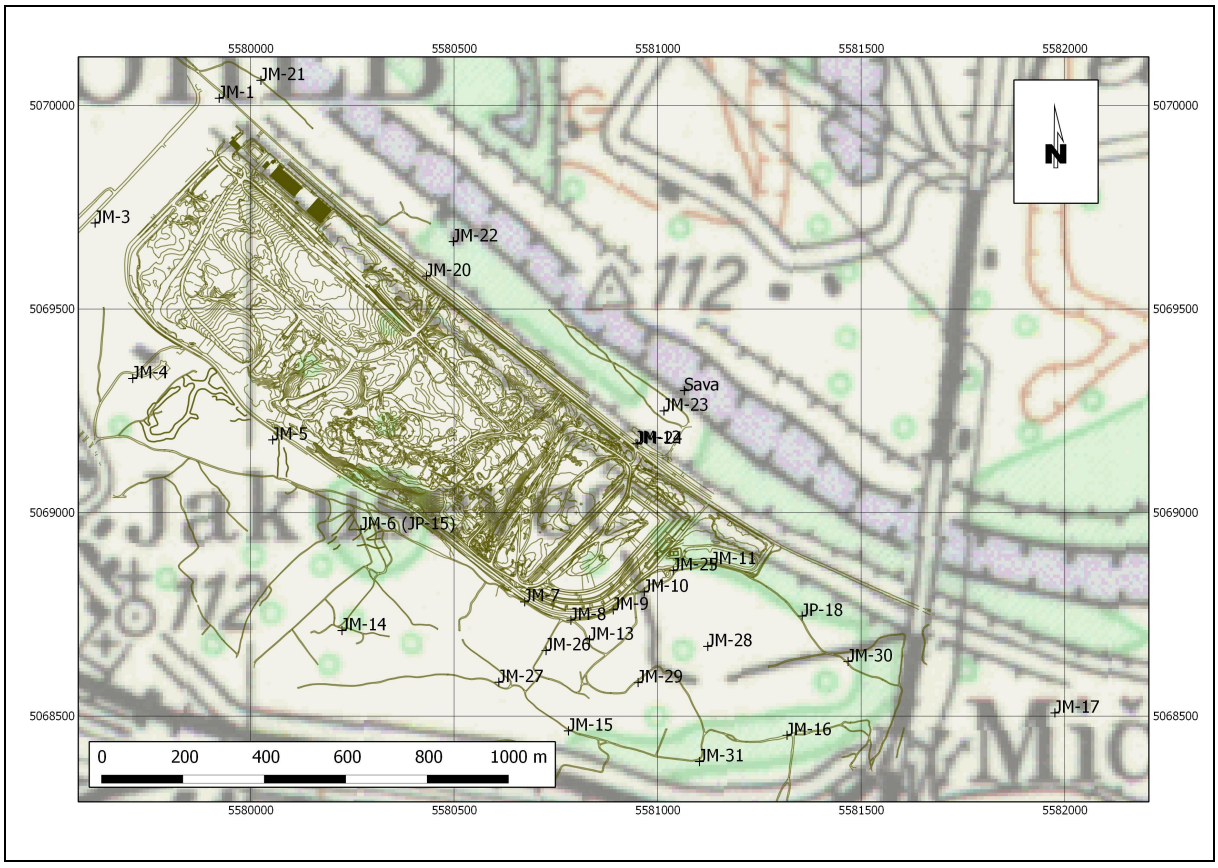
Iz tablice 4.4 je vidljivo da je koncentracija amonij iona u odnosu na 1986. godinu imala manji porast 1992. godine, dok je značajno porasla 1995. godine. Prema Jurković, 1995. koncentracije zagađivala pokazuju trend porasta, odnosno kontinuirani trend pogoršanja kakvoće vode, a taj zaključak su također preuzeli Nikolić i dr. (1996.).

4.3.2. Analize podzemnih voda u sklopu monitoring paketa

Praćenje je bilo organizirano po piezometrima koji su bili smješteni oko odlagališta, i to u tri piezometra koji se nalaze u inundacijskom pojasu rijeke Save (JM-21, JM-22 i JM-23) i četiri piezometra koji se nalaze na desnom nasipu rijeke Save (JM-1, JM-12, JM-20 i JM-24). Piezometri koji su smješteni uz jugozapadni rub odlagališta su JM-4 (smješten oko 200 metara jugozapadno), JM-5 (smješten oko 50 metara jugozapadno), JM-6 (smješten oko 100 metara jugozapadno) i JM-14 (smješten oko 250 metara jugozapadno). Najgušća mreža piezometara je bila postavljena jugoistočno od odlagališta gdje je prema projektnoj dokumentaciji bio očekivan dominantan smjer toka podzemne vode.

Ti piezometri su bili udaljeni oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta (JM-11, JM-25, JM-10, JM-9 i JM-7), oko 100 metara jugoistočno od tijela odlagališta (JM-13, JM-26 i JM-27), oko 250 metara jugoistočno od tijela odlagališta (JP-18, JM-28, JM-29 i JM-15) i oko 450 metara jugoistočno od tijela odlagališta (JM-30, JM-16, JM-31 i JM-32). Osim iz piezometara, uzorci podzemne vode su bili analizirani i na zdencima interventnog crpnog sustava. Lokacije uzorkovanja podzemne vode su prikazane na slici 4.9 i u tablici 4.5. Prije uzimanja uzoraka vode u prvom dijelu monitoringa od 2001. do 2004. godine mjereni su fizikalno kemijski parametri (temperatura, specifična elektroprovodljivost, pH, otopljeni kisik) po profilu vodenog stupca u pojedinim piezometrima kako bi se utvrdilo postoji li stratifikacija onečišćenja po profilu. Posebna pozornost je bila usmjerena prema piezometrima koji se nalaze nizvodno u neposrednoj blizini tijela odlagališta.

Obzirom na rezultate kemijskih analiza procjedne vode kao ključni parametri onečišćenja su prepoznati kemijska potrošnja kisika (KPK) i amonij ion. Procjedne vode su također sadržavale i visoke koncentracije metala, posebno željeza i mangana.



Slika 4.9: *Lokacije uzimanja uzoraka podzemne vode*

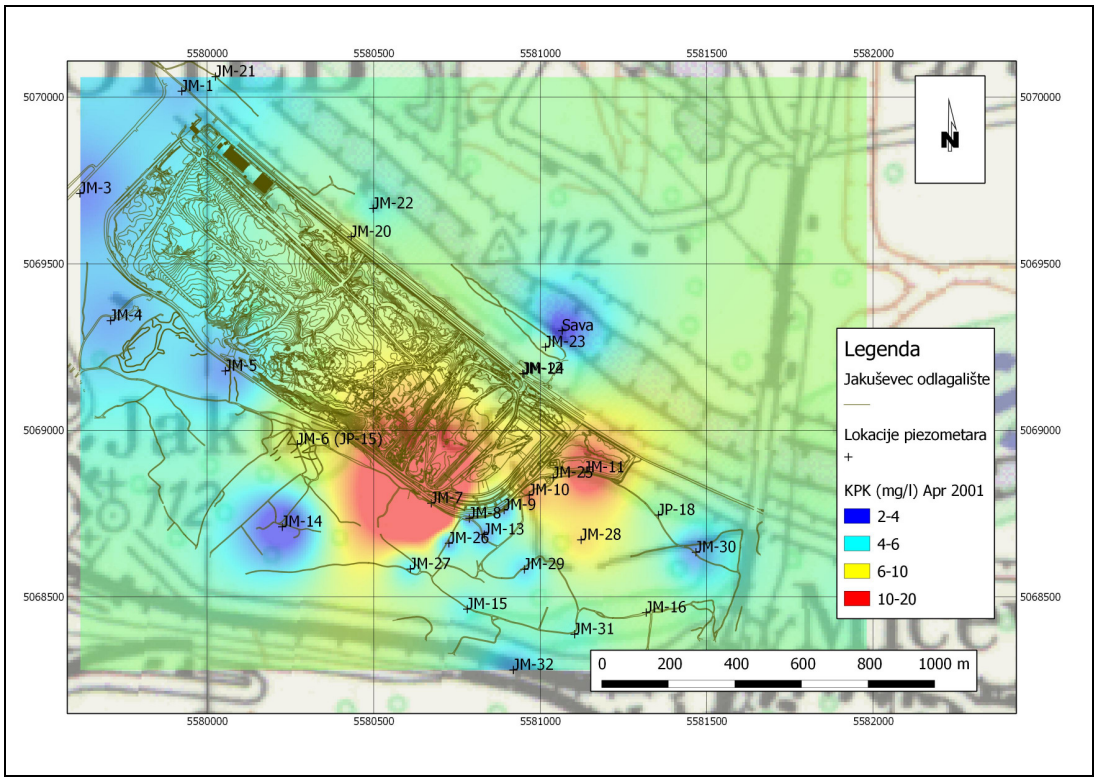
Tablica 4.5: *Tablični prikaz pozicija piezometara*

Piezometri udaljeni do 50 metara od tijela odlagališta	Piezometri udaljeni do 250 metara od tijela odlagališta	Piezometri udaljeni do 450 metara od tijela odlagališta	Piezometri na nasipu	Piezometri u inundaciji	Uzvodni piezometri	Piezometri smješteni južno i jugoistočno od odlagališta
JM-8	JM-13	JM-16	JM-1	JM-21	JM-3	JM-5
JM-9	JM-15	JM-30	JM-12	JM-22	JM-4	JM-6
JM-10	JP-18	JM-31	JM-20	JM-23		JM-7
JM-11	JM-28	JM-32	JM-24			JM-14
JM-25	JM-29					JM-15
JM-26						
JM-27						

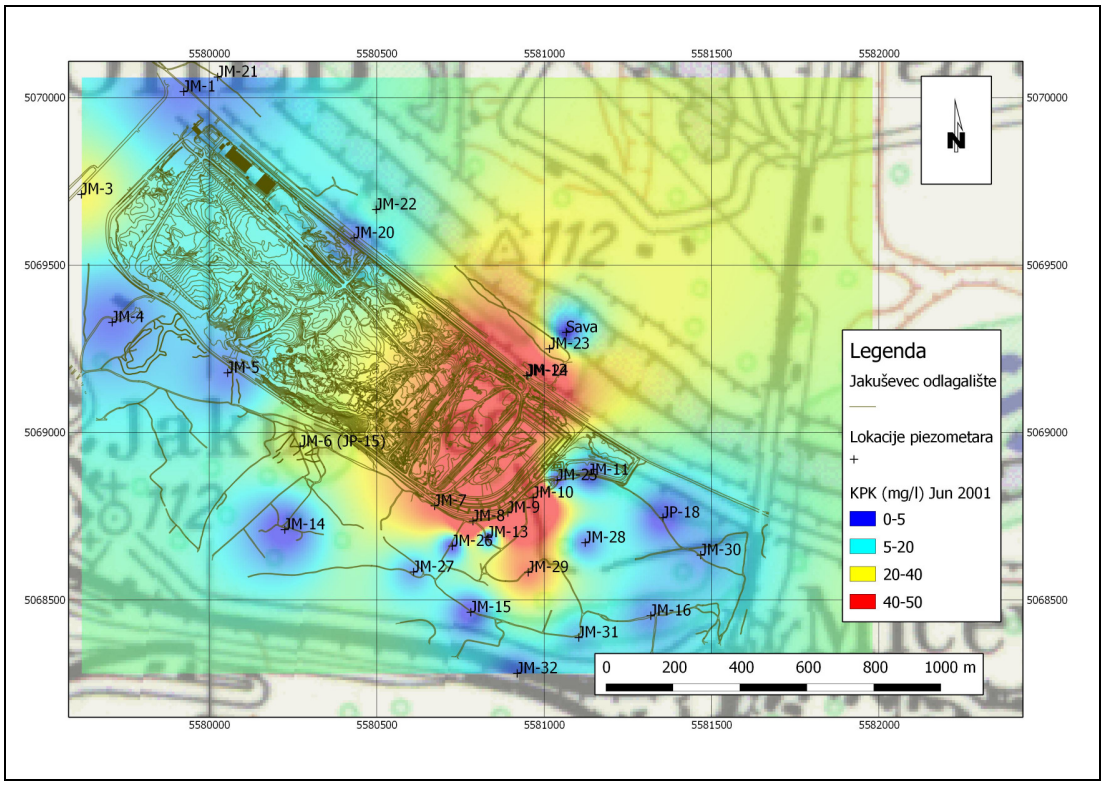
Kemijska potrošnja kisika - KPK

Kemijska potrošnja kisika – KPK predstavlja važan parametar za određivanje utjecaja procjednih voda odlagališta na podzemne vode. Iako obzirom na starost odlagališta nisu uočene značajnije promjene tijekom razdoblja praćenja, dan je osvrt i na ovaj parametar. U prvom ciklusu uzorkovanja u travnju 2001. godine, KPK je bila relativno niska u svim piezometrima, jedino je u jugoistočnom dijelu bila malo povećana (Slika 4.10). U piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta kretala se nekoliko miligrama po litri, jednako kao i u piezometrima lociranim između 50 i 450 metara od tijela odlagališta. Od piezometara sa zapadne strane odlagališta, jedino su u piezometru JM-7 bile povišene vrijednosti (oko 20 mg/l), ali on je lociran također uz rub odlagališta, u ostalim piezometrima u tom dijelu koncentracije KPK bile jako niske. Jako niske koncentracije KPK su bile registrirane i u piezometrima lociranim na savskom nasipu i u inundaciji rijeke Save.

Tijekom uzorkovanja u lipnju 2001. godine, registriran je porast koncentracija KPK u piezometrima, međutim u nešto manjem obimu nego što je to bilo kod ostalih parametara (Slika 4.11).



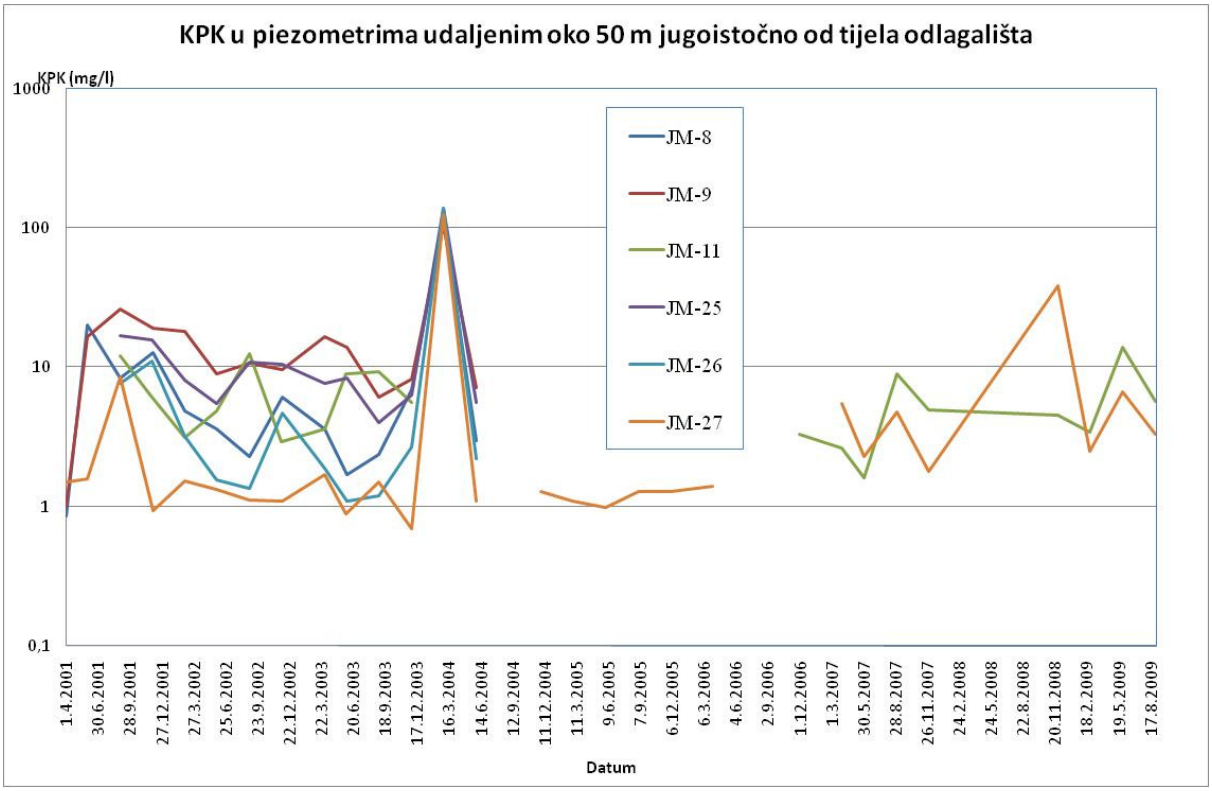
Slika 4.10: *KPK oko odlagališta otpada Jakuševec u travnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*



Slika 4.11: *KPK oko odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*

U piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta, koncentracije KPK u piezometrima su se kretale oko 20 mg/l, a u piezometrima lociranim između 50 i 450 metara od tijela odlagališta nije došlo do značajne promjene KPK.

Značajniji porasti koncentracija su bili registrirani tek u rujnu 2001. i do kraja razdoblja praćenja nije došlo to značajnog trenda promjene koncentracija KPK u podzemnoj vodi (Slika 4.12).



Slika 4.12: *KPK u piezometrima udaljenim oko 50 m jugoistoćno od tijela odlagališta*

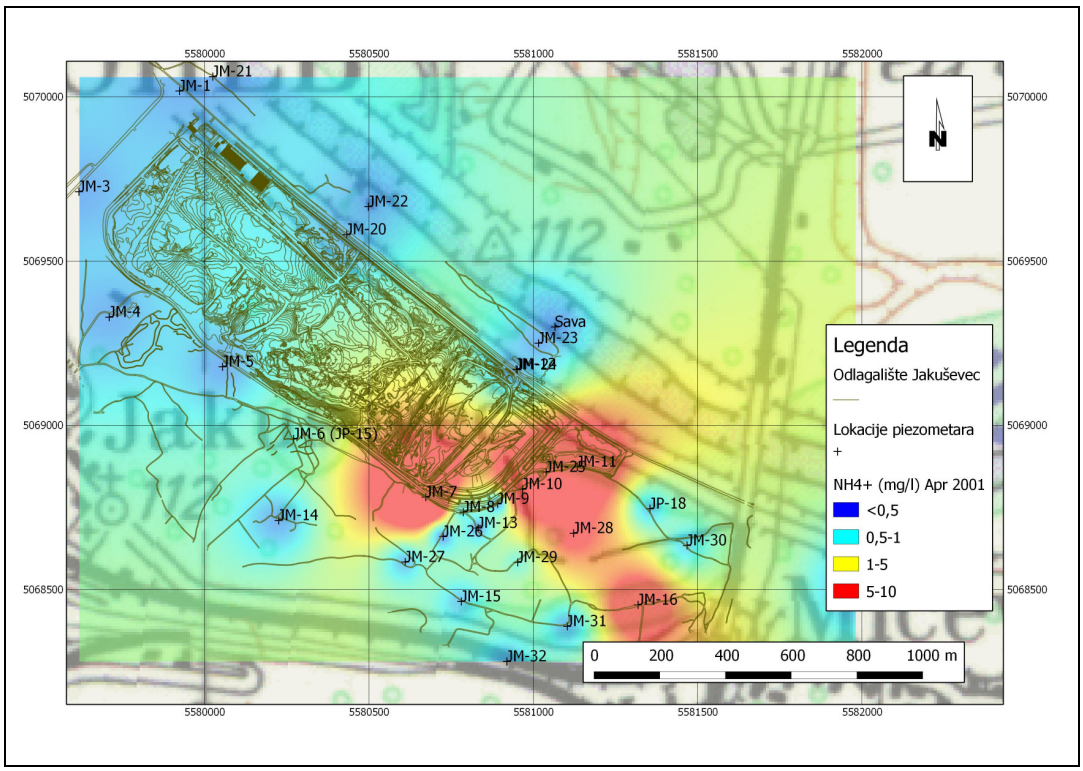
Amonij ion

Najindikativniji parametar na kojeg je obraćena najveća pozornost je koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi oko odlagališta otpada Jakuševec. Prilikom praćenja je uočeno da je u prvom ciklusu uzorkovanja u travnju 2001. godine, koncentracija amonijaka bila relativno niska u svim piezometrima (Slika 4.13). U piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta kretala se ispod 10 mg/l, a u piezometrima lociranim između 50 i 450 metara od tijela odlagališta kretala se ispod 5 mg/l.

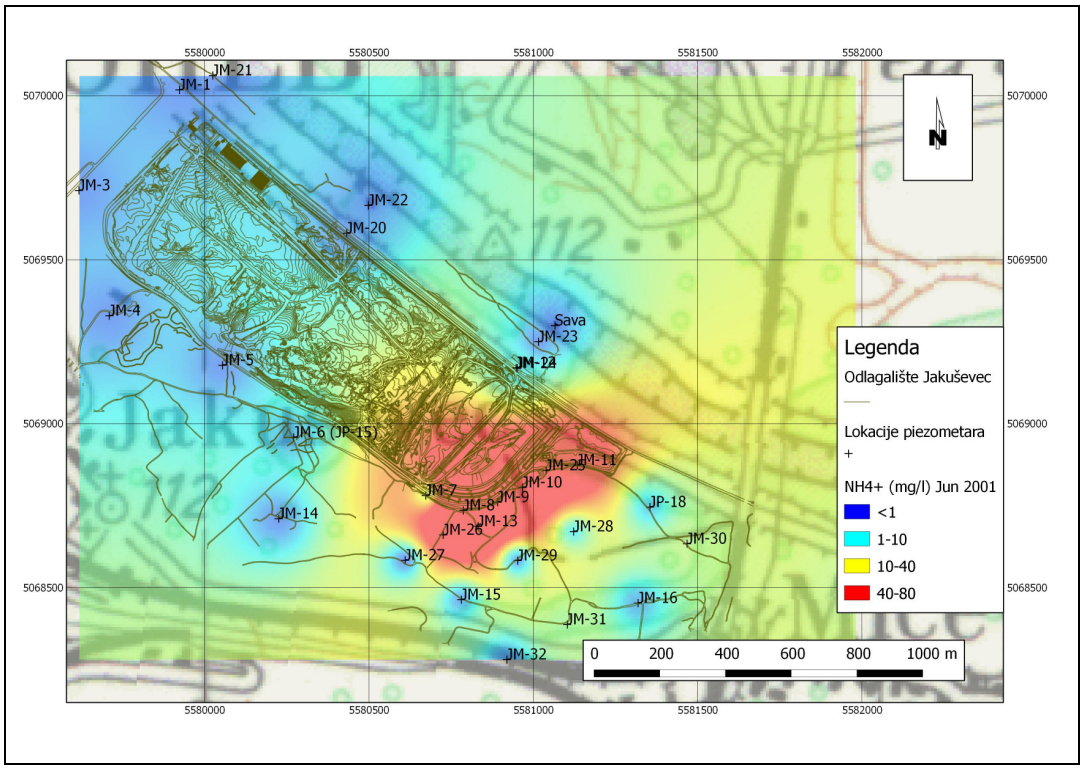
Od piezometara sa zapadne strane odlagališta, jedino su u piezometru JM-7 bile povišene vrijednosti (oko 14 mg/l), ali on je lociran također uz rub odlagališta, u ostalim piezometrima u tom dijelu koncentracije amonij iona su bile ispod 2 mg/l.

Jako niske koncentracije amonij iona su bile registrirane i u piezometrima lociranim na savskom nasipu i u inundaciji rijeke Save. Tijekom uzorkovanja u lipnju 2001. godine, registriran je nagli porast koncentracija amonij iona u piezometrima (Slika 4.14).

U piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta, koncentracije amoniji iona u piezometrima su se kretale između 30 i 70 mg/l, a u piezometrima lociranim između 50 i 250 metara od tijela odlagališta kretale su se od nekoliko miligrama po litri do blizu 40 mg/l. Porast vrijednosti koncentracija amonij iona je bila iznad 10 mg/l i u nekim piezometrima udaljenim između 250 i 450 metara od tijela odlagališta. Porast koncentracije amonij iona je bio registriran u krajnjem jugoistočnom piezometru na savskom nasipu. A u piezometaru JM-7 sa zapadne strane odlagališta porast je bio jako mali.



Slika 4.13: *Koncentracije amonij iona oko odlagališta otpada Jakuševec u travnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*



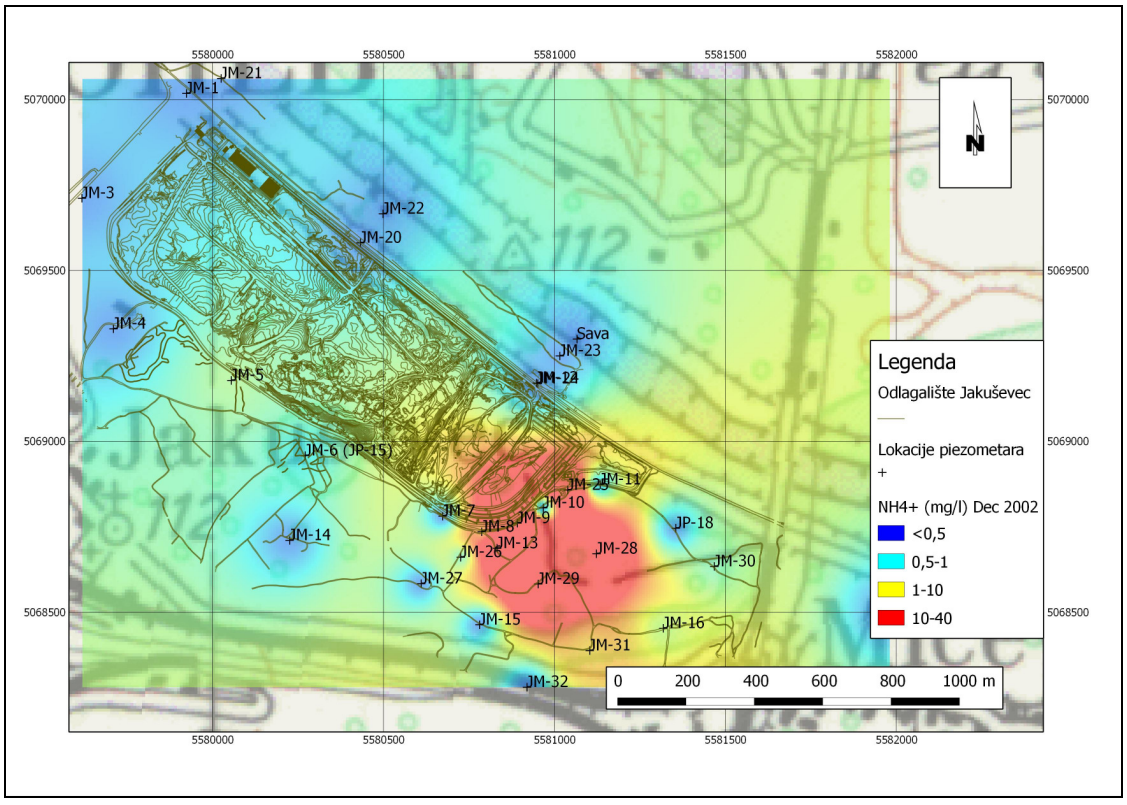
Slika 4.14: *Koncentracije amonij iona oko odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2001. godine u uvjetima visokih voda*

Izrazito visoke koncentracije amonij iona na području do 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta su se zadržale do rujna 2002. godine, odnosno 15 mjeseci od kada su prvi puta registrirane i od tog razdoblja do kraja praćenja uočava se konstantan trend opadanja koncentracija amonij iona u tim piezometrima.

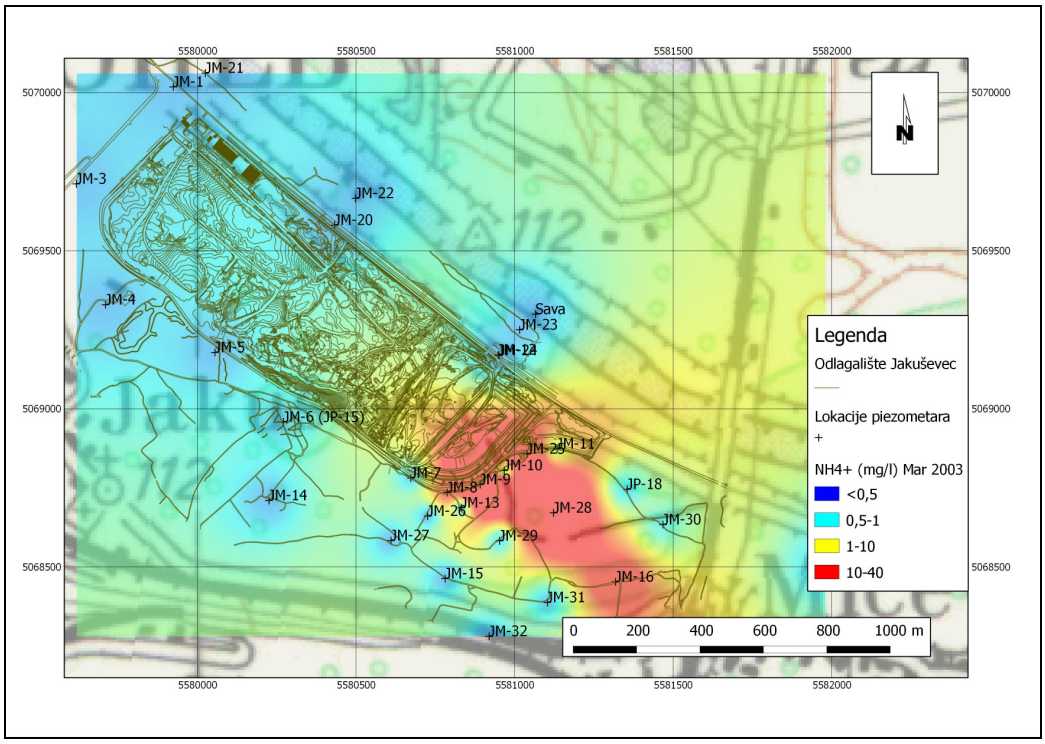
U piezometrima lociranim između 50 i 250 metara od tijela odlagališta, izuzev u piezometru JM-29, najveći porast koncentracije amonij iona je zabilježen krajem 2001. godine (6 mjeseci nakon registriranja jačeg porasta u piezometrima koji se nalaze do 50 metara od tijela odlagališta) i nakon toga je započeo trend pada koncentracija.

Porast vrijednosti koncentracija amonij iona je u piezometrima udaljenim između 250 i 450 metara bio znatno manji, ali je također uočen trend pada koncentracija. Prema kartama uočeno je da se zagađenje uz razrjeđivanje kreće u smjeru jugoistoka. Na savskom nasipu je jedino na krajnjem jugoistočnom piezometru u srpnju i rujnu 2001. godine bio uočen porast koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi, a od tog perioda koncentracije su konstantno niske. Zanimljivo je da je manji porast koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi bio registriran u rujnu 2001. godine.

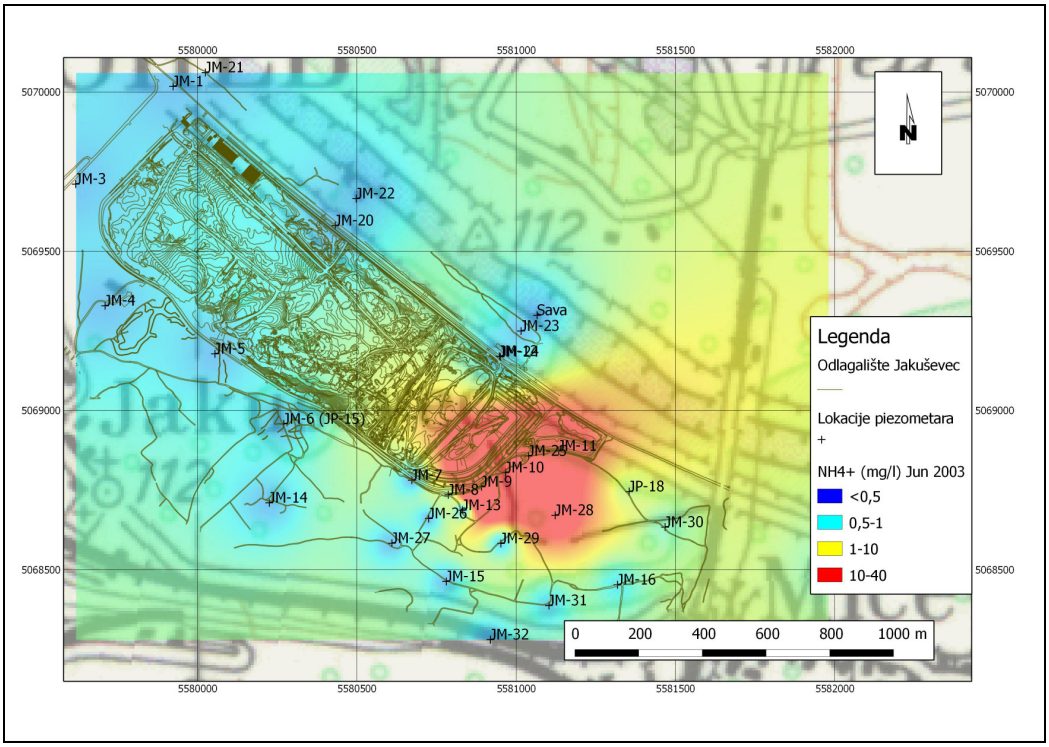
Na slikama 4.15, 4.16 i 4.17 su prikazani rasporedi koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec-Prudinec u uvjetima visokih, srednje visokih i niskih voda. Dobivene vrijednosti se poklapaju sa vrijednostima prethodno opisanih parametara. Maksimalne vrijednosti amonij iona su na jugoistočnom dijelu odlagališta i uz njegov jugozapadni rub. U uvjetima visokih voda (Slika 4.15), koncentracije amonij iona u podzemnoj vodi su najviše jugoistočno od odlagališta, a povećavaju se i južno od odlagališta, što je utjecaj prihranjivanja vodom iz rijeke Save. U vrijeme srednje visokih voda (Slika 4.16) najznačajniji porast koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi je jugoistočno od odlagališta, a u vrijeme niskih voda rijeke Save (Slika 4.17) može se vidjeti da se u jugoistočnom dijelu odlagališta koncentracije amonij iona u podzemnoj vodi povećavaju u smjeru rijeke Save.



Slika 4.15: *Karta koncentracija amonij iona (mg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. u uvjetima visokih voda*

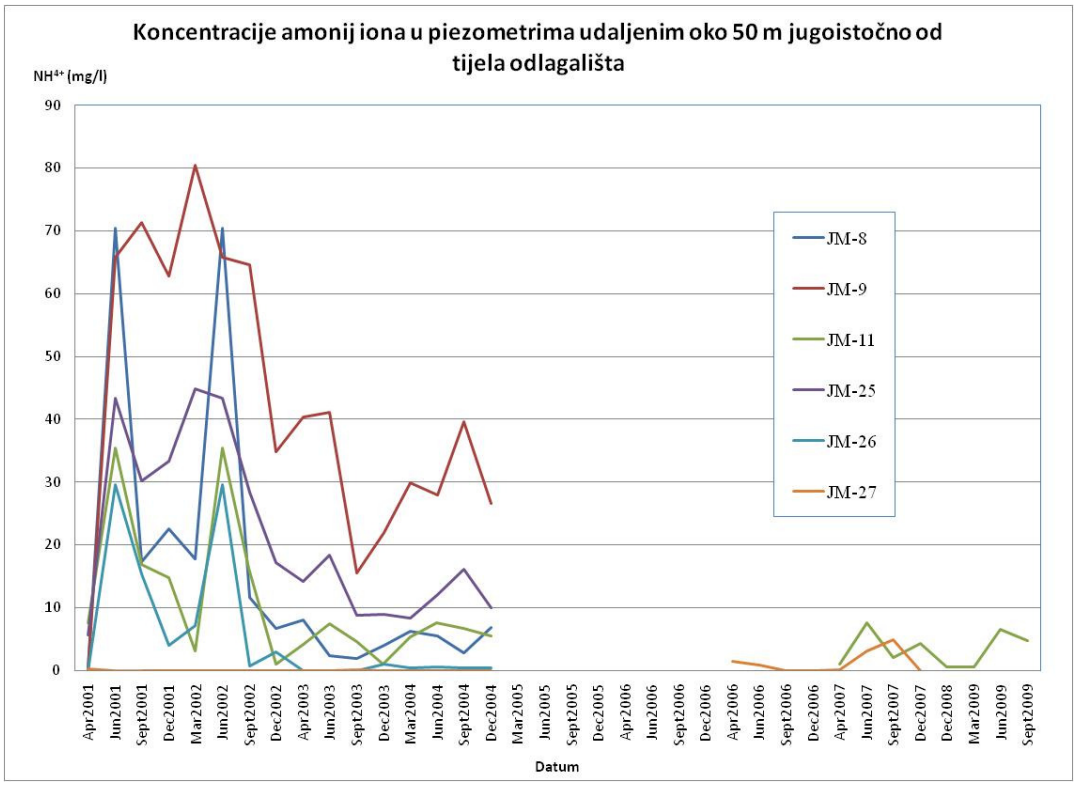


Slika 4.16: *Karta koncentracija amonij iona (mg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. u uvjetima srednjih voda*



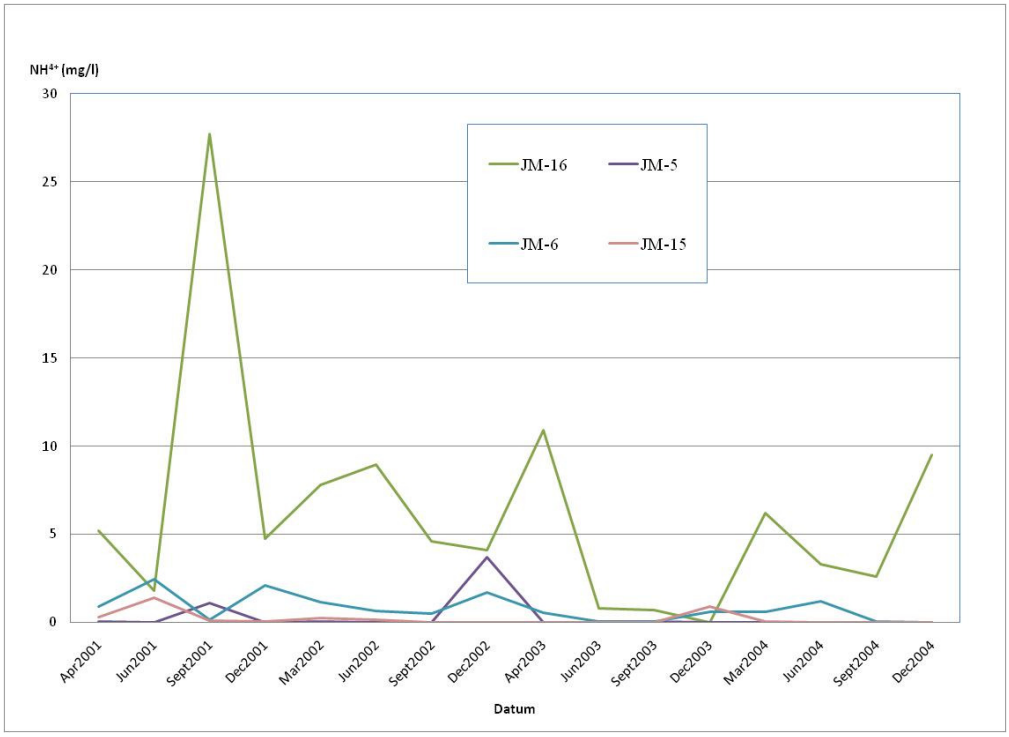
Slika 4.17: *Karta koncentracija amonij iona (mg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2003. u uvjetima niskih voda*

Na početku sanacije odlagališta otpada Jakuševec koncentracije amonij iona su u svim piezometrima bile relativno niske, da bi vrlo brzo porasle, a nakon završetka sanacije dolazi do njihovog naglog pada (Slika 4.18).



Slika 4.18: *Koncentracije amonij iona registrirane u piezometrima udaljenim oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta*

Na slici 4.19 su prikazani trendovi kretanja koncentracija amonij iona u piezometrima JM-5 (približna lokacija piezometru JP-14) i JM-6 (bivša oznaka JP-15). U piezometru JM-5 su samo dva puta od ukupno šesnaest uzorkovanja provedenih od 2001. do 2004. godine uočene malo više koncentracije amonij iona i to oko 1,1 mg/l u lipnju 2001. godine i oko 3,6 mg/l u prosincu 2002. U piezometru JM-6 (nekada označen oznakom JP-15) maksimalno registrirane koncentracije amonij iona su bile oko 2,5 mg/l i imale su kontinuirani trend pada. Drugi problematični piezometri u to vrijeme su bili JP-10 i JP-16. Lokaciju koja je približna lokaciji piezometra JP-16 ima piezometar JM-15, a lokaciju koja je približna lokaciji piezometra JP-10 ima piezometar JM-16. U piezometru JM-15 su također zabilježene niske koncentracije amonij iona, a u piezometru JM-16 su u rujnu 2001. godine iznosile oko 27 mg/l a nakon tog su imale trend pada, posebno nakon sanacije odlagališta. Generalno, u sva četiri piezometra su izmjerene puno manje koncentracije amonij iona nego 1987. godine.



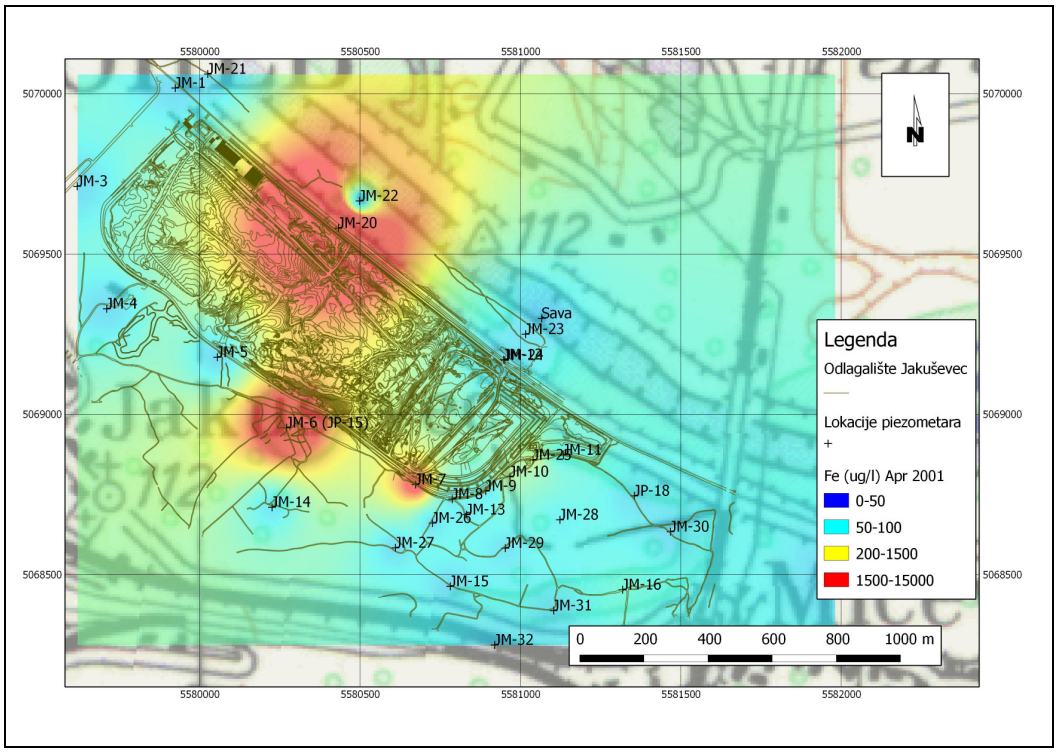
Slika 4.19: *Koncentracije amonij iona u piezometrima koji su smještani na približnim lokacijama gdje su se nalazili piezometri iz kojih su uzimani uzorci vode 1987. godine*

Željezo u podzemnoj vodi

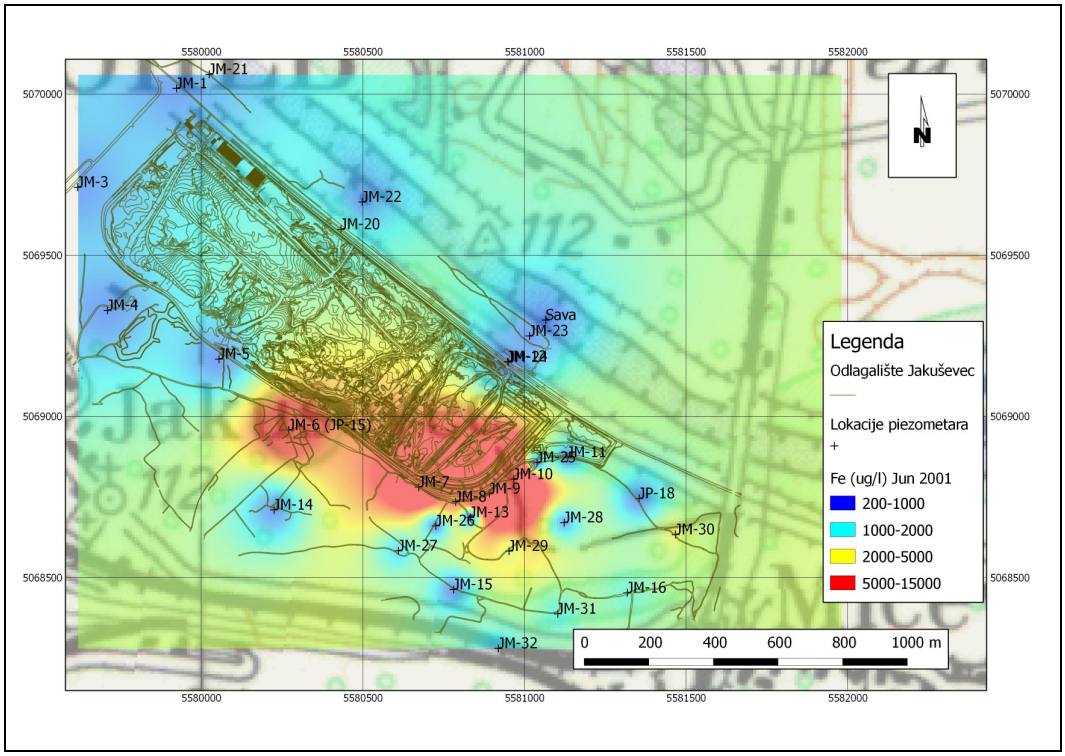
Prilikom praćenja je uočeno da je u prvom ciklusu uzorkovanja u travnju 2001. godine, koncentracija željeza bila relativno niska u većini piezometara i uglavnom se kretala između nekoliko desetaka do nekoliko stotina µg/l. U ovom ciklusu koncentracije željeza su na cijelom promatranom području bile ujednačene (Slika 4.20).

U piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta, koncentracija željeza se kretala između 80 i 200 µg/l, kao i u piezometrima lociranim između 50 i 450 metara od tijela odlagališta. Od piezometara sa južne strane odlagališta, u piezometrima JM-6 i JM-7 su bile povišene vrijednosti (oko 4000 - 6500 µg /l), u ostalim piezometrima u tom dijelu koncentracije željeza su bile kao i u ostalim piezometrima.

Jako niske koncentracije željeza su bile registrirane i u piezometrima lociranim na savskom nasipu i u inundaciji rijeke Save (Slika 4.21).



Slika 4.20: *Koncentracije željeza u podzemnoj vodi oko odlagališta otpada Jakuševec u travnju 2001. godine za vrijeme visokih voda*



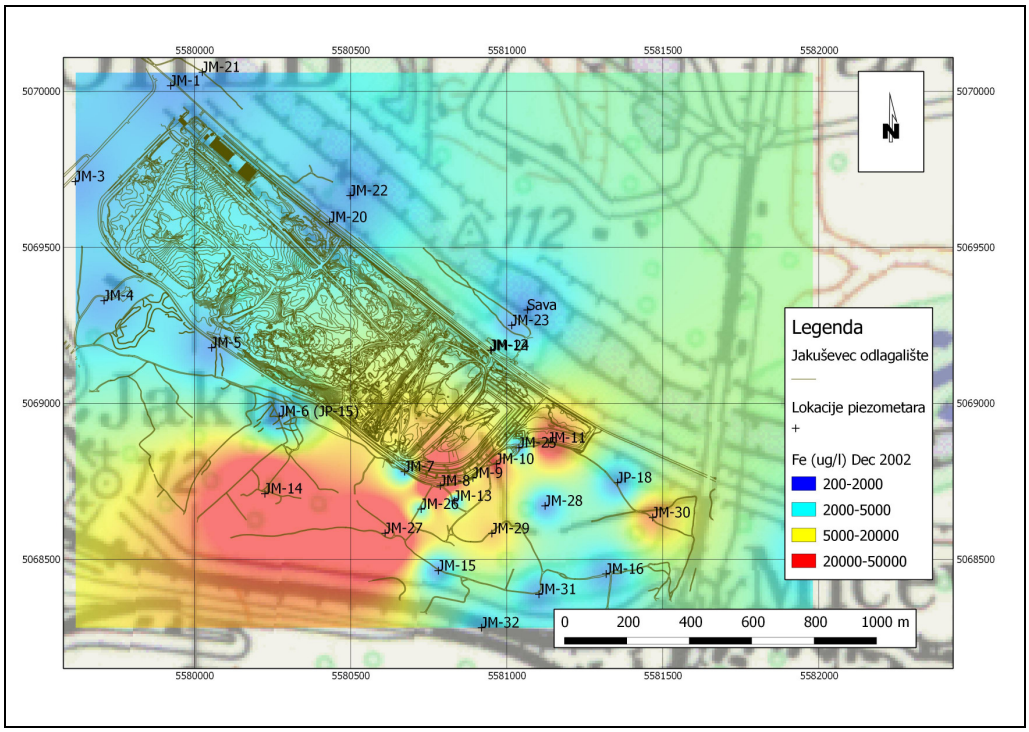
Slika 4.21: *Koncentracije željeza u podzemnoj vodi oko odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2001. godine za vrijeme niskih voda*

Do rujna 2001. godine, u piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta, registriran je porast koncentracija željeza u piezometrima i do desetak puta. Sličan trend porasta koncentracija željeza u podzemnoj vodi je bio registriran i u piezometrima lociranim između 50 i 450 metara od tijela odlagališta.

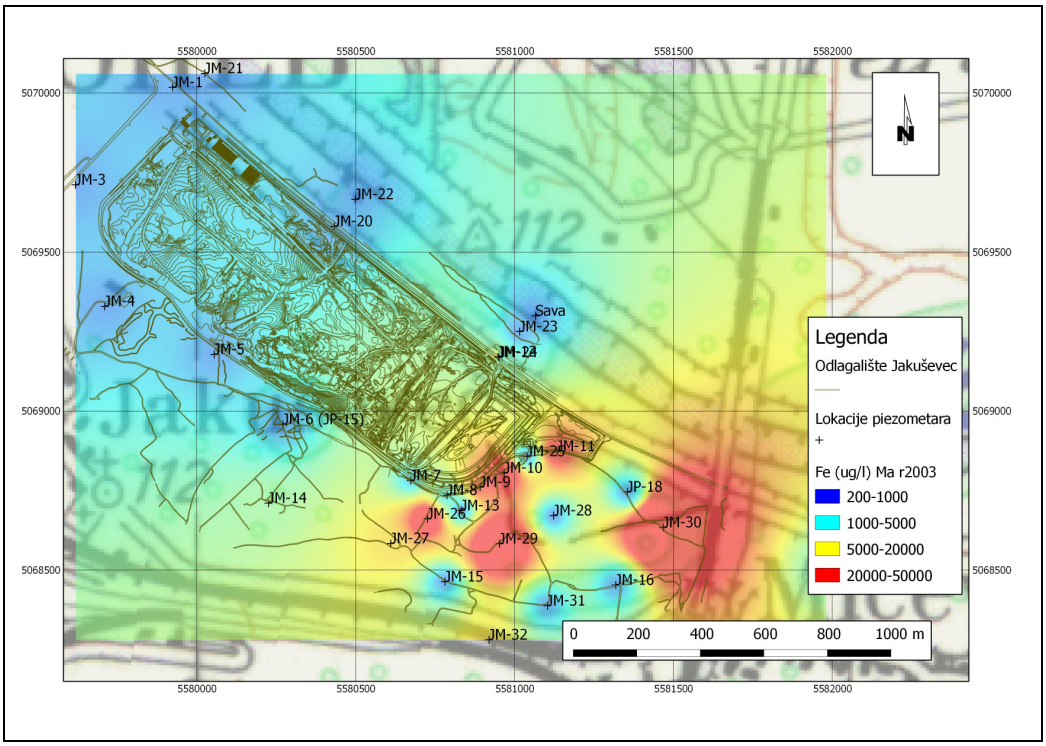
Izrazito visoke koncentracije željeza na području do 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta su se zadržale do kraja 2005. godine, a trend pada je trajao do 2009. godine kada je bilo registrirano razdoblje porasta koncentracija željeza u podzemnoj vodi.

U piezometrima lociranim između 50 i 250 metara od tijela odlagališta, pad koncentracija željeza u podzemnoj vodi je uočljiv do kraja 2004. godine, a u piezometru JM-28 u kojem je nastavljeno mjerenje, od 2007. godine su bile registrirane visoke koncentracije koje su se zadržale do kraja 2009. godine. Porast vrijednosti koncentracija željeza u podzemnoj vodi je u piezometrima udaljenim između 250 i 450 metara bio registriran u razdoblju od 2003. do 2005. godine te od 2007. do 2009. godine. Na savskom nasipu je jedino na krajnjem jugoistočnom piezometru JM – 20 bio uočen porast koncentracija željeza u podzemnoj vodi do kraja 2004. godine, a od tog perioda koncentracije su konstantno niske. Tijekom četiri hidrološke godine, u razdoblju od 2001. do 2004. rađena su detaljnija istraživanja te je obrađivan veći broj piezometara te su napravljene karte koncentracija željeza u podzemlju.

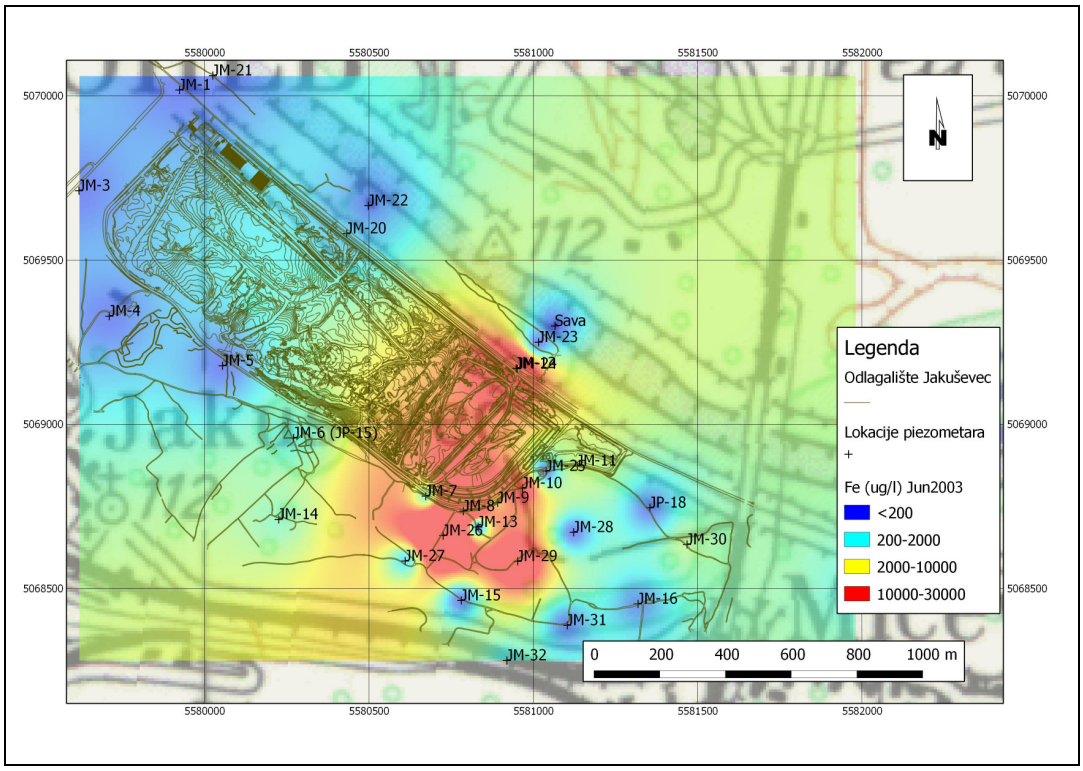
Oblak zagađenja se generalno kreće u smjeru jugoistoka, međutim za vrijeme visokih voda, oblak zagađenja se kreće u smjeru juga, dok u vrijeme nižih vodostaja oblak zagađenja skreće prema istoku u smjeru rijeke Save posebno u jugoistočnom dijelu promatranog područja. Dominantni smjer kretanja pak ovisi o trajanju visokih, srednjih i niskih voda. Na slikama 4.22, 4.23 i 4.24 su prikazani rasporedi koncentracija željeza u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec-Prudinec u uvjetima visokih srednje visokih i niskih voda. Maksimalne vrijednosti željeza su na jugoistočnom dijelu odlagališta i uz njegov jugozapadni rub, u uvjetima visokih voda, koncentracije željeza u podzemnoj vodi su najviše jugoistočno od odlagališta, a povećavaju se i južno od odlagališta, a u vrijeme srednje visokih voda najznačajniji porast koncentracija željeza u podzemnoj vodi je jugoistočno od odlagališta, a u vrijeme niskih voda može se vidjeti da se u jugoistočnom dijelu odlagališta koncentracije željeza u podzemnoj vodi povećavaju u smjeru rijeke Save. Na kraju se također može reći da se dobivene vrijednosti poklapaju sa vrijednostima prethodno opisanih parametara.



Slika 4.22: *Karta koncentracija željeza (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. u uvjetima visokih voda*



Slika 4.23: *Karta koncentracija željeza (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. u uvjetima srednjih voda*



Slika 4.24: *Karta koncentracija željeza (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2003. u uvjetima niskih voda*

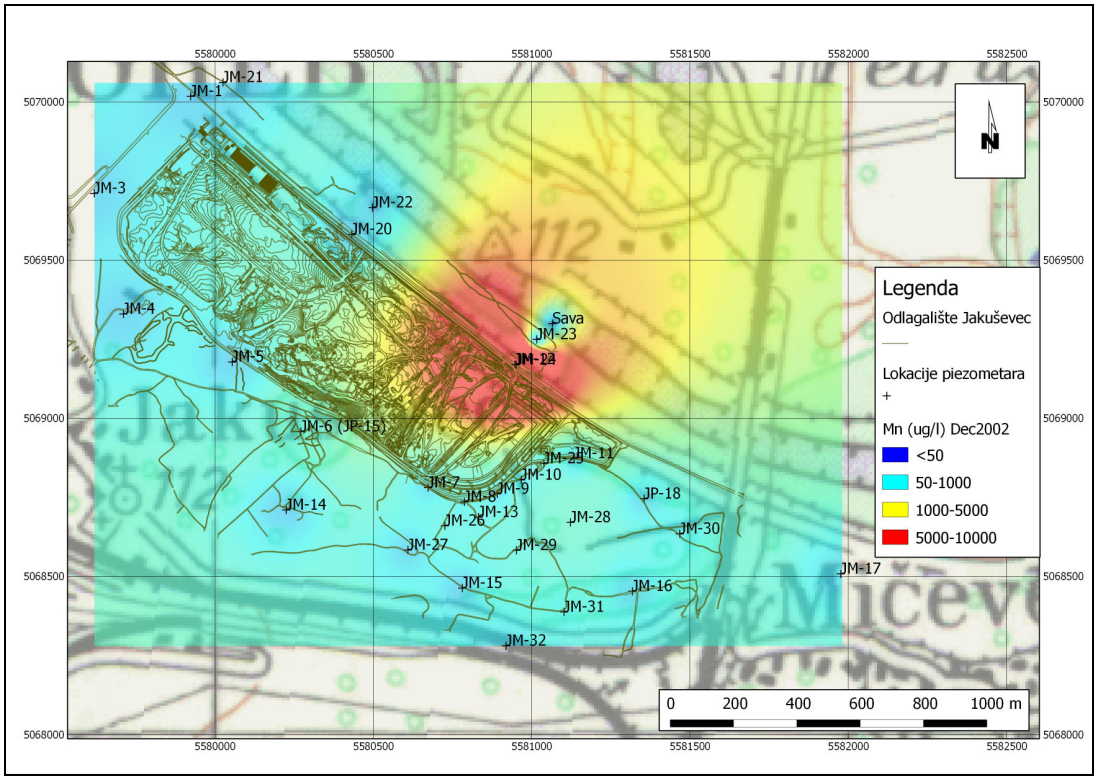
Mangan u podzemnoj vodi

Prilikom praćenja je uočeno da je u prvom ciklusu uzorkovanja u travnju 2001. godine, koncentracija mangana bila visoka i u velikom broju piezometara i uglavnom se kretala između nekoliko stotina do iznad 1000 µg/l.

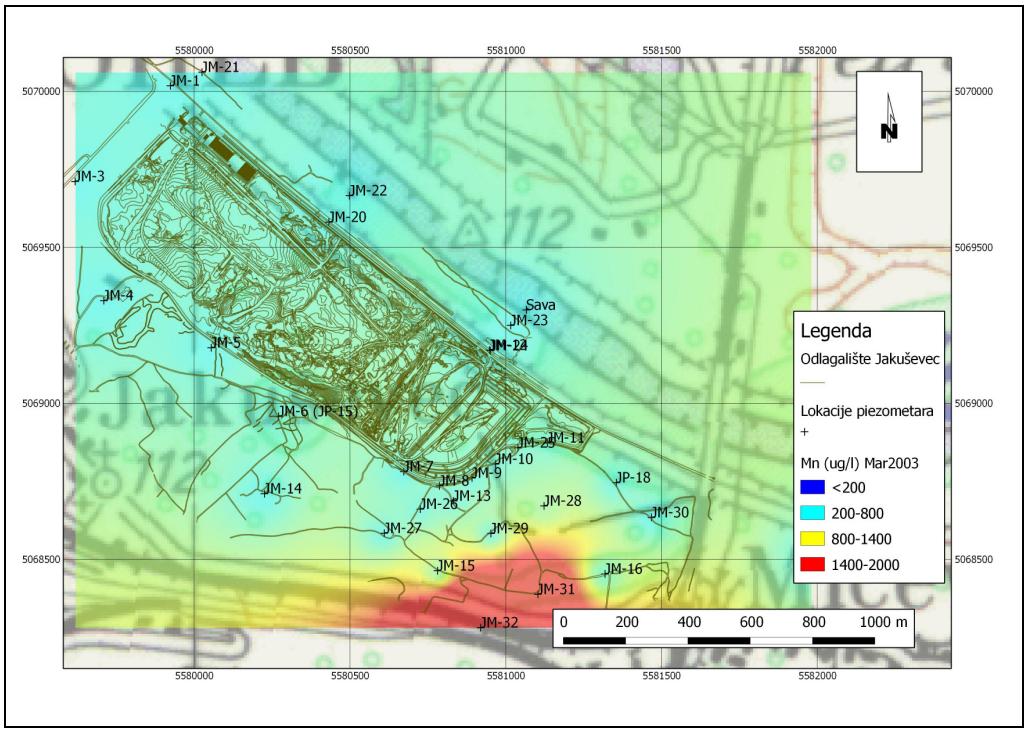
U piezometrima lociranim oko 50 metara od tijela odlagališta, koncentracija mangana se kretala između nekoliko stotina do iznad 1000 µg/l, kao i u nekim piezometrima lociranim između 50 i 450 metara od tijela odlagališta. Od piezometara sa južne strane odlagališta, u piezometrima JM-6 i JM-7 su bile povišene vrijednosti (iznad 1000 µg/l), u ostalim piezometrima u tom dijelu koncentracije mangana su bile kao oko 10 µg/l.

Koncentracije mangana koje su bile registrirane i u piezometrima lociranim na savskom nasipu i u inundaciji rijeke Save su bile također niske izuzev lokacije na krajnjem jugoistočnom dijelu. Do kraja 2004. godine, u piezometrima lociranim od 50 do 450 metara dolazilo je do oscilacija koncentracije mangana u podzemnoj vodi, ali ne u toj mjeri da bi se mogao definirati trend.

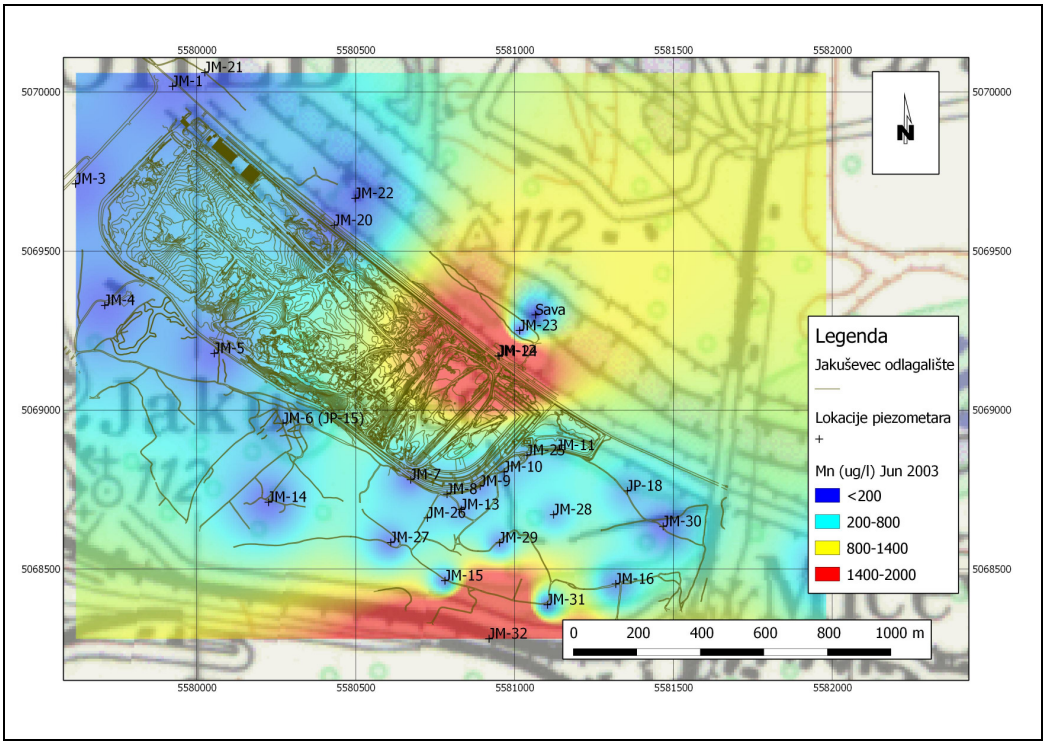
Koncentracije mangana prate koncentracije željeza, Tijekom četiri hidrološke godine, u razdoblju od 2001. do 2004. prema kartama koncentracija mangana u podzemnoj vodi oblak zagađenja se generalno kreće u smjeru jugoistoka, međutim za vrijeme visokih voda, oblak zagađenja se kreće u smjeru juga, dok u vrijeme nižih vodostaja oblak zagađenja skreće prema istoku u smjeru rijeke Save (Slika 4.25, 4.26 i 4.27).



Slika 4.25: *Karta koncentracija mangana (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. godine za vrijeme visokih voda*



Slika 4.26: *Karta koncentracija mangana (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. godine za vrijeme srednjih voda*



Slika 4.27: *Karta koncentracija mangana (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec lipnju 2003. godine za vrijeme niskih voda*

Arsen

Željezo i mangan prate i drugi adsorpcijski vezani metali u tragovima međutim najindikativniji parametar je bio arsen. (iako ne spada u metale). Arsen je amfoteran polumetal svrstan među najopasnije onečišćivače.

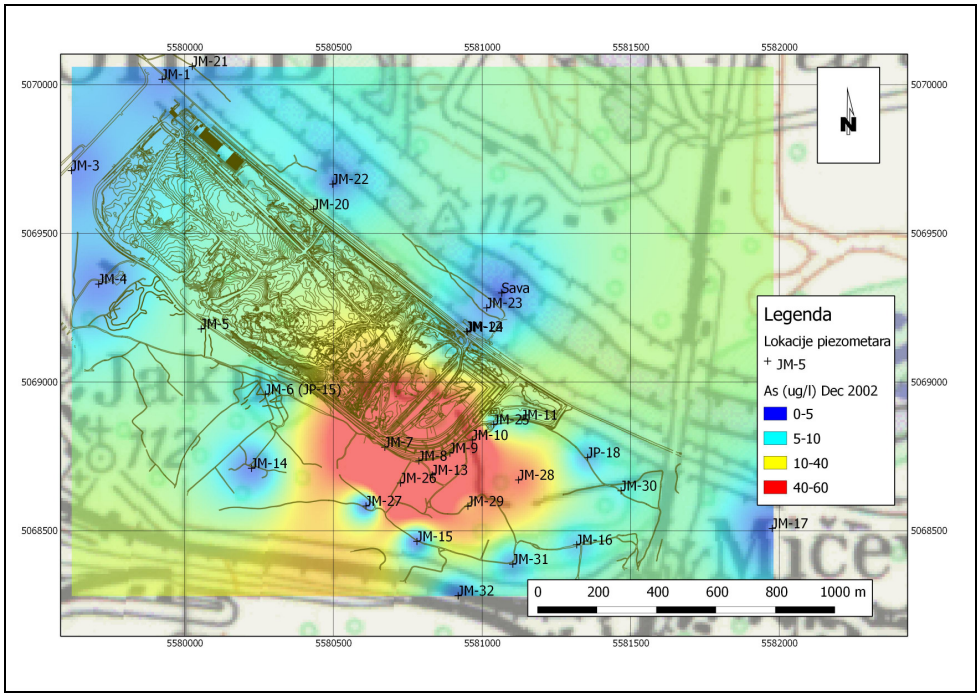
Arsen se može javiti u valentnim stanjima +5, +3, +1, 0 i -3. Ipak, najčešće se u vodi javlja u anorganskim formama, arsenita As^{+3} (opća formula: $H_nAsO_3^{2-n}$) i arsenata As^{+5} (opća formula: $H_nAsO_4^{3-n}$) (Fetter 1999.). Obje forme arsena su toksične, ali je As^{+3} znatno toksičniji (Krešić i dr. 2006.). Organski spojevi arsena nisu česti u podzemnim vodama, ali mogu biti značajni u industrijskom onečišćenju.

U oksičnim uvjetima pri termodinamičkoj ravnoteži, arsen otopljen u vodi se najčešće javlja u formi arsenatnih oksianiona, $H_2As(V)O_4^-$ ili $HAs(V)O_4^{2-}$, što ovisi o pH uvjetima. Neutralni arsenitni ioni ($H_2AsO_3^0$) dominiraju, ali u prirodnim sustavima termodinamička ravnoteža obično nije ostvarena zbog spore redoks kinetike arsena (Eary, Schramke, 1990.). Većina novijih istraživanja upućuju da se redoks kinetika može značajno ubrzati zbog mikrobiološke aktivnosti, koja može utjecati na oksidaciju arsenita (Wilkie, Hering, 1998.; Hering, Kneebone, 2002.; KastoyiaNarodne Novineis i dr. 2004.) i redukcijsko oslobađanje arsenata (Oremland, Stolz, 2003.). Oksidacija As^{3+} se ubrzava manganovim oksidima (Oscarson i dr. 1981.; Driehaus i dr. 1995.; KatsoyiaNarodne Novineis i dr. 2004.; Amirbahman i dr. 2006.).

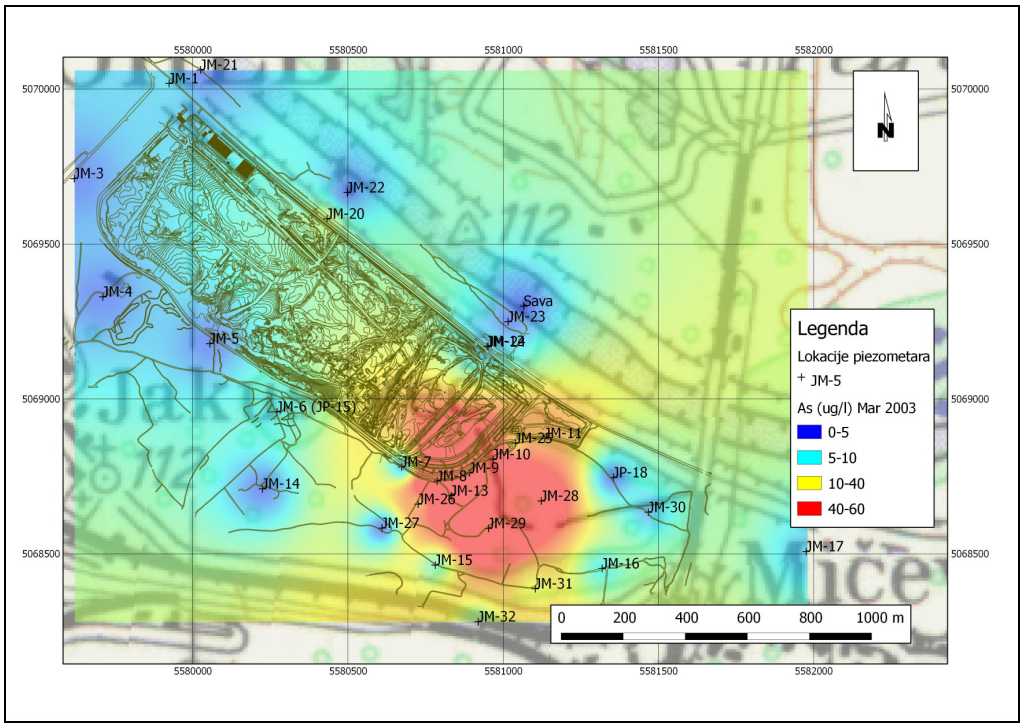
Sorpcija igra važnu ulogu u regulaciji vrsta iona arsena u otopini. Posebno je znano da amorfni željezni oksidi imaju jaki sorpcijski kapacitet za arsen i tako imaju jak utjecaj na njegovu mobilnost (Dzombak, Morel, 1990.).

Ponašanje As^{+5} u hidrogeološkoj sredini je slično ponašanju fosfata. Kao i fosfat i As^{+5} se veže na čestice stijena i kao takav je relativno imobilan (Krešić i dr. 2006.). Željezo (Fe), aluminij (Al) i kalcij (Ca), utječu na ovo vezanje formiranjem netopivih kompleksa sa arsenatom. Prisutnost željeza najviše utječe na mobilnost arsenata u vodi. Spojevi arsenita As^{3+} su 4 – 10 puta topiviji od spojeva arsenata As^{+5}. Adsorpcija arsenata ovisi i o pH vrijednosti, neka istraživanja su pokazala da povećanjem pH od 3 – 9 dolazi i do povećane adsorpcije arsenata na nekim vrstama glina (Krešić i dr. 2006.). Pod anaerobnim uvjetima arsenat As^{+5} može biti reduciran u arsenit As^{3+}, koji je migrabilniji zbog veće topivosti.

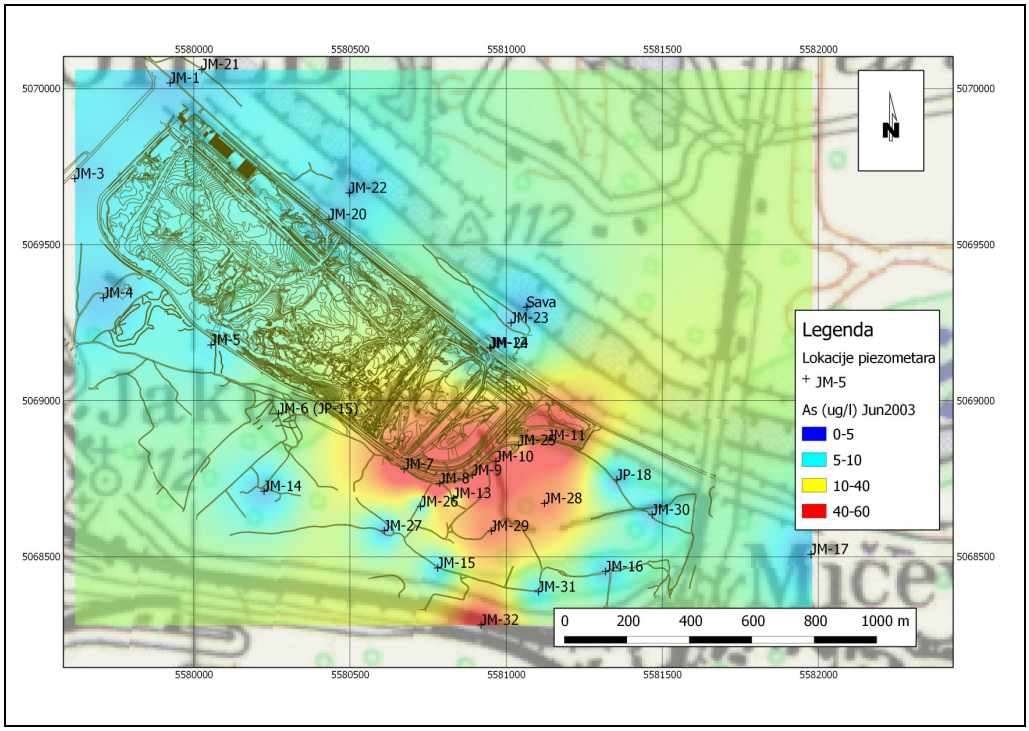
Otopljeni arsen može biti adsorbiran feri hidroksidima. As^{+5} se jače sorbira od As^{3+}. Fero hidroksidi su stabilni u širokom rasponu Eh-pH i ta činjenica ograničava mobilnost arsena. Ipak uvjeti koji reduciraju Fe^{3+} u Fe^{2+} i As^{5+} u As^{3+} povećavaju mobilnost arsena u okolišu, jer istaloženi fero hidroksidi postaju otopljeni feri hidroksidi. Na slikama 4.28, 4.29 i 4.30 prikazane su karte raspodjela koncentracija arsena koje se podudaraju sa kartama koncentracija otopljenog željeza i mangana u podzemnoj vodi.



Slika 4.28: *Karta koncentracija arsena (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec za vrijeme visokih voda u prosincu 2002*



Slika 4.29: *Karta koncentracija arsena (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec za vrijeme srednjih voda u ožujku 2003*



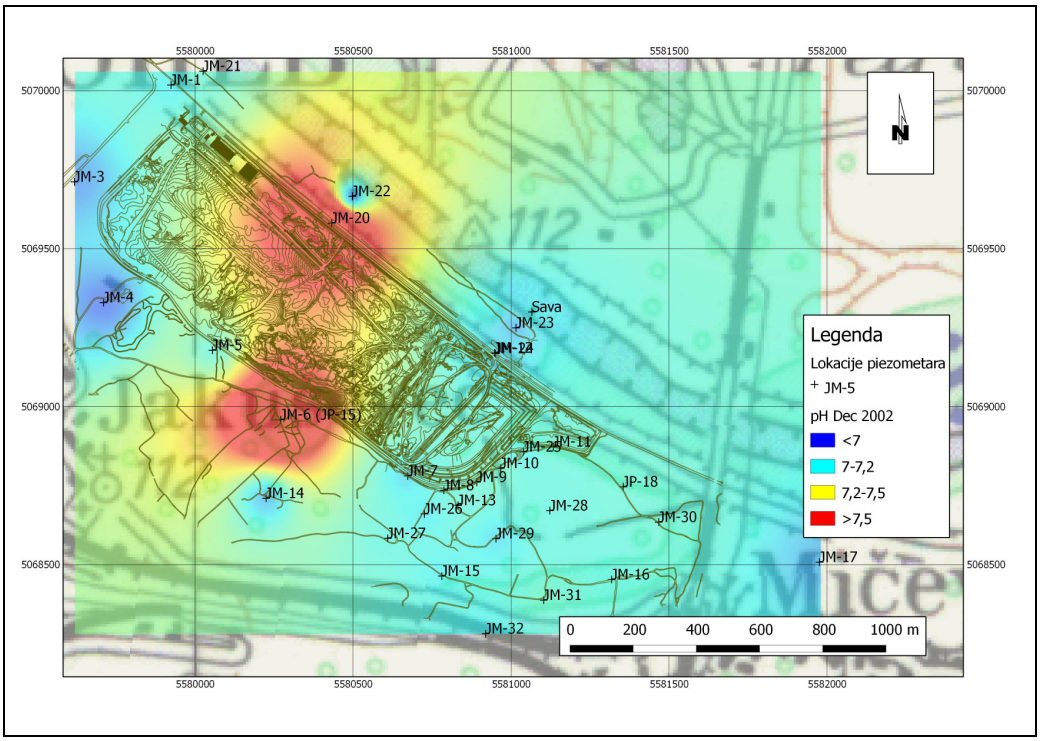
Slika 4.30: *Karta koncentracija arsena (µg/l) u podzemnoj vodi na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec za vrijeme niskih voda u lipnju 2003*

Olovo, kadmij, krom, cink

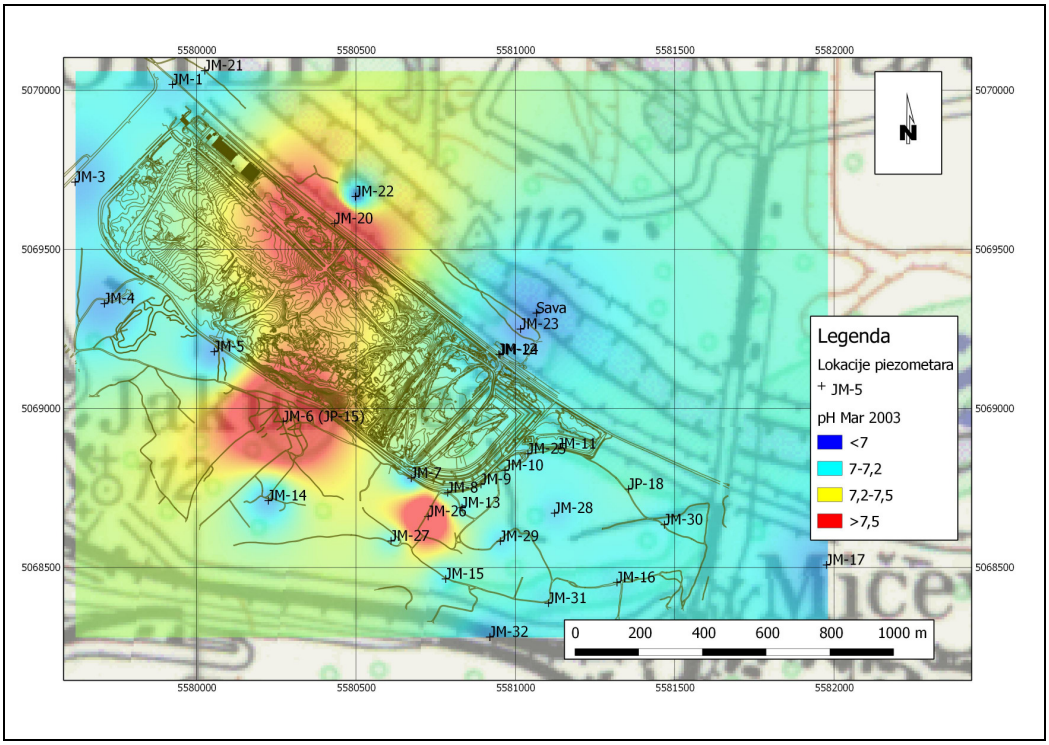
Osim željeza, mangana i arsena povremeno su se javljale i povećane koncentracije olova (Pb), kadmija (Cd) kroma (Cr) i cinka (Zn). Ovi metali nisu konstantno bili veći od propisanih maksimalno dozvoljenih koncentracija, ali njihova pojava također upućuje na utjecaj procjednih voda na podzemnu vodu, najčešće u neposrednoj blizini tijela odlagališta.

4.3.3. Fizikalni parametri

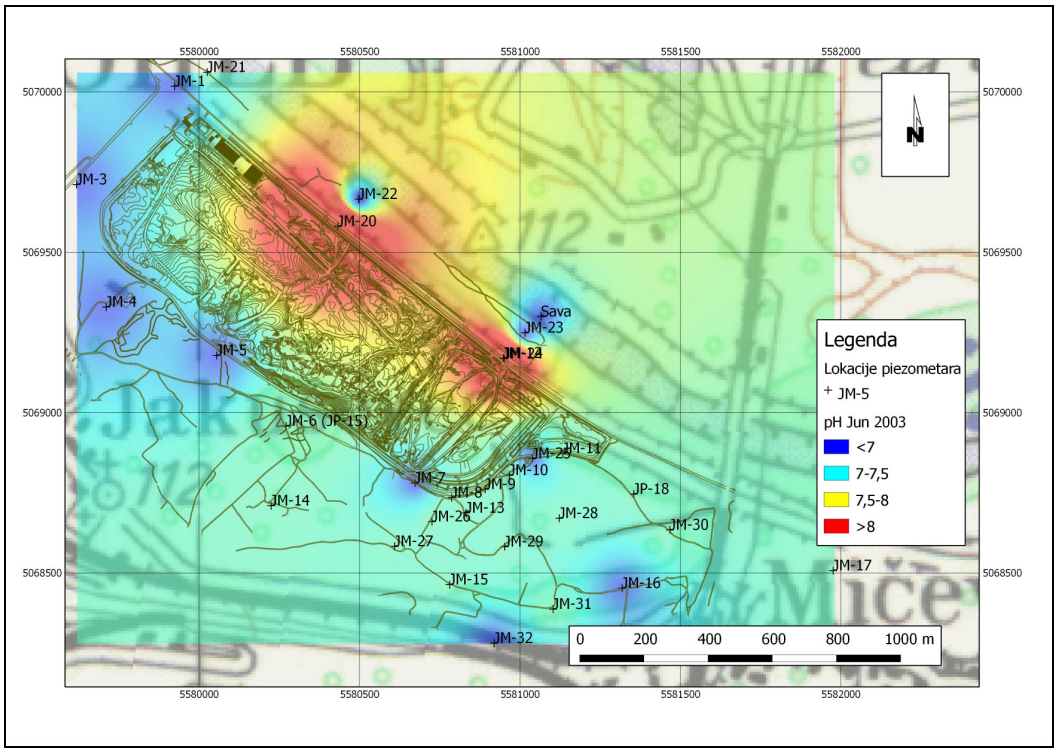
Određivanje fizikalno – kemijskih parametara po profilu vodenog stupca u piezometrima je bilo provedeno kako bi se utvrdio utjecaj odlagališta po profilu vodonosnika. Parametar koji je pokazivao najznačajnija odstupanja je bio specifična elektroprovodljivost. Raspadanje organskog otpada i različite kemikalije u odlagalištu otpada stvaraju različite otopljene organske spojeve (kisele tvari), koji procjeđivanjem iz tijela odlagališta dospijevaju u vodonosnik. U uvjetima visokih voda (Slika 4.31) uz jugozapadni rub odlagališta pH vrijednosti padaju ispod 7, a na jugoistočnoj strani pH vrijednosti prelaze u kiselo područje i padaju ispod 6,9. U vrijeme srednjih voda (Slika 4.32) najznačajniji pad pH vrijednosti podzemne vode je jugoistočno od odlagališta, a u vrijeme niskih voda (Slika 4.33) može se vidjeti da u centralnom i jugoistočnom dijelu odlagališta pH vrijednosti podzemne vode padaju u smjeru rijeke Save i južno od odlagališta. Izmjerene pH vrijednosti tijekom uzorkovanja uglavnom korespondiraju sa zonama gdje su zabilježena veća onečišćenja.



Slika 4.31: *pH vrijednosti podzemne vode na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u prosincu 2002. u uvjetima visokih voda*



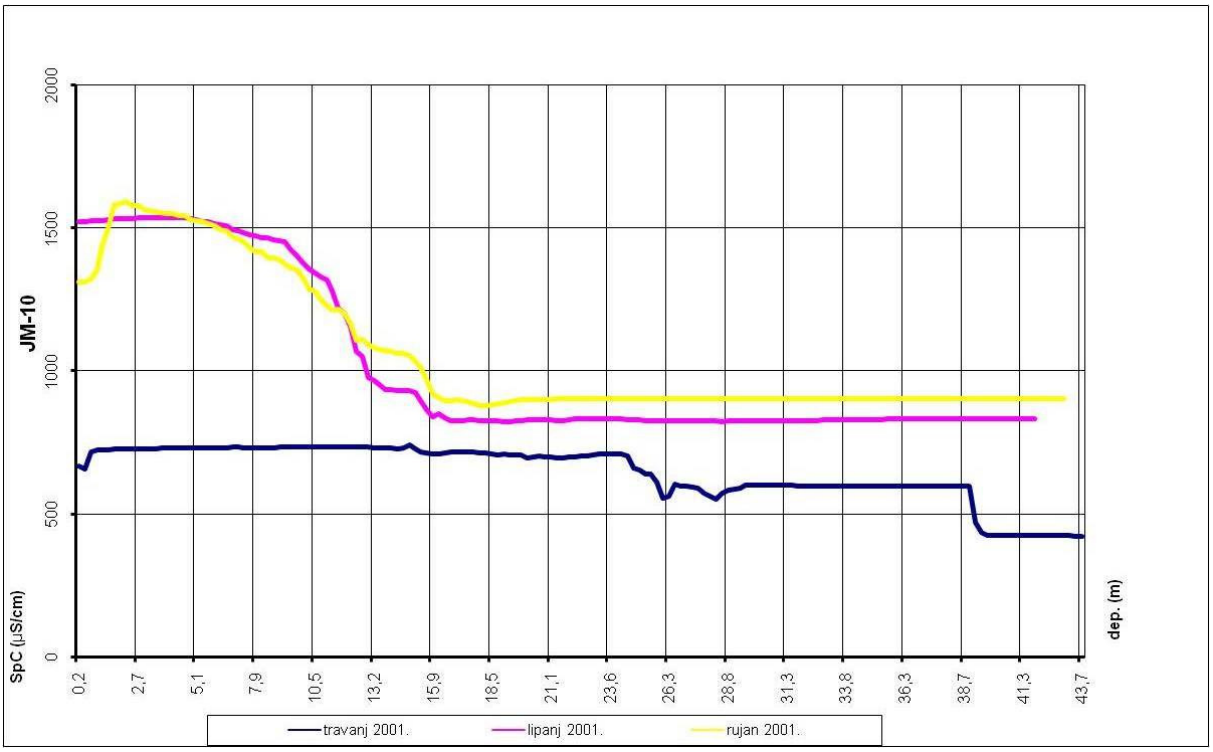
Slika 4.32: *pH vrijednosti podzemne vode na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u ožujku 2003. u uvjetima srednjih voda*



Slika 4.33: *pH vrijednosti podzemne vode na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec u lipnju 2003. u uvjetima niskih voda*

Razgradnjom organske materije ispod i nizvodno od odlagališta otpada raste koncentracija CO_2, odnosno koncentracija karbonatne kiseline, koja otapajući pretežito karbonatne minerale povećava elektroprovodljivost podzemne vode. Specifična elektroprovodljivost u uzvodnim piezometrima je bila između 400 i 450 µS/cm. U piezometrima smještenim neposredno uz tijelo odlagališta, vrijednosti specifične elektroprovodljivosti su bile znatno više uglavnom između 90 i 1500 µS/cm. Na slici 4.34 je prikazan raspored specifične elektroprovodljivosti u piezometru JM-10 smještenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta. Na početku uzorkovanja, u travnju 2001. godine specifična elektroprovodljivost je bila oko 700 µS/cm, koja je bila konstantna po cijelom vodenom stupcu. U lipnju i rujnu 2001. godine je uočen značajan porast specifične elektroprovodljivosti 1300 - 1500 µS/cm i to u površinskom dijelu stupca do dubine od približno 10 metara. Sličan trend je registriran i u drugim piezometrima koji se nalaze u neposrednoj blizini tijela odlagališta. Ovakvi pokazatelji upućuju na stratifikaciju onečišćenja po stupcu vode. Slična pretpostavka je dana i u radu (Nikolić i dr., 1996.). U više navrata je bilo obavljano uzorkovanje po profilu piezometara kako bi se utvrdila ta mogućnost. Koncentracije glavnih pokazatelja onečišćenja u podzemnoj vodi, posebno amonij ion su se u određenom broju slučajeva mijenjale sa dubinom.

Međutim procedure uzorkovanja nisu uključivale nikakvu izolaciju intervala uzorkovanja, nisu korišteni pakeri, niti su piezometri bili perforani u kraćim intervalima. Rezultati dakle ukazuju na mogućnost stratifikacije onečišćenja, ali ukoliko bi se ona utvrđivala, što bi bilo preporučljivo, potrebno je prilagoditi uzorkovanja na način da se stratifikacija može precizno definirati.



Slika 4.34: *Grafovi specifične elektroprovodljivosti u vodenom stupcu u piezometru JM-10 smještenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta*

4.3.4. Korelacija podataka

Tijekom monitoringa je primjećeno da su mnogi parametri ovisni jedni o drugima. Koeficijenti korelacije izražavaju mjeru povezanosti između dvije varijable u jedinicama neovisnima o konkretnim jedinicama mjere u kojima su iskazane vrijednosti varijabli. Postoji više koeficijenata korelacije koji se koriste u različitim slučajevima. U praksi se prilikom rada s linearnim modelima najčešće koristi Pearsonov koeficijent korelacije koji je korišten i u ovoj disertaciji. Pearsonov koeficijent korelacije koristi se u slučajevima kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Vrijednost Pearsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do –1 (savršena negativna korelacija).

Predznak koeficijenta nas upućuje na smjer korelacije – da li je pozitivna ili negativna, ali nas ne upućuje na snagu korelacije. Pearsonov koeficijent korelacije bazira se na usporedbi stvarnog utjecaja promatranih varijabli jedne na drugu u odnosu na maksimalni mogući utjecaj dviju varijabli. Označava se malim latiničkim slovom *r*.

Tijekom praćenja kemijskih analiza, uočeno je da sa porastom razine podzemne vode rastu koncentracije amonij iona, željeza i mangana.

Koeficijent korelacije razine podzemne vode sa koncentracijama amonij iona su bili niski i iznosili su 0,268, odnosno 26,8%, sa željezom 0,389 (38,9%) a sa manganom 0,130 (13%). Također je uočena negativna, ali također niska razina korelacije razina podzemne vode i kisika koja iznosi -0,195 (-19,5%).

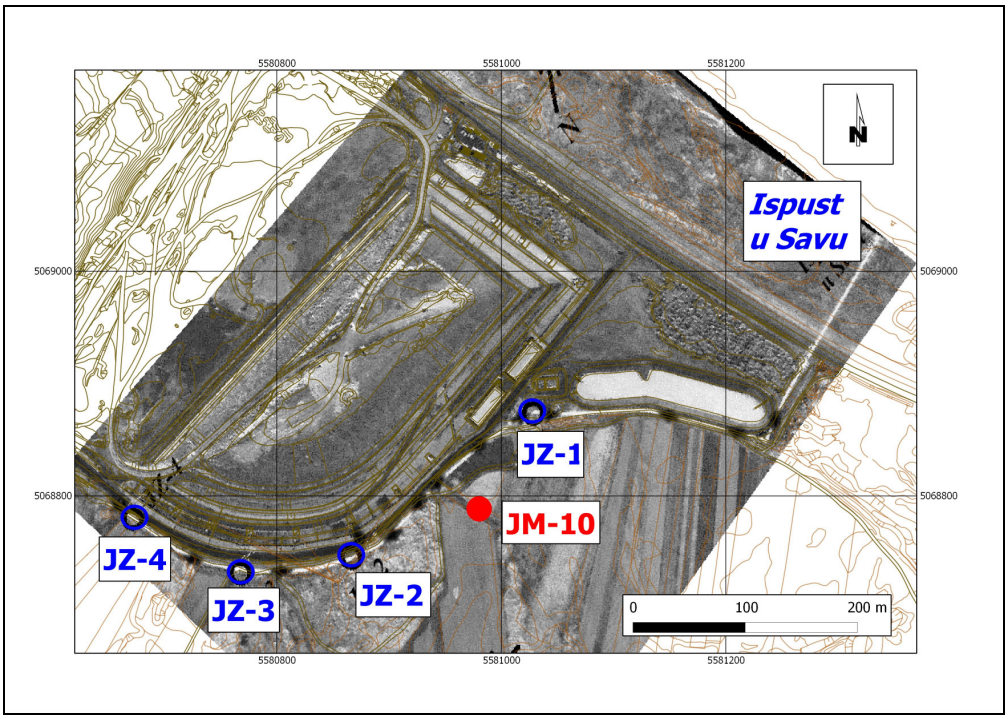
Obzirom da padom koncentracije kisika dolazi do porasta koncentracije željeza u podzemnoj vodi, kao i metala koji se vežu za željezo, napravljena je korelacija kisika sa željezom koja iznosi -0,217, sa manganom -0,357 i sa arsenom -0,426. Vidljivo je da kisik i pojedini metali imaju negativnu korelaciju međutim i u ovom slučaju je ona bila ispod 50%.

Koeficijenti korelacije su računati za pojedine metale u odnosu na željezo i to: Fe - Mn, Fe – Pb, Fe – Cd, Fe – Cr, Fe – Zn i Fe – As.

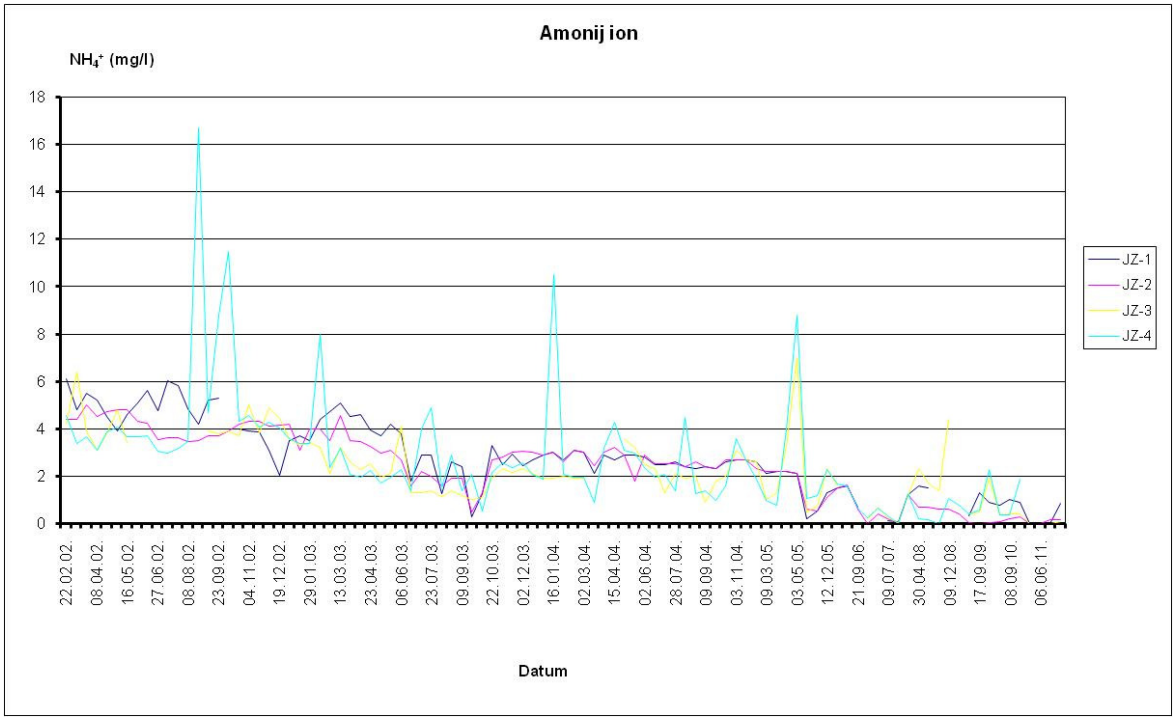
Pojedini metali su pokazivali visoke stupnjeve korelacije sa željezom, posebno olovo i kadmij koji su imali visoki stupanj korelacije (83% Cd i 81% Pb). Nešto manji stupanj korelacije je imao mangan (70%), dok se korelacija sa kromom arsenom i cinkom kretala oko 50%.

4.3.5. Interventni crpni sustav

Kako bi se spriječilo širenje preostalog zagađenja iz podzemlja i kako onečišćena podzemna voda ne bi onečišćivača područje nizvodno od odlagališta otpada izgrađen je interventni crpni sustav (Slika 4.35). Interventnim crpnim sustavom crpi se voda iz vodonosnika nizvodno od odlagališta Jakuševec i odvodi u Savu (Bagarić, 2002.).

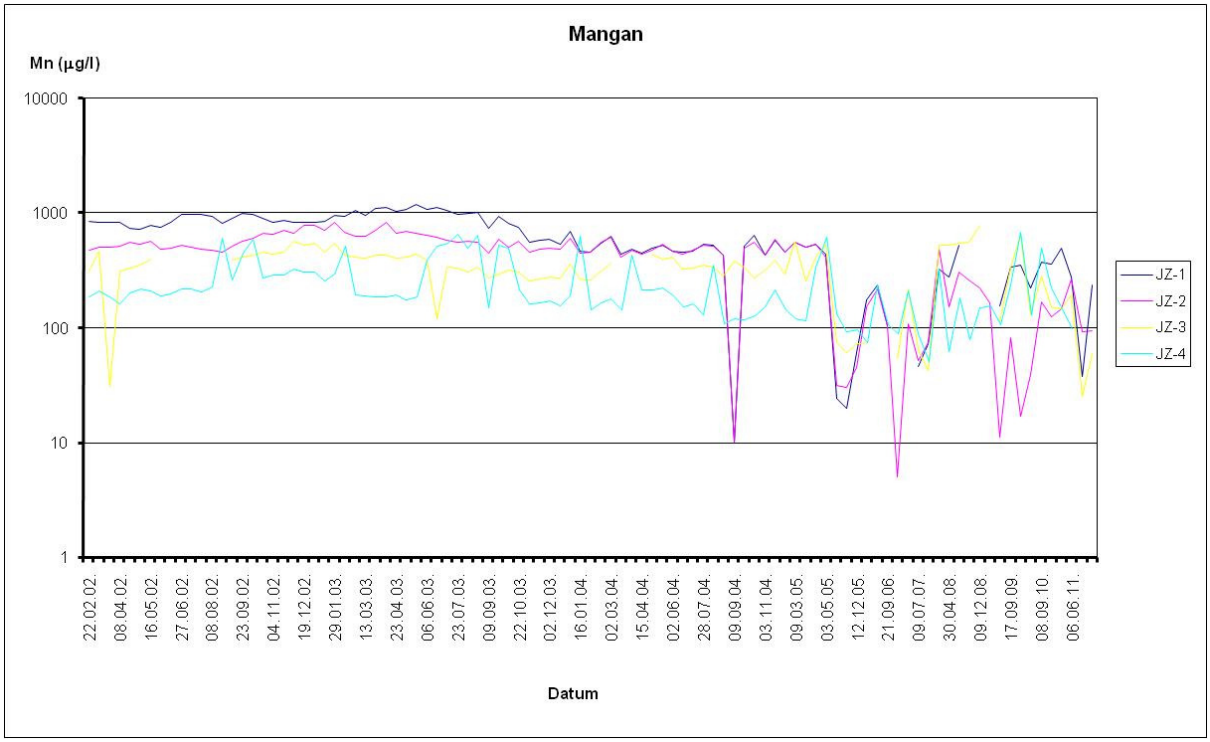


Slika 4.35: *Situacijska karta zdenaca Interventnog crpnog sustava s najbližim nizvodnim piezometrom JM-10*



Slika 4.36: *Koncentracije amonijaka u uzorcima podzemne vode iz zdenaca Interventnog crpnog sustava tijekom razdoblja praćenja*

Slika 4.37: *Koncentracije željeza u uzorcima podzemne vode iz zdenaca Interventnog crpnog sustava tijekom razdoblja praćenja*



Slika 4.38: *Koncentracije mangana u uzorcima podzemne vode iz zdenaca Interventnog crpnog sustava tijekom razdoblja praćenja*

Tijekom rada interventnog crpnog sustava uočen je trend opadanja koncentracija amonij iona u svim zdencima (Slika 4.36). U zdencu JZ-1 koji se nalazi najbliže rijeci Savi zabilježen je i trend opadanja koncentracija željeza (Slika 4.37), dok je u ostalim zdencima koji se nalaze dalje u zaobalju koncentracija željeza ostala jednaka ili je čak zabilježen prosječni porast. U sva četiri zdenca zabilježen je trend pada koncentracija mangana (Slika 4.38).

Prema ovim rezultatima, kakvoća vode u utjecajnom području ICS-a pokazuje trend poboljšanja. Iako rezultati monitoringa upućuju na to da rad ICS-a pozitivno utječe na poboljšanje kakvoće vode to je još uvijek nedovoljno da bi se moglo sa sigurnošću potvrditi jer se pratila kakvoća podzemne vode samo u piezometrima koji se nalaze nizvodno od ICS-a. U ovom konkretnom slučaju bilo bi potrebno organizirati monitoring kojim bi se pratio samo rad ICS-a. Za monitoring ICS-a bi trebalo izraditi piezometre uzvodno i nizvodno od zdenaca, po mogućnosti u razini pumpi. Usporedbom dobivenih rezultata kakvoće vode uzvodno (prije zone utjecaja ICS-a) i nizvodno bi se mogao kvantificirati utjecaj ICS-a i ocijeniti uspješnost njegovog rada.

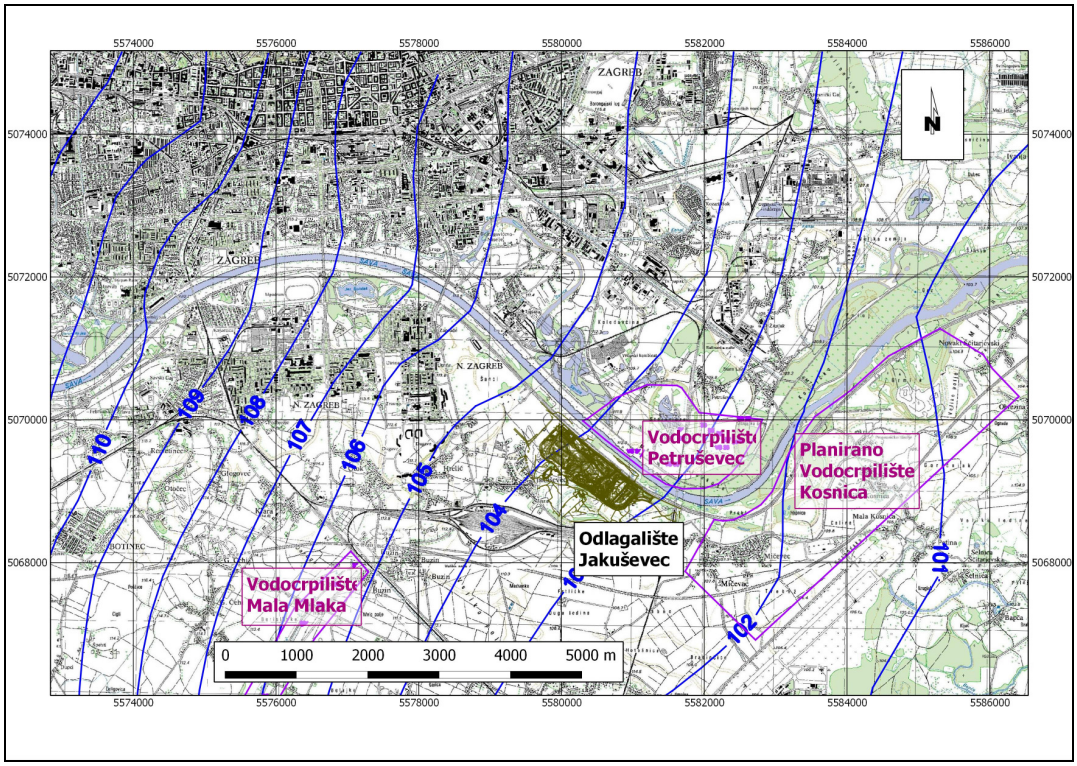
5. REZULTATI

5.1. Prevladavajući smjerovi gibanja podzemne vode na istraživanom području

Podaci o razinama podzemne vode su bili sagledavani u uvjetno rečeno regionalnom mjerilu, odnosno, na širem području oko odlagališta otpada Jakuševec kako bi se mogao vidjeti utjecaj rijeke Save i vodnih stepenica TE-TO sagrađenih 1993. godine. Šire područje lokacije je bilo razmatrano kako bi se utvrdilo kretanje oblaka onečišćenja i potencijalna područja koja bi mogao ugroziti na području Zagrebačkog vodonosnika. Osim šireg područja, razmatrana je i mikrolokacija odlagališta tijekom razdoblja monitoringa kako bi se mogli odrediti smjerovi kretanja onečišćenja nakon procjeđivanja iz odlagališta. Analiza smjerova toka podzemne vode podijeljena je u dva glavna dijela a to su razdoblje prije izgradnje vodnih stepenica TE-TO na Savi od 1965. do 1993. godine i nakon izgradnje vodnih stepenica TE-TO na Savi. Prije izgradnje vodnih stepenica TE-TO, razine podzemne vode su od 1950. g. na području zagrebačkog vodonosnika opadale sve do kraja osamdesetih godina u prosjeku 1-2 m svakih 10 godina, što je bio trend i u razdoblju od 1965. do 1993. Prije izgradnje vodnih stepenica TE-TO, u uvjetima niskih i srednjih razina podzemnih voda, na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec, smjerovi toka su bili paralelni sa tokom rijeke Save, odnosno u smjeru jugoistoka, dok je nakon približno 5 kilometara smjer toka podzemne vode zakretao prema istoku. Tijekom najnižih razina podzemne vode, uočljivo je zakretanje smjera toka prema jugu, uz značajno prihranjivanje podzemlja iz rijeke Save (Slika 5.1 i 5.2). U uvjetima visokih razina podzemne vode, smjer toka na lokaciji odlagališta ide prema istoku, odnosno uočava se značajno prihranjivanje rijeke Save podzemnom vodom. Nakon izgradnje vodnih stepenica TE-TO uočene su izmjene u obrascu toka podzemne vode. Izgradnjom vodne stube vodostaj Save se podigao za nešto više od 4 m, a time su se podigle i razine podzemne vode s obzirom da Sava predstavlja dominantni izvor napajanja vodonosnog sloja. Na području vodnih stepenica dolazi do intenzivnog prihranjivanja podzemlja iz Save, što je posebno uočljivo u razdoblju visokih voda, a smjer toka podzemne vode na lokaciji odlagališta je paralelan sa tokom Save. Oko kilometar od odlagališta, uočeno je lagano skretanje toka u smjeru istoka, a slični smjerovi toka su zabilježeni i u uvjetima srednjih voda.

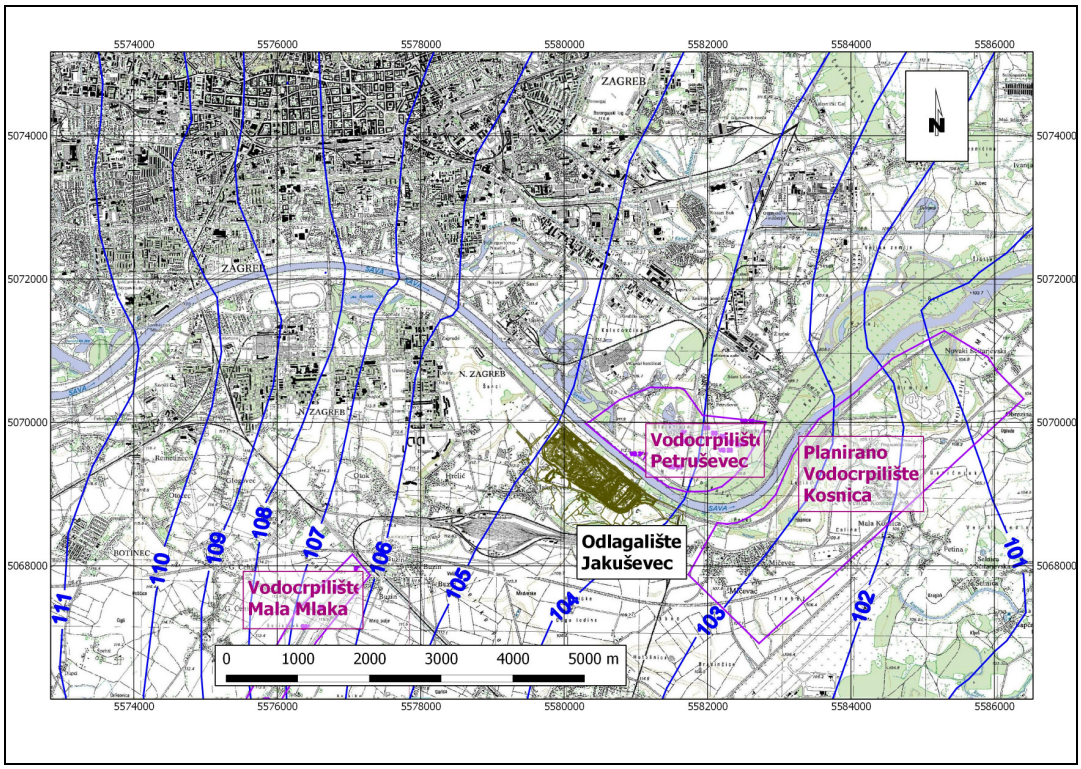
U uvjetima visokih voda na mikrolokaciji odlagališta je registrirano intenzivnije prihranjivanje podzemlja iz rijeke Save i zakretanje smjera toka podzemne vode prema jugu, a oko 1 kilometar u zaobalju smjer toka je prema jugoistoku (Slika 5.5).

U uvjetima niskih i srednjih razina podzemnih voda, na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec, smjerovi toka su bili paralelni sa tokom rijeke Save, odnosno u smjeru jugoistoka, dok je nakon približno 5 kilometara smjer toka podzemne vode zakretao prema istoku (Slika 5.1, 5.2).



Slika 5.1: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 08.08.1991. godine, u razdoblju niskih voda, prije rada vodocrpilišta Petruševec i sanacije vodnih stepenica TE-TO 1993. godine*

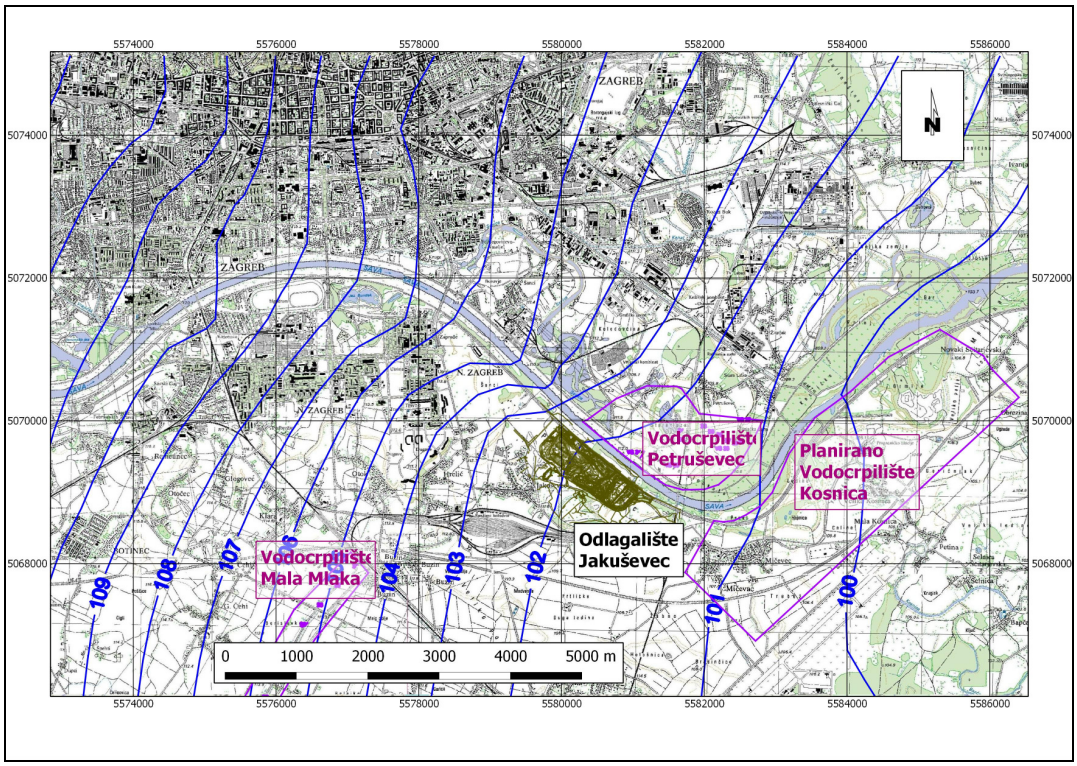
Tijekom visokih vodostaja rijeke Save, uočljivo je zakretanje smjera toka prema jugu, uz njezino značajno prihranjivanje podzemlja.



Slika 5.2: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 19.12.1983. godine, u razdoblju srednjih voda, prije rada vodocrpilišta Petruševec i izgradnja vodni stepenica TE-TO*

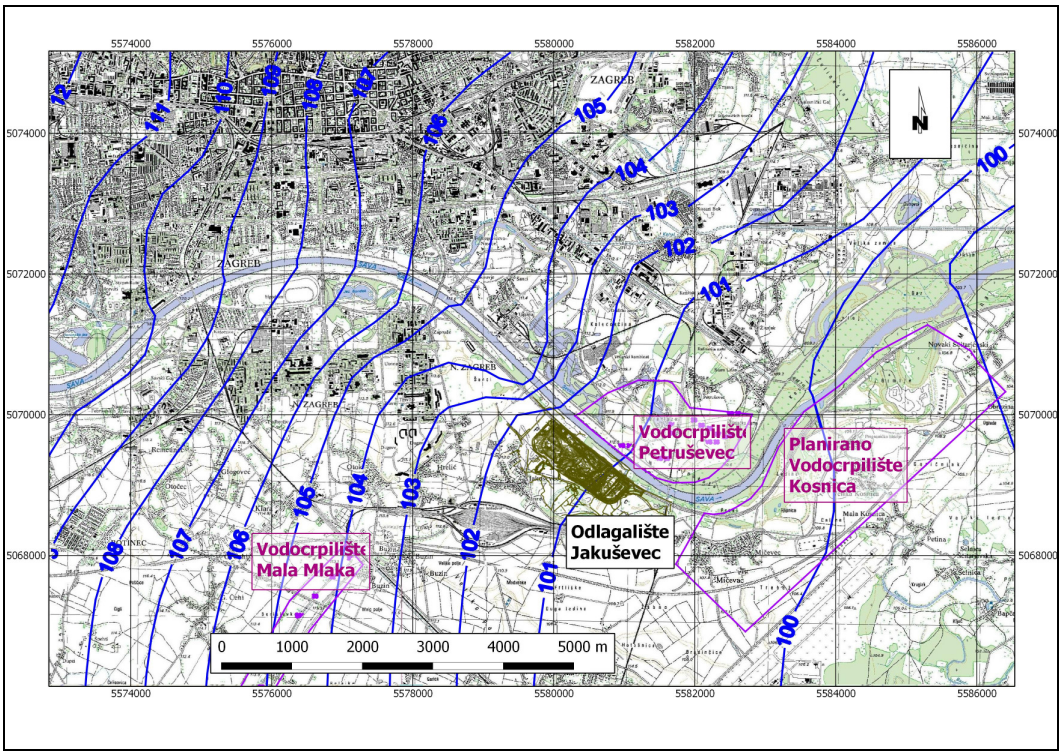
U uvjetima visokih razina podzemne vode, a niskih razina rijeke Save, smjer toka na lokaciji odlagališta ide prema istoku, odnosno uočava se značajno prihranjivanje rijeke Save podzemnom vodom. Iz navedenog je vidljivo da su prije izgradnje vodnih stepenica, dominantni smjerovi bili orijentirani paralelno s tokom rijeke Save.

Zbog pojave niskih vodostaja koje su uzrokovale obustavu rada TE-TO Zagreb, kod spomenutog postrojenja na rijeci Savi, je 1983. g. izgrađen prvi prag od gabiona. Kasnijim postupnim rušenjima pojedinih dijelova spomenutog praga ponovno je ugrožena opskrba grada toplinskom energijom. Uslijedile su sanacije. Prva sanacija je bila krajem 1986. g., druga 1989. g. i posljednja u lipnju 1993. g. nakon koje je stanje uzvodnih i nizvodnih elemenata vodne stube proglašeno stabilnim (Čipčić, 2008.). Izgradnjom vodne stube vodostaj Save se podigao za nešto više od 4 m, a time su se podigle i razine podzemne vode s obzirom da Sava predstavlja dominantni izvor napajanja vodonosnog sloja. Na kartama hidroizohipsa, vidljivo je da na području vodnih stepenica dolazi do intenzivnog prihranjivanja podzemlja iz Save, što je posebno uočljivo u razdoblju visokih voda (Slika 5.3).



Slika 5.3: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 26.08.2004. godine, u razdoblju visokih voda tijekom razdoblja monitoringa*

U razdoblju niskih voda u ljetnom periodu 2003. godine (kolovoz-rujan) tijekom terenskog obilaska lokacije uočljivo je prihranjivanje rijeke Save iz vodonosnika duž vrelne plohe oko 100 metara sjeverno od piezometra JM-21. Na karti hidroizohipsa (Slika 5.4) za isto razdoblje to nije vidljivo, a oko kilometar od odlagališta, uočeno je lagano skretanje toka u smjeru istoka.



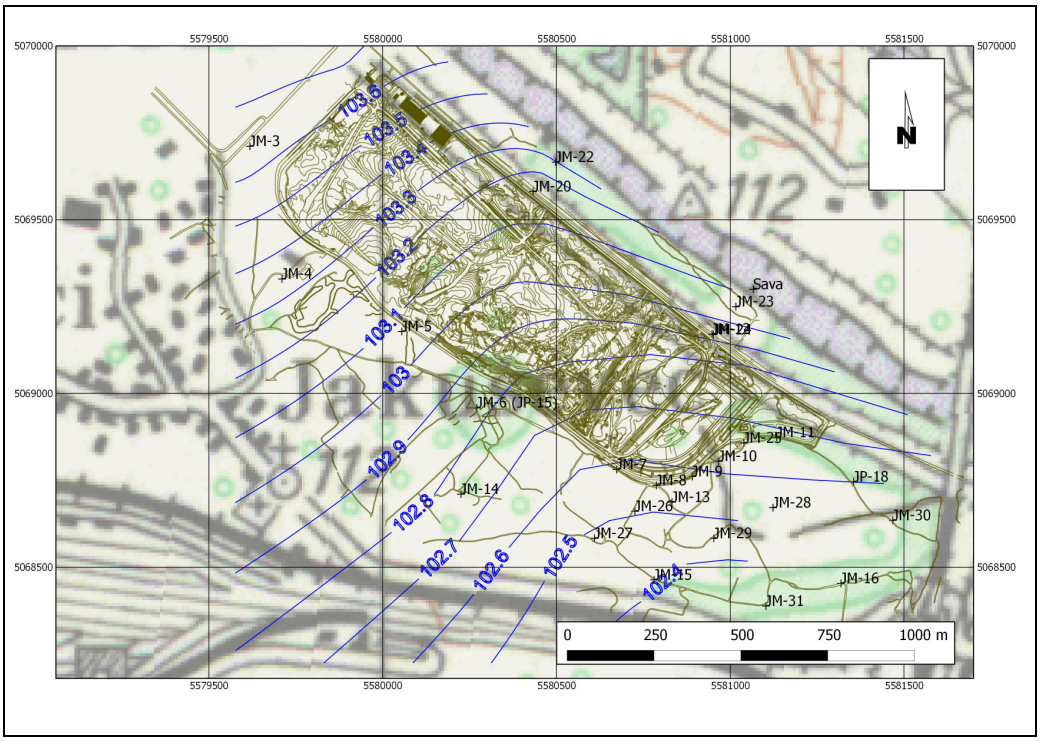
Slika 5.4: *Razine podzemne vode na širem području odlagališta Jakuševec, registrirane 01.09.2003. godine, u razdoblju najnižih zabilježenih razina tijekom razdoblja monitoringa*

Na mikrolokaciji odlagališta Jakuševec su obrađeni rezultati praćenja razina podzemne vode u razdoblju monitoringa od 2001. do 2011. godine. Najintenzivnije praćenje razina podzemnih voda na mikrolokaciji je bilo u razdoblju od 2001. do 2005. godine, kada su se razine podzemne vode pratile ručno na 31 piezometru, od kojih je 10 imalo limnigrafe. Također je određivan i nivo rijeke Save uz krajnji jugoistočni rub odlagališta. Ovo razdoblje je s pogleda monitoringa bilo i najzanimljivije iz razloga što su u njemu bile zabilježene najniže razine podzemne vode i među najvišim razinama podzemne vode, odnosno najviše razine u periodu rada kompletne opažačke mreže piezometara. Najviše razine su bile zabilježene u travnju 2001. godine, međutim kartografski su obrađeni podaci iz prosinca 2002. godine, jer su tada bile zabilježene najviše razine u periodu rada kompletne opažačke mreže. Najniže podzemne vode u razdoblju praćenja su bile registrirane na prijelazu iz ljetnog u jesensko razdoblje 2003. godine. Razlika između maksimalnih i minimalnih vrijednosti razina podzemne se približno kreću između 3 do 4 metra. Razlike u vrijednostima u piezometrima bliže rijeci Savi i bliže interventnom crpnom sustavu su izraženije od razlika u piezometrima koji su malo dalje u zaobalju. U razdobljima srednjih, te najviših i najnižih razina podzemne vode, vidljivo je da je tok podzemne vode na mikrolokaciji generalno usmjeren u smjeru jugoistoka, odnosno paralelno toku rijeke Save.

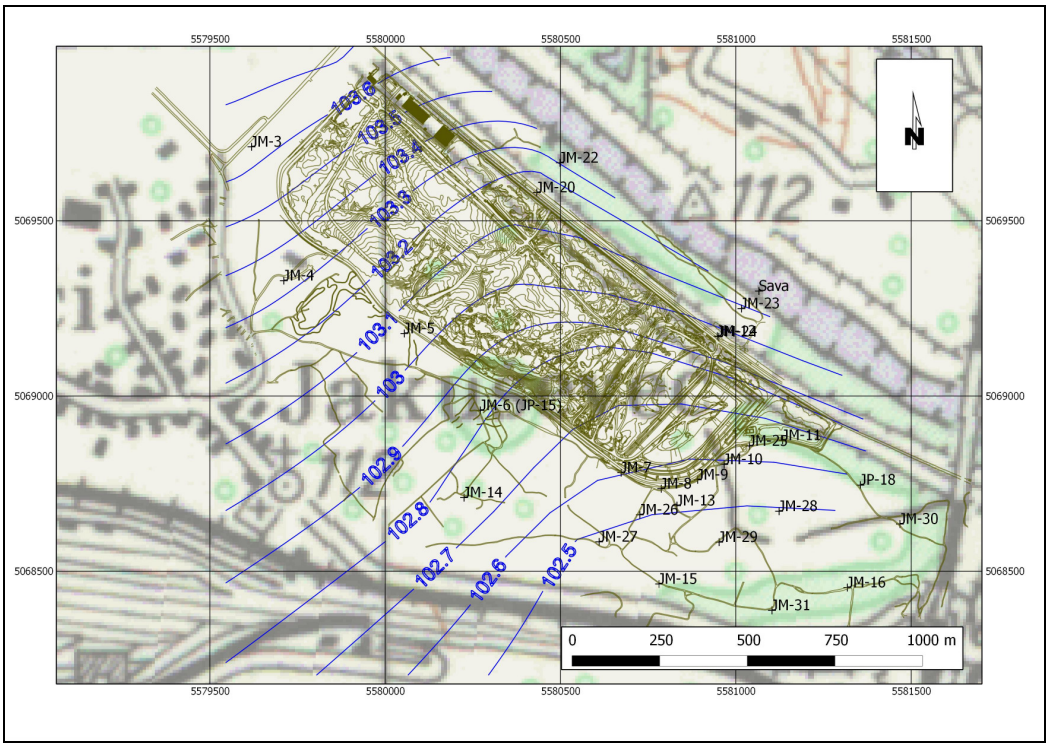
U piezometrima uz samu rijeku Savu, smjer toka je bio usmjeren skoro prema jugu. Navedeno znači da je Sava na području opažanja cijelo vrijeme mjerenja prihranjivala podzemlje. Skretanje toka prema jugu je posebno bilo uočljivo u razdobljima naglog porasta vodostaja rijeke Save. Kako bi se odredio odnos razina vode rijeke Save na pojedinim dijelovima i razina podzemne vode, napravljene su usporedbe ručno izmjerenih vrijednosti u piezometrima smještenim u inundacijskom pojasu rijeke Save (JM-21, JM-22 i JM-23) s piezometrima smještenim na nasipu (JM-1, JM-20 i JM-12). Usporedbe su rađene po parovima piezometara i to sjeverozapad (piezometri JM-1 i JM-21), središnji dio (piezometri JM-20 i JM-22) i jugoistočni dio (piezometri JM-12 i JM-23).

Grafička obrada susjednih piezometara je pokazala da su tijekom cijelog vremena mjerenja, razine podzemne vode uglavnom bile približno jednake za svaki par piezometara. Ipak u središnjem i sjeverozapadnom dijelu nasipa smještenog uz odlagalište, za vrijeme najnižih razina podzemne vode, uočeno je da su podzemne vode u to vrijeme prihranjivale rijeku Savu. U piezometru smještenom u inundacijskom pojasu u jugoistočnom dijelu, razna podzemne vode je cijelo vrijeme bila nešto viša od razina podzemne vode u piezometru smještenom na nasipu, odnosno, rijeka Sava je u tom dijelu cijelo vrijeme prihranjivala podzemlje, što je bilo vidljivo i na limnigramima.

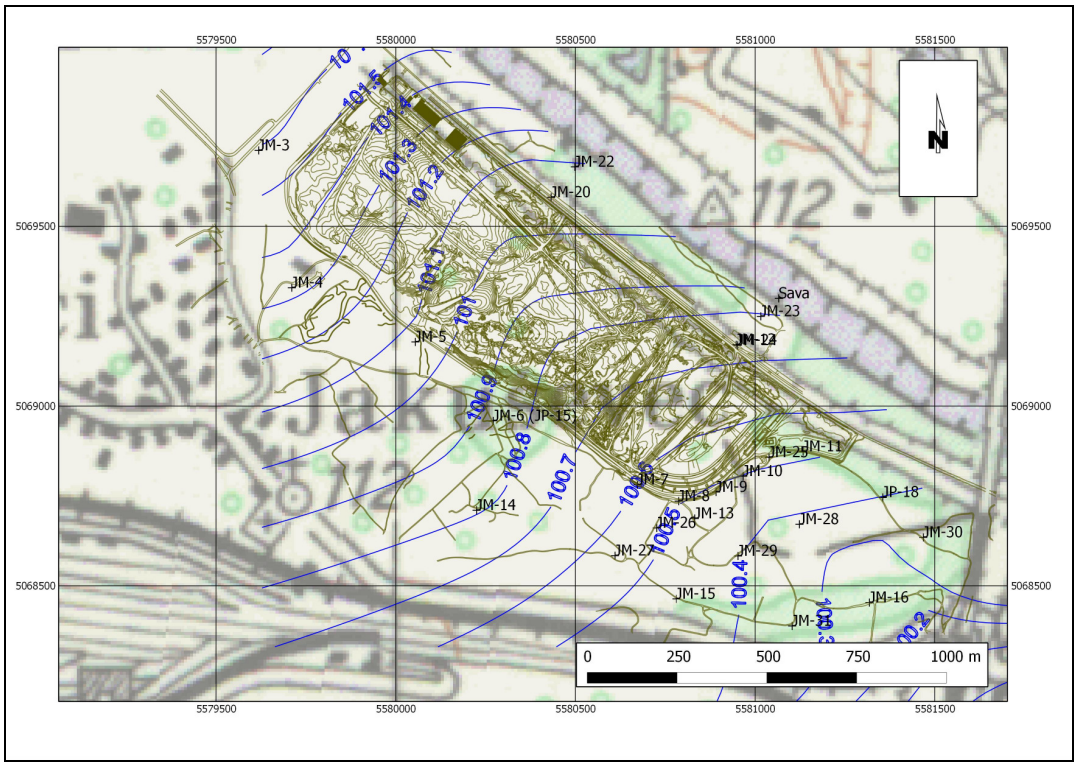
U nastavku su dane karte hidroizohipsa za jednu hidrološku godinu od prosinca 2002. godine do rujna 2003. godine (Slike 5.5; 5.6 i 5.7). Ovo razdoblje je odabrano jer pokriva najviše izmjerene razine podzemne vode na mikrolokaciji, u vremenu kada je u funkciji bila kompletna piezometarska mreža (prosinac, 2002.), srednje vode (ožujak, 2003.) i najniže izmjerene razine podzemne vode na mikrolokaciji (rujan, 2003.). Na kartama hidroizohipsa, vidljivo je da je tok podzemne vode na mikrolokaciji generalno usmjeren u smjeru jugoistoka u odnosu na tok rijeke Save. Za vrijeme naglog porasta vodostaja u Savi smjer toka podzemne vode zaokreće prema jugu uslijed pojačanog prihranjivanja podzemlja iz rijeke.



Slika 5.5: *Razine podzemne vode na odlagalištu 'Jakuševec' za vrijeme visokih voda, prosinac 2002. (Vasiljević, Mihaljinec, 12/2002.)*

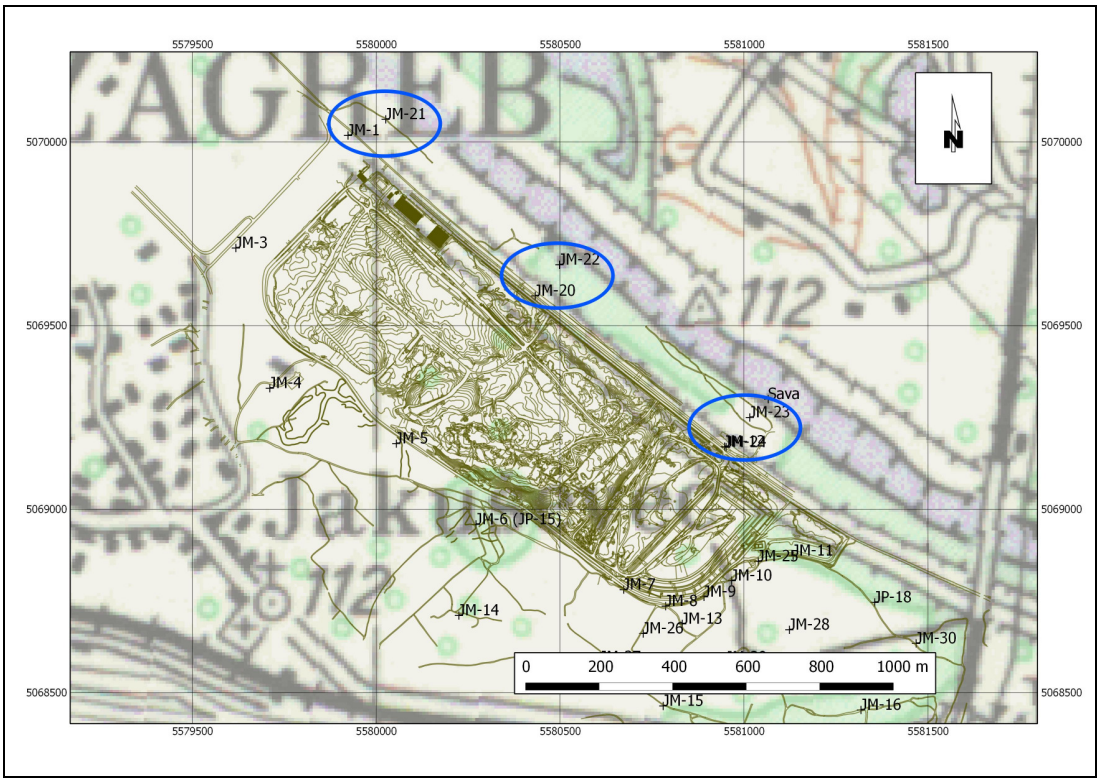


Slika 5.6: *Razine podzemne vode na odlagalištu 'Jakuševec' za vrijeme srednjih voda, ožujak 2003. (Vasiljević, Mihaljinec, 04/2003.)*



Slika 5.7: *Razine podzemne vode na odlagalištu 'Jakuševec' za vrijeme niskih voda, rujan 2003. (Vasiljević, Mihaljinec, 09/2003.)*

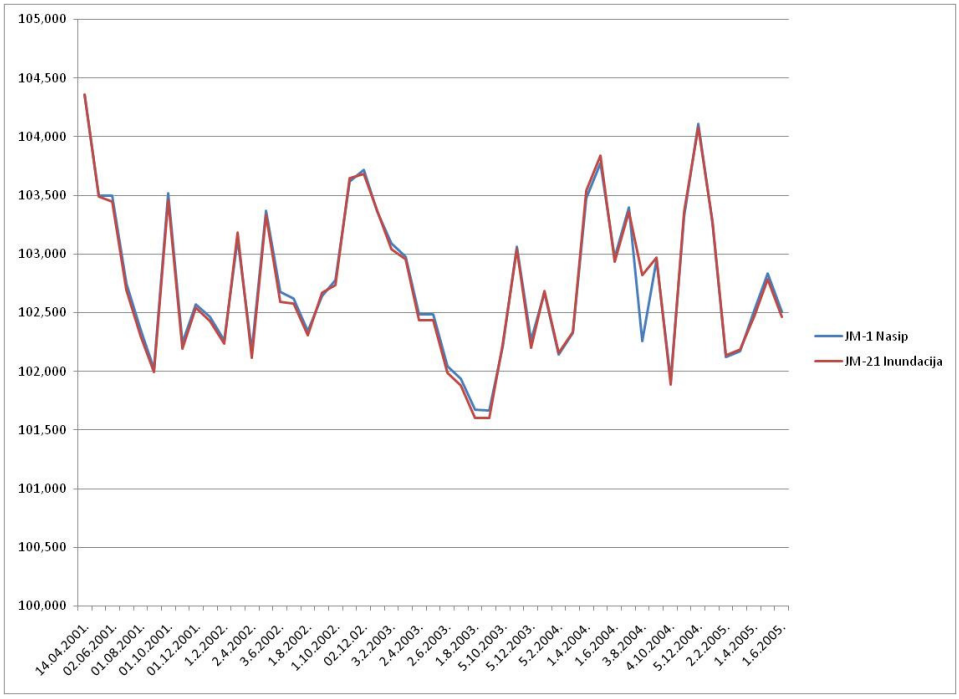
Kako bi se odredio odnos razina vode rijeke Save na pojedinim dijelovima i razina podzemne vode, napravljene su usporedbe ručno izmjerenih vrijednosti u piezometrima smještenim u inundacijskom pojasu rijeke Save (JM-21, JM-22 i JM-23) s piezometrima smještenim na nasipu (JM-1, JM-20 i JM-12) (Slika 5.8). Usporedbe su rađene po parovima piezometara i to sjeverozapad (piezometri JM-1 i JM-21), središnji dio (piezometri JM-20 i JM-22) i jugoistočni dio (piezometri JM-12 i JM-23) (Slika 5.9, 5.10., 5.11.).



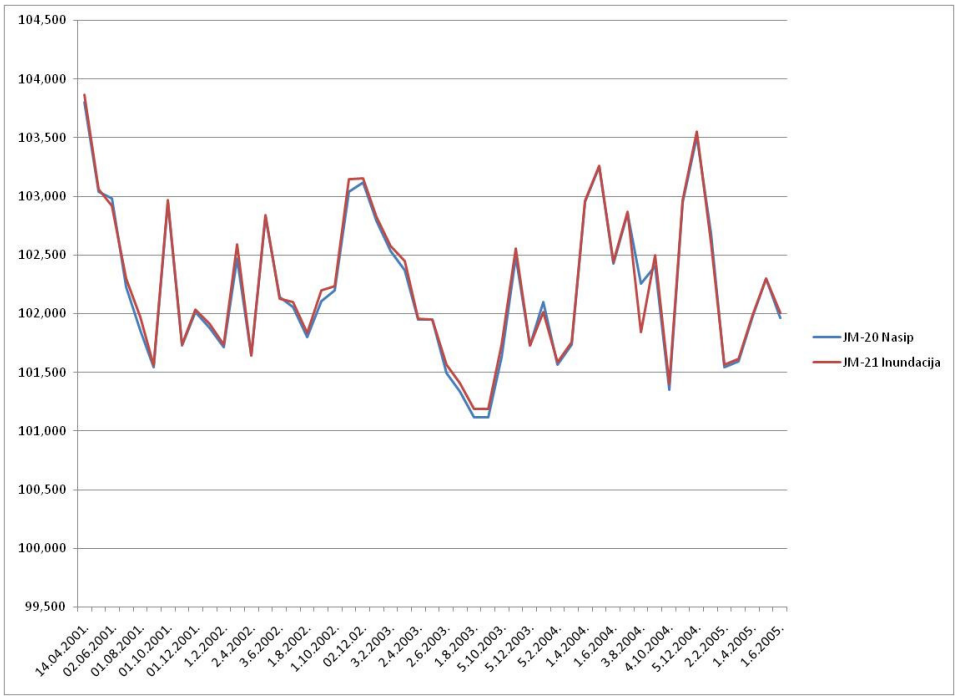
Slika 5.8: *Lokacije piezometara na mikrolokaciji odlagališta otpada Jakuševec plavim kružnicama su označeni analizirani parovi piezometara.*

Na grafičkim prikazima je vidljivo da su tijekom cijelog vremena mjerenja, razine podzemne vode uglavnom bile približno jednake za svaki par piezometara. Zanimljiva su međutim odstupanja registrirana tijekom najviših i najnižih razina podzemne vode. Za vrijeme najviših razina podzemne vode, razina podzemne vode u piezometrima smještenim u inundacijskom pojasu je bila nešto viša od razina podzemne vode u piezometrima smještenim na nasipu, odnosno u tim uvjetima rijeka Sava je prihranjivala podzemlje (Slika 5.9, 5.10 i 5.11).

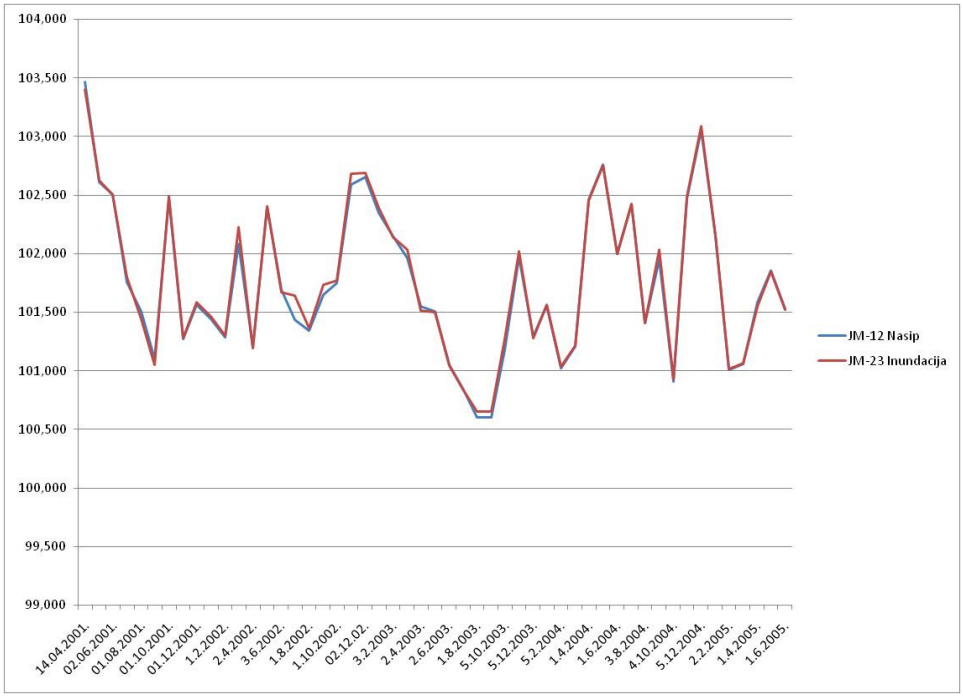
Za vrijeme najnižih razina podzemne vode, razina podzemne vode u piezometrima smještenim u inundacijskom pojasu u sjeverozapadnom i središnjem dijelu je bila nešto niža od razina podzemne vode u piezometrima smještenim na nasipu, odnosno, podzemne vode su prihranjivale rijeku Savu na tom dijelu. U piezometru smještenom u inundacijskom pojasu u jugoistočnom dijelu, razina podzemne vode je i dalje bila nešto viša od razina podzemne vode u piezometru smještenom na nasipu, odnosno, rijeka Sava je u tom dijelu i dalje prihranjivala podzemlje.



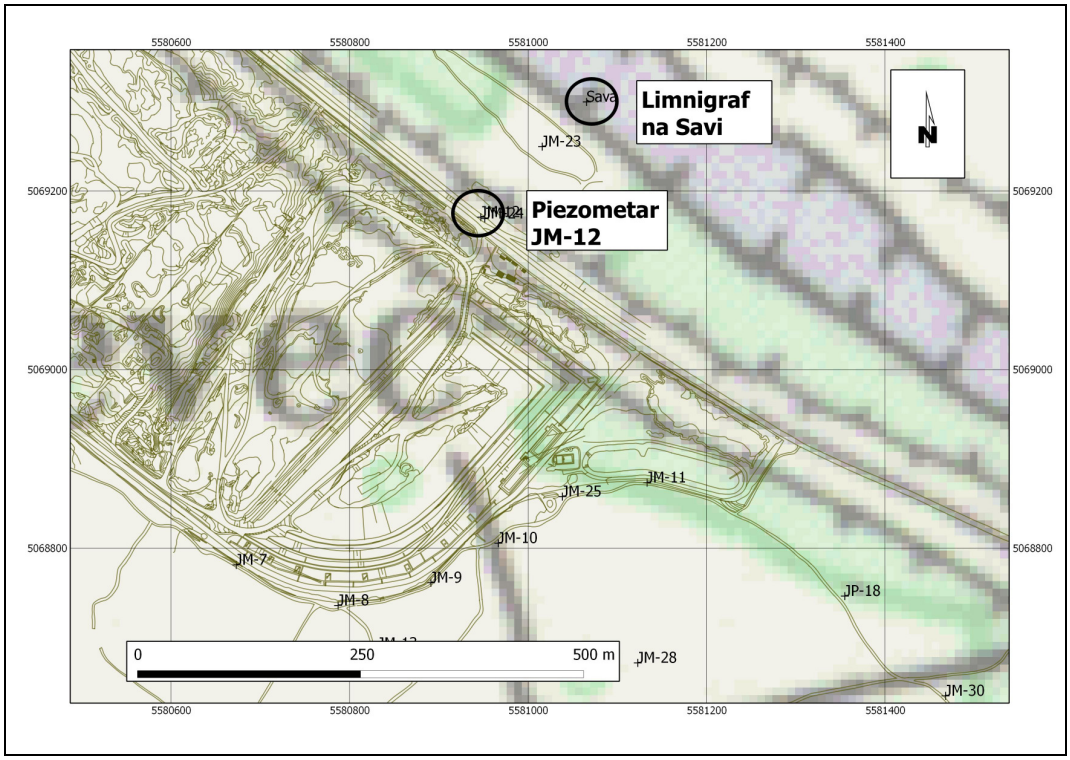
Slika 5.9: *Prikaz ručno izmjerenih vrijednosti razine podzemnih voda u piezometrima u inundacijskom pojasu rijeke Save i na nasipu, sjeverozapadni dio područja odlagališta Jakuševec*



Slika 5.10: *Prikaz ručno izmjerenih vrijednosti razine podzemnih voda u piezometrima u inundacijskom pojasu rijeke Save i na nasipu, središnji dio područja odlagališta Jakuševec*

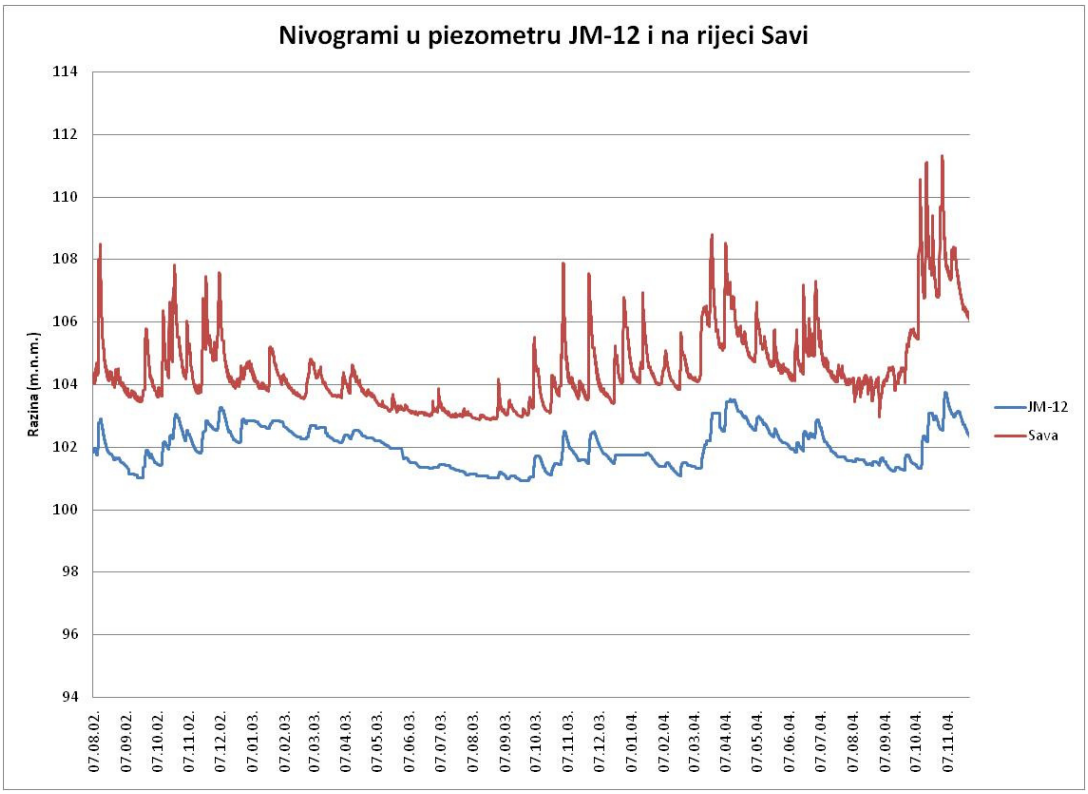


Slika 5.11: *Prikaz ručno izmjerenih vrijednosti razine podzemnih voda u piezometrima u inundacijskom pojasu rijeke Save i na nasipu, jugoistočni dio područja odlagališta Jakuševec*



Slika 5.12: *Lokacija limnigrafa na Savi i najbližeg piezometra JM-12 s limnigrafskim mjerenjem razine vode*

Na slici 5.13 je dana usporedba limnigrama nivoa vode rijeke Save i najbližeg piezometra u zaobalju smještenog na nasipu (JM-12). Na lokacijama mjerenja (Slika 5.12) je vidljivo da je nivo vode rijeke Save konstantno bio viši od nivoa vode u piezometru. To potvrđuje tvrdnju da rijeka Sava, na jednom dijelu lokacije odlagališta dominantno prihranjuje podzemlje, međutim, potrebno je naglasiti da su samo na ovom mjestu vršena usporedna mjerenja, a na ostalom dijelu su razlike dobivene interpolacijom i praćenjem hidroizohipsa dobivenih mjerenjem. Tijekom terenskog obilaska uzvodnog područja u lipnju 2003., uočeno je izviranje podzemne vode uz rijeku Savu, što potvrđuje tezu da u sjeverozapadnom dijelu podzemlje prihranjuje rijeku Savu u uvjetima niskih voda.

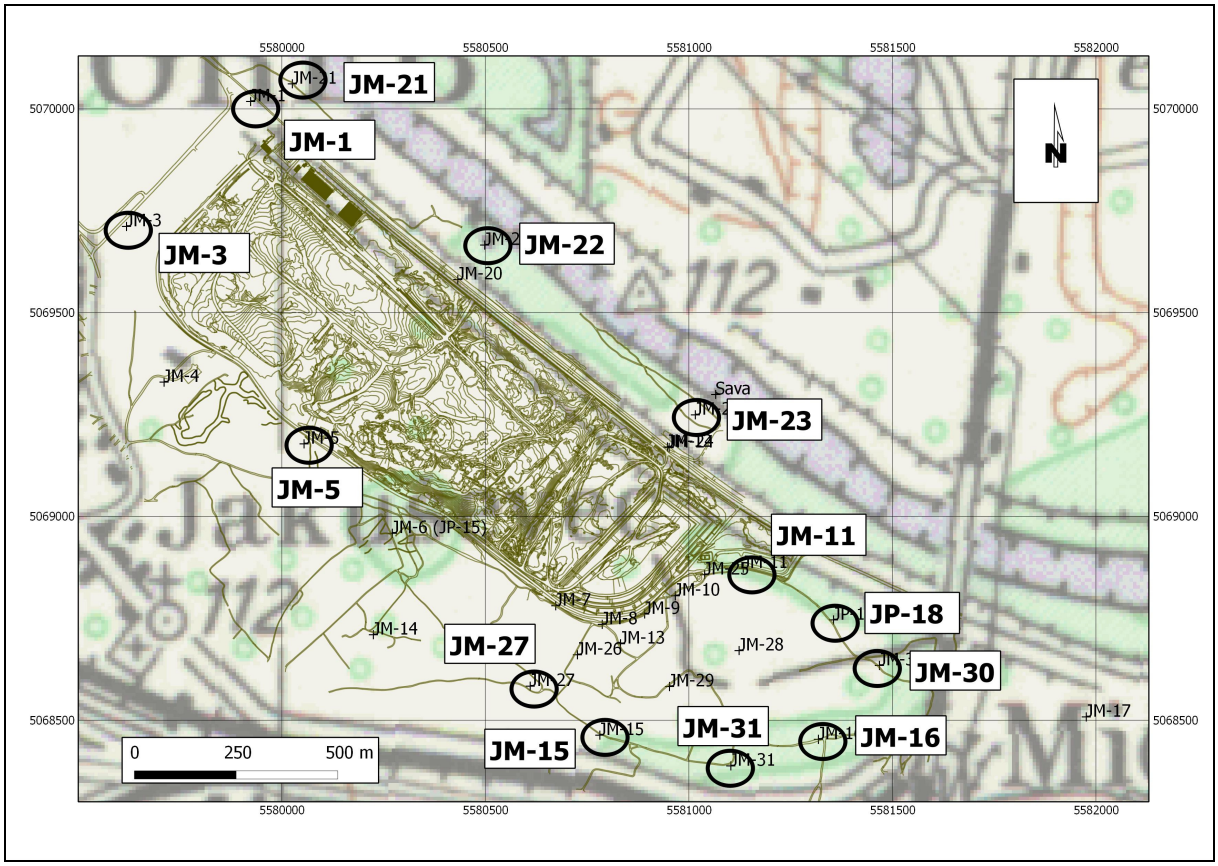


Slika 5.13: *Usporedba nivograma dobivenih mjerenjem u piezometru JM-12 i na rijeci Savi na jugoistočnom dijelu područja odlagališta Jakuševec*

Pošto se iz grafike ne može pouzdano vidjeti za koliko su razine podzemne vode i u kojim piezometrima bile više, napravljene su i numeričke analize. Napravljena je numerička analiza koja je pokazala precizniji odnos razina podzemne vode u pojedinim piezometarima.

Kako bi se odredio odnos razina vode rijeke Save na pojedinim dijelovima i razina podzemne vode na području odlagališta otpada Jakuševec i u njegovoj neposrednoj blizini, napravljene su usporedbe ručno izmjerenih vrijednosti u parovima piezometara koji su približno okomiti na tok rijeke Save. Parovi piezometara su bili : JM-1 i JM-3, JM-21 i JM-3, JM-11 i JM-15, JP-18 i JM-31, JP-18 i JM-16, JM-30 i JM-16 (Slika 5.14).

Razine podzemne vode u piezometru JM-1 u sjeverozapadnom dijelu odlagališta su bile u 55% slučajeva više od razina podzemne vode u piezometru JM-3 u zaobalju Save, razine podzemne vode u piezometru JM-11 u jugoistočnom dijelu odlagališta su bile u 43% slučajeva više od razina podzemne vode u piezometru JM-15 u zaobalju Save.



Slika 5.14: *lokacije piezometara na mikrolokaciji odlagališta otpada Jakuševec plavim kružnicama su označeni analizirani piezometri.*

U piezometru JP-18 razine podzemne vode su u 76% slučajeva bile više od razina u piezometru JM-16, a samo u 37% slučajeva su bile više nego u piezometru JM-31. Također u odnosu na piezometar JM-16, u piezometru JM-30 su u 57% slučajeva razine podzemne vode bile više.

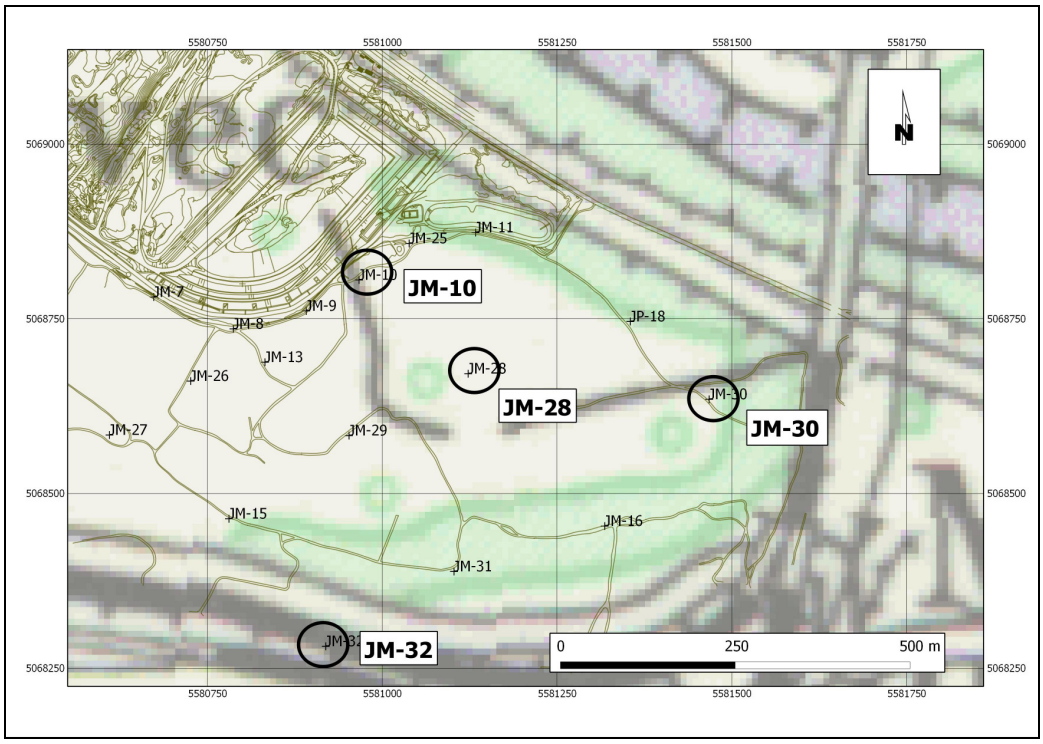
U piezometru JM-21, razine podzemne vode su bile u 49% slučajeva više od razina podzemne vode u piezometru JM-3, odnosno, smjer toka je bio jug – jugoistok. U 39% slučajeva, razine podzemne vode su u piezometru JM-21 bile niže od razina podzemne vode u piezometru JM-3, a u 12% slučajeva su bile jednake, odnosno smjer toka podzemne vode je bio prema jugoistoku. U odnosu na piezometar JM-5, razine podzemne vode su u piezometru JM-21 bile cijelo vrijeme praćenja više. Razina podzemne vode u piezometru JM-22 su u 55% slučajeva bile više od razina podzemne vode u piezometru JM-5 i u 100% slučajeva su bile više od razina u piezometru JM-27. U piezometru JM-27 su razine podzemne vode bile u više od 90% slučajeva niže od razina podzemne vode u piezometru JM-23.

Iz promjene razina podzemne vode se vidi da sa vremenom, ovisno o razinama rijeke Save i razinama podzemne vode tok mijenja smjer. Na temelju karata hidroizohipsi i iz prethodne analize se može zaključiti da su na lokaciji odlagališta otpada Jakuševec, prema rezultantnom gibanju, dominantni smjerovi toka podzemne vode usmjereni prema jugoistoku, a u manjoj mjeri prema istoku u sjeverozapadnom i središnjem dijelu, odnosno u smjeru rijeke Save, ali samo u uvjetima jako niskih razina podzemne vode.

5.2. Identifikacija i kvantifikacija utjecaja procjednih voda s odlagališta otpada Jakuševec na kakvoću podzemne vode nizvodno od odlagališta

Kemijske analize procjednih voda su pokazale da one predstavljaju značajan izvor onečišćenja, i to posebno Amonij ionom, željezom i manganom. Osim ovih parametara, procjednim vodama se unose još i neki drugi spojevi (arsen, olovo, cink).

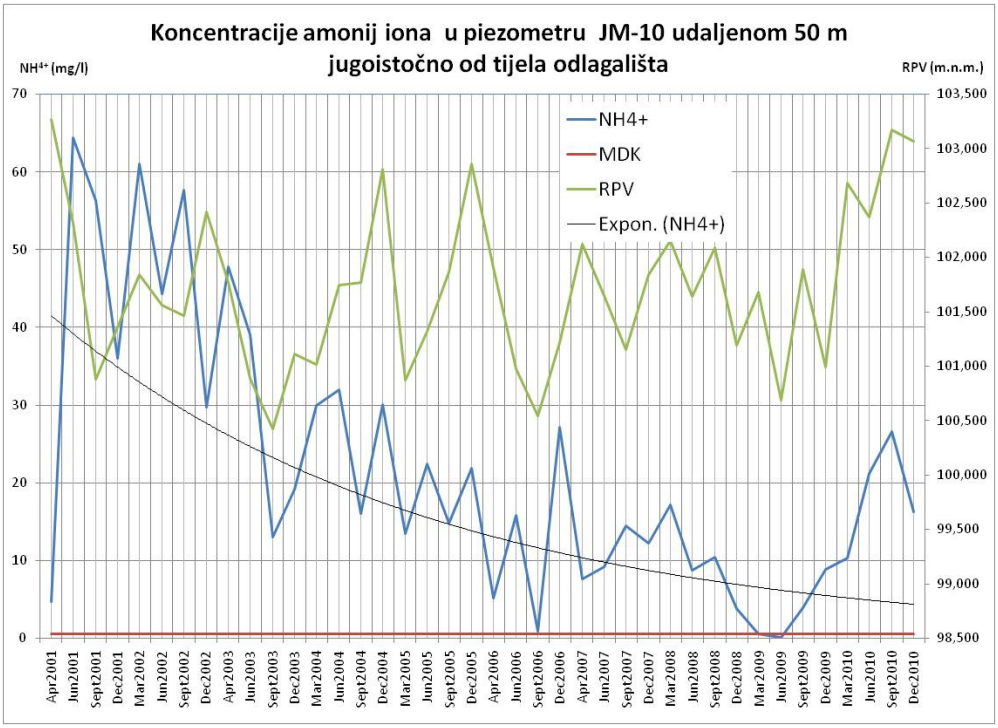
Utjecaj procjednih voda na podzemnu vodu je najuočljiviji u neposrednoj blizini tijela odlagališta. Kako bi se prikazao utjecaj radova sanacije na područje ispod tijela odlagališta otpada Jakuševec, odabran je piezometar JM-10 koji je udaljen svega 50 metara od odlagališta (Slika 5.15), nalazi se direktno na utjecajnom području i u njemu se kontinuirano prati kakvoća podzemne vode. U piezometru JM-10 primijećen je značajan porast koncentracija amonij iona te porast kemijske potrošnje kisika.



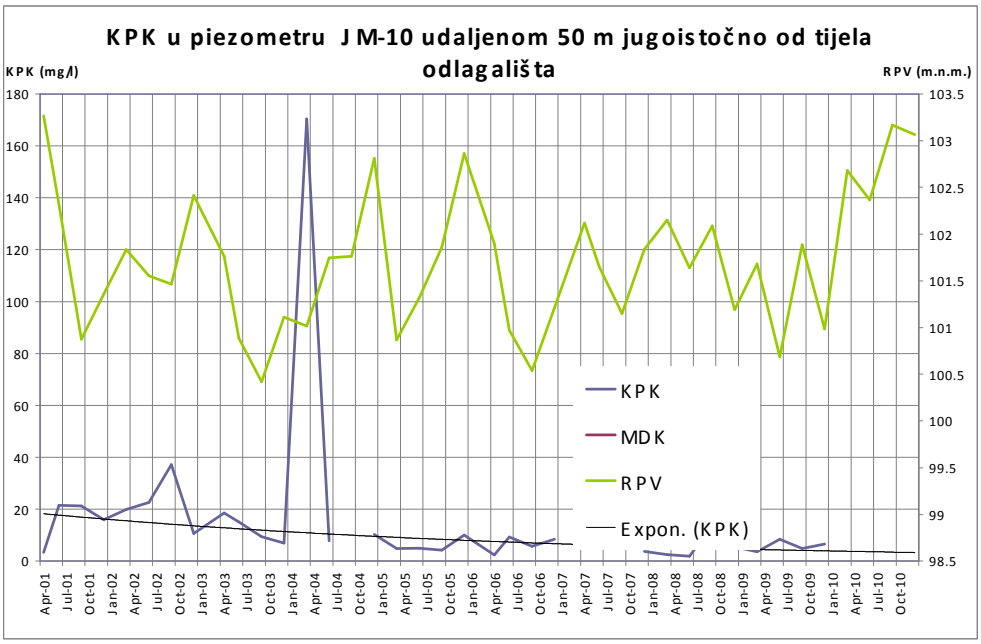
Slika 5.15: *Lokacije piezometara koji su korišteni za ocjenu utjecaja odlagališta Jakuševec na podzemne vode i ocjenu uspješnosti sanacije.*

Grafički prikaz na slici 5.16 prikazuje kretanje amonij iona u podzemnoj vodi od 2001. do 2010. godine. Na samom početku praćenja, koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi je bila relativno niska (oko 5 mg/l)., već u sljedećem ciklusu koncentracija je značajno skočila na oko 65 mg/l (13 puta), ali je tijekom godina uočljiv trend pada koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi. Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Narodne Novine 47/2008, maksimalno dozvoljena koncentracija amonij iona u vodi iznosi 0,5 mg/l. To znači da je na početku praćenja u travnju 2001. bila 10 puta veća od MDK, dok je u sljedećem ciklusu bila čak 130 puta veća od MDK. Nagli porast koncentracija je najvjerojatnije uzrokovan početkom sanacijskih radova. Naime tijekom vremena procijedna voda koja je prolazila kroz tijelo odlagališta i infiltrirala se u podzemlje je sa sobom donosila i sitnozrne čestice koje su izazvale kolmataciju šljunčane podine odlagališta i smanjile procjeđivanje. Sanacijom odlagališta i pripremom terena za ugradnju doljnjeg brtvenog sustava uklonjen je kolmatirani dio podine, što je omogućilo intenzivnije procjeđivanje procjednih voda u vodonosnik.

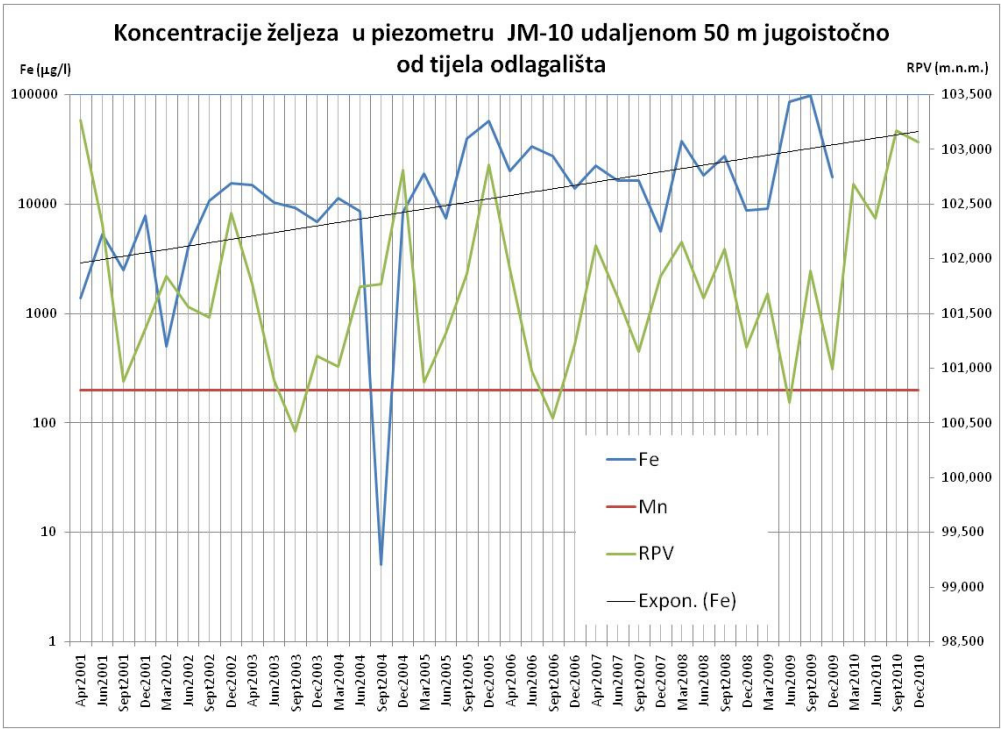
Jedan od parametara koji je karakterističan za utjecaj procjednih voda je i promjena kemijske potrošnje kisika (KPK). Ovaj parametar je porastao sa 3,5 na 21 mg/l, odnosno oko šest (6) puta, što je približno duplo manje od porasta koncentracija amonij iona. Objašnjenje manjeg porasta kemijske potrošnje kisika (KPK) leži u činjenici da je tijelo odlagališta na tom dijelu nastalo početkom osamdesetih godina prošloga stoljeća i na njemu je većina otpada bila starija od 10 godina. Tijekom tog vremena, u odlagalištu su se odvijali procesi razgradnje organske tvari. Razgradnja organske tvari je egzoterman proces koji podiže temperaturu u tijelu odlagališta i uzrokuje tinjanje i povremene nekontrolirane požare koji dodatno razgrađuju organsku tvar. Iz tog razloga procjedne vode na starijim odlagalištima (> 9 godina) su manje opterećene organskom tvari (što se vidi iz KPK) a više amonijakom. Do kraja 2002. godine KPK je imao trend rasta do 40 mg/l, da bi poslije toga došlo do kontinuiranog pada koncentracije. Uzrok sporijem rastu je i manja migrabilnost organske tvari koja je hidrofobna i često se hvata na površine materijala od kojeg je izgrađen vodonosnik. Značajniji pik koncentracije KPK je bio početkom 2004. godine, kada je KPK dostigao vrijednost od 1700 mg/l ali to je bila jednokratna pojava (Slika 5.17). Na slikama 5.16. – 5.19. su prikazane i vrijednosti razine podzemne vode. Vizualno se stječe dojam da su visoke razine podzemne vode povezane s povišenim koncentracijama pojedinih onečišćivača, međutim koeficijenti korelacije razina podzemne vode i pojedinih parametara onečišćenja su niski (Poglavlje 4.3.4.).



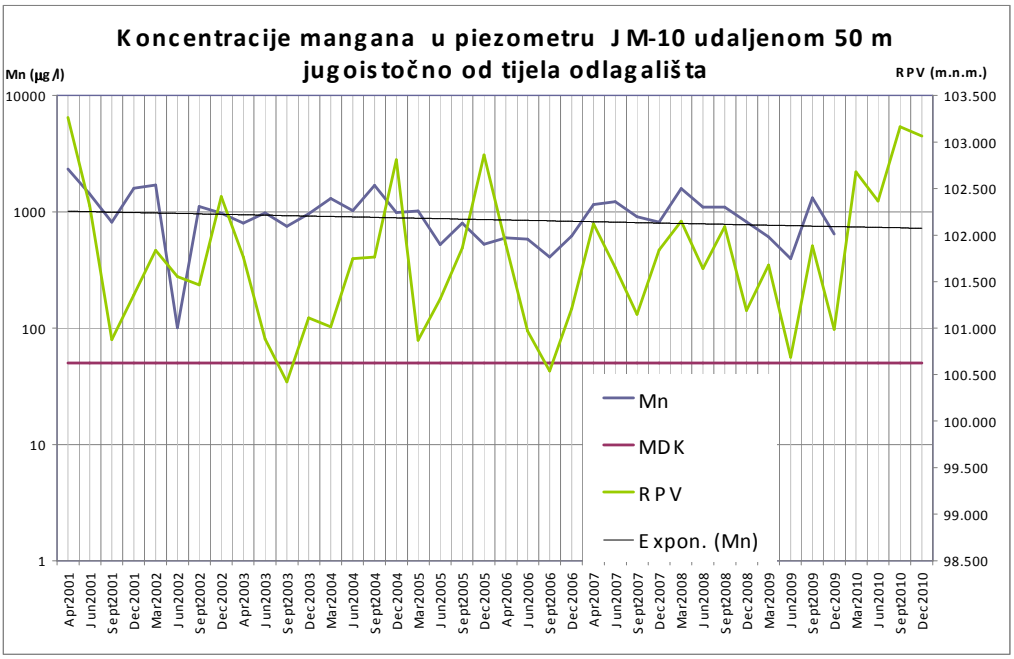
Slika 5.16: *Koncentracije amonij iona u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*



Slika 5.17: *KPK u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*



Slika 5.18: *Koncentracije iona željeza u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*



Slika 5.19: *Koncentracije mangana u piezometru JM-10 udaljenom oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta otpada Jakuševec sa linijom trenda i usporedba sa razinama podzemne vode*

U piezometru JM-10 koncentracije željeza i mangana su tijekom cijelog razdoblja praćenja bile jako visoke, s tim da su koncentracije željeza kontinuirano rasle, a koncentracije mangana su bilježile lagani pad (Slika 5.18, 5.19). Procjedne vode odlagališta otpada Jakuševec su bile opterećene željezom i manganom, međutim najveća opterećenja su bila registrirana u početku praćenja (između 13.000 i 18.000 mg/lFe i oko 3.800 mg/lMn), dok su u kasnijim razdobljima koncentracije željeza i mangana u procjednim vodama bile puno niže (oko 20 mg/lFe i oko 10 mg/lMn).

Također je uočeno da su u piezometru JM-10 tijekom razdoblja praćenja u razdobljima visokih voda uglavnom bile izmjerene više koncentracije onečišćivača (amonij ion, željezo, mangan) od one registrirane u razdoblju niskih voda. Koncentracije željeza su tijekom razdoblja praćenja pokazivale od približno 5 do preko 50 puta veće koncentracije od MDK prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Narodne Novine 47/2008 te trend rasta, a koncentracije mangana su bile oko 20 puta veće od MDK propisanog navedenim pravilnikom.

5.3. Ocjena uspješnosti Interventnog crpnog sustava (ICS) na sprečavanje pronosa onečišćenja u istočnije dijelove Zagrebačkog vodonosnika

Iako je na slikama vidljiv značajan trend pada praćenih parametara onečišćenja, kao i u najbližem nizvodnom piezometru JM-10 (Slika 4.34, 4.35, 4.36, 4.37), na temelju postojeće opažačke mreže nije moguće utvrditi dali je na pad koncentracija utjecao rad interventnog crpnog sustava. Tijekom rada interventnog crpnog sustava uočen je kontinuirani pad koncentracija amonij iona u svim zdencima (Slika 4.35). U zdencu JZ-1 koji se nalazi najbliže rijeci Savi zabilježen je i kontinuirani trend pada koncentracija željeza, dok je u ostalim zdencima koji se nalaze dalje u zaobalju koncentracija željeza ostala jednaka ili je čak zabilježen porast (Slika 4.36). U sva četiri zdenca zabilježen je kontinuirani trend pada koncentracija mangana (Slika 4.37). Iz navedenog je uočljiv trend poboljšanja kakvoće vode. Međutim trenutni program monitoringa ne može dati rezultate o utjecaju zdenaca na poboljšanje kakvoće podzemne vode jer ne postoje piezometri nizvodno od ICS-a, a koji su neophodni za ovakvu procjenu. Projektnom dokumentacijom je bilo predviđeno da interventni crpni sustav crpi svu vodu koja prolazi ispod tijela odlagališta (Bagarić, 2002.). Međutim crpljenje u količini od 400 l/s nije dovoljno za ostvarivanje tog cilja. Hidraulička vodljivost na lokaciji odlagališta Jakuševec iznosi minimalno 2000 m/dan, ako ne i više.

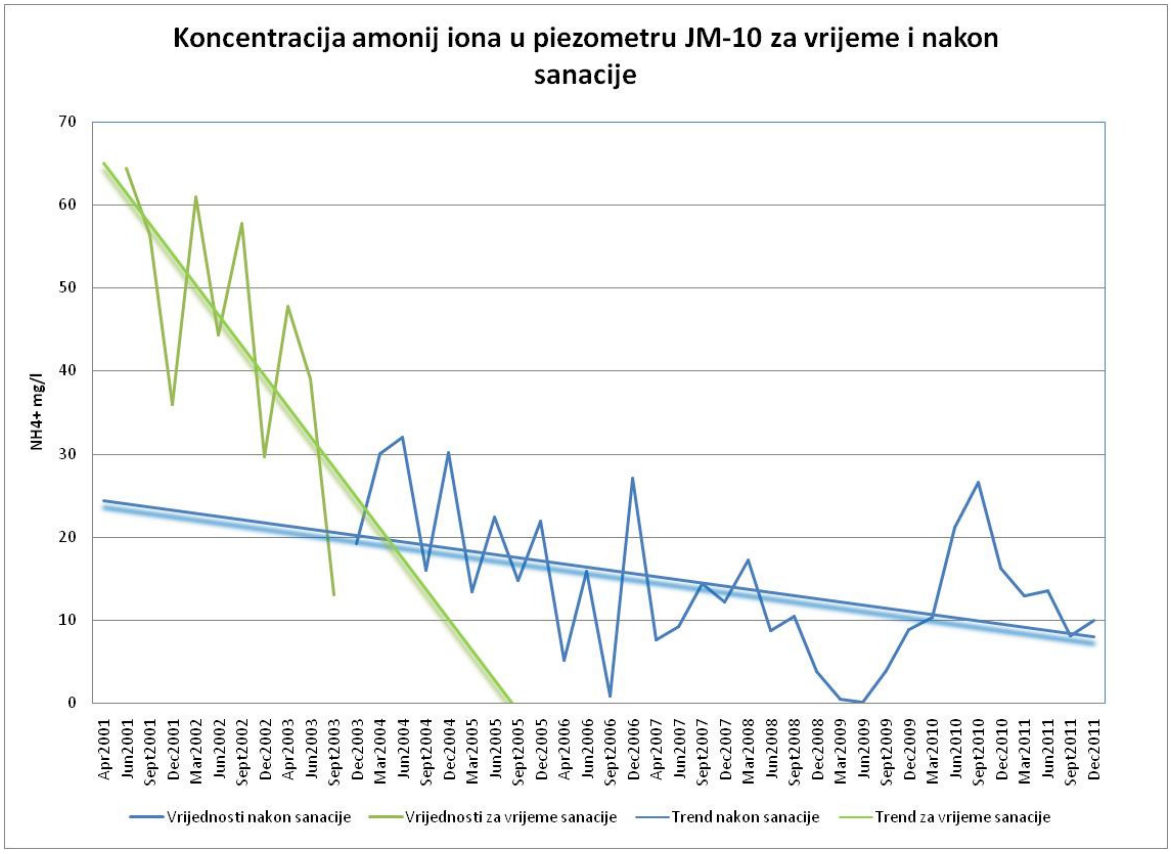
Ukoliko se uzme u obzir gradijent i=0,005, a koji može biti i veći zbog blizine Save, približna širina presjeka od 500 metara i debljina vodonosnog sustava od 60 metara, dobije se približni protok od 3,5 m^3/s, što je skoro deset puta više od kapaciteta crpljenja Interventnog crpnog sustava. Na kartama razina podzemnih voda u tom području se također vidi da radijus utjecaja zdenaca nije veliki tako da se obzirom na dobivene podatke ne može prihvatiti nikakva mogućnost utjecaja na sprečavanje širenja onečišćenja na lijevu obalu Save, a koje se odvija na sjeverozapadnom dijelu smetlišta prema analizama smjerova toka podzemne vode i koje je udaljeno oko 1,5 km.

5.4. Ocjena uspješnosti sanacije odlagališta otpada Jakuševec, s obzirom na sprečavanje daljnjega onečišćenja podzemnih voda od procjednih voda s odlagališta

Svrha sanacije odlagališta otpada Jakuševec je bila zaštita podzemnih voda od utjecaja procjednih voda s odlagališta. Iako se provedeni radovi nazivaju "Sanacija" i taj izraz se najčešće koristi u stručnoj literaturi i u većem dijelom stručne javnosti, ipak je potrebno naglasiti da nije u potpunosti točan. Sanacija u punom smislu bi trebala označavati fizičko uklanjanje otpada sa lokacije i njegovu obradu (izdvajanje i reciklaža pojedinih komponenti, energetsko iskorištavanje i sl) te propisno odlaganje samo manjeg dijela otpada kojeg nije bilo moguće obraditi. Ispravan naziv za provedene radove bi bio "Izolacija" odlagališta, pri kojoj, za razliku od sanacije ostaje približno jednaka količina otpada.

Piezometar JM-10 se nalazi oko 50 metara jugoistočno od tijela odlagališta, u njemu postoji desetogodišnji niz praćenja kakvoće vode, pa je iz tog razloga najindikativniji za praćenje utjecaja sanacije na podzemlje.

Niz rezultata se može podijeliti na dva perioda, prvi period obuhvaća razdoblje tijekom sanacije od travnja 2001. pa do rujna 2003. godine., drugi period obuhvaća razdoblje nakon sanacije od rujna 2003. pa do prosinca 2011 (Slika 5.20).



Slika 5.20: *Trendovi koncentracija amonij iona u piezometru JM-10 za vrijeme i nakon sanacije odlagališta Jakuševec, razdoblje od travnja do svibnja 2001. nije prikazano kako bi se jasnije vidjeli trendovi za vrijeme i nakon sanacije.*

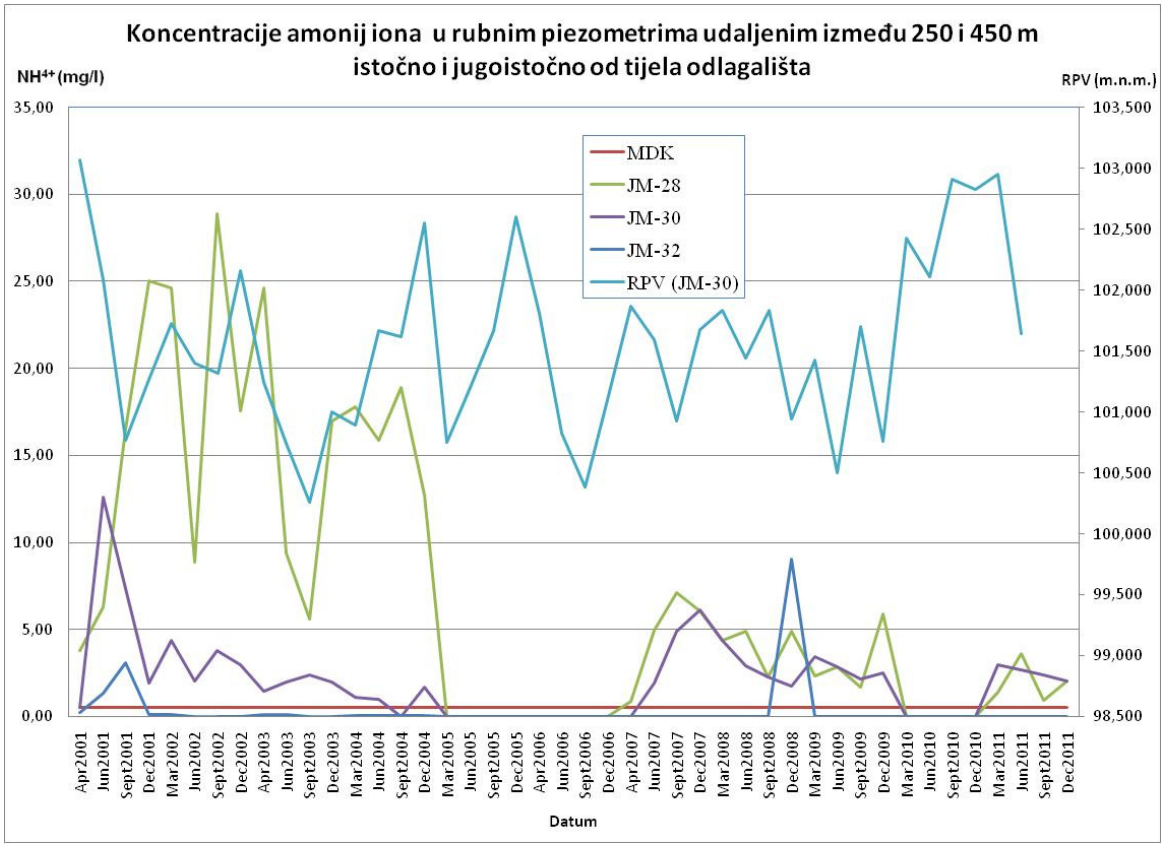
U prvom razdoblju od travnja 2001. do svibnja 2001. godine je došlo do skoka koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi sa 4,7 mg/l na 64,4 mg/l, što je vjerojatno uzrokovano građevinskim radovima na odlagalištu i uklanjanja kolmiranog dna te intenzivnijeg procjeđivanja procjednih voda iz odlagališta u podzemlje. Nakon toga u razdoblju od svibnja 2001. do rujna 2003. godine uočljiv je kontinuirani trend smanjenja koncentracija amonij iona u podzemnoj vodi i koncentracija je padala od približno 60 mg/l do približno 40 mg/l. Nakon završetka sanacije vidljiv je značajan pad koncentracije amonij iona. Drugi period obuhvaća razdoblje nakon sanacije od rujna 2003. do prosinca 2011. Ovo razdoblje karakteriziraju značajne varijacije u koncentracijama od nešto više od 30 mg/l pa do ispod MDK (0,5 mg/l). U tom razdoblju je linija trenda padala od približno 20 mg/l do približno 9 mg/l. Linija trenda za vrijeme sanacije je bila značajno strmija od linije trenda nakon sanacije, što znači da je tijekom sanacije koncentracija amonij iona brže padala nego nakon sanacije. Međutim linija trenda nakon sanacije je počinjala na znatno nižoj vrijednosti.

Generalno, tijekom razdoblja praćenja kakvoće podzemne vode uočen je trend pada organskih parametara kemijske potrošnje kisika (KPK) i amonij iona (NH^{4+}). Međutim i dalje su prisutne visoke koncentracije željeza i mangana u podzemnoj vodi, a u podzemlju su zaostale još i uvijek nepoznate količine onečišćivača koje će još duže vrijeme u budućnosti predstavljati izvor onečišćenja.

U rubnim piezometrima JM-28, JM-30 i JM-32 posebno su važna mjerenja koncentracije onečišćenja, uz napomenu da je piezometar JM-30 najznačajniji pošto je smješten oko 450 metara jugoistočno od tijela odlagališta u smjeru budućeg vodocrpilišta Kosnica, i smješten je na najdominantnjem pravcu toka podzemnih voda. Stoga je i na osnovi mjerenja koncentracije u tim piezometrima napravljena ocjena uspješnosti sanacije odlagališta Jakuševec. Piezometar JM-28 je smješten približno 250 metara jugoistočno od tijela odlagališta, približno na polovici udaljenosti između tijela odlagališta i piezometra JM-30. Piezometar JM-32 se nalazi na udaljenosti od 450 metara od tijela odlagališta u smjeru jug – jugoistok (Slika 5.1).

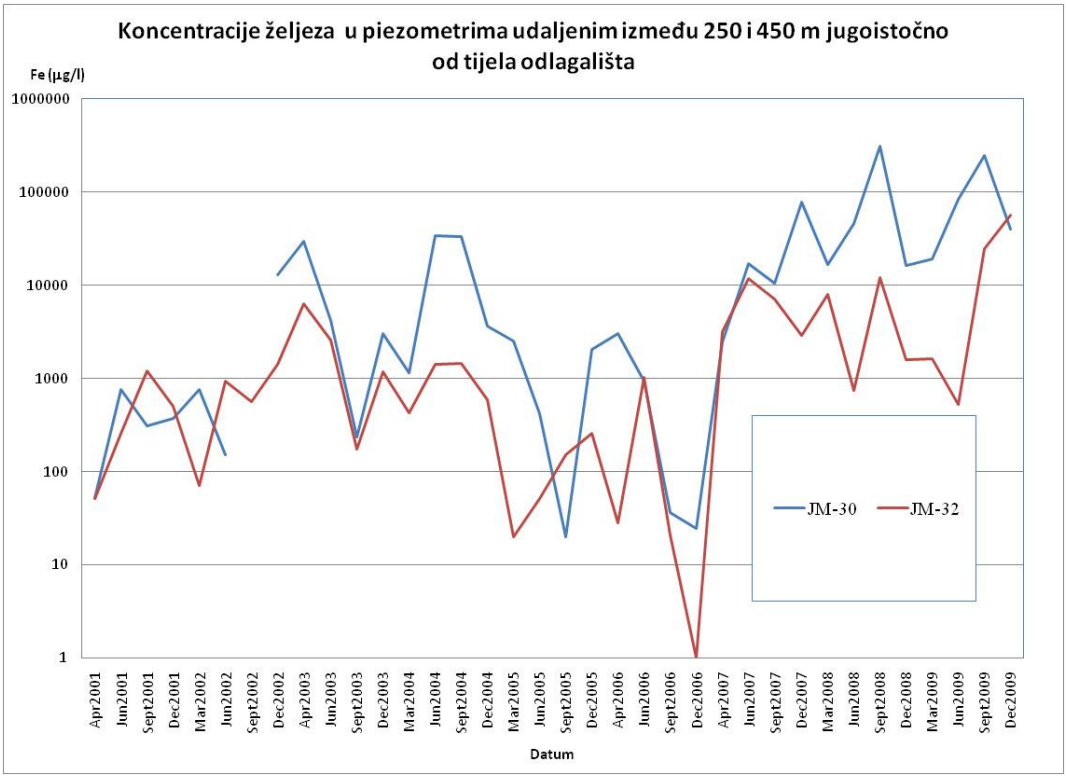
U dva piezometra na dominantnom smjeru toka podzemnih voda (JM-28 i JM-30) se također kao i u prethodno razmatranom piezometru JM-10 može uočiti nekoliko perioda.

U piezometru JM-32, tijekom cijelog razdoblja praćenja koncentracije amonij iona su bile ispod MDK. Porasti vrijednosti su zabilježeni samo sredinom 2001. Godine i krajem 2008. godine (Slika 5.21).

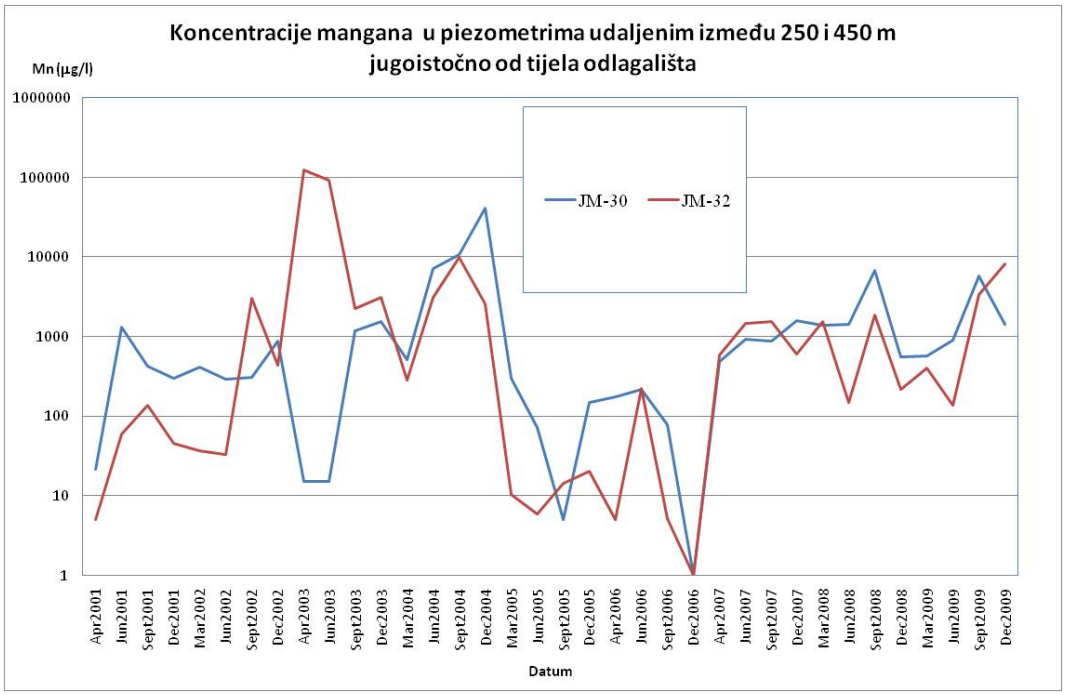


Slika 5.21: *Koncentracije amonij iona u podzemnoj vodi u rubnim piezometrima istočno i jugoistočno od odlagališta Jakuševec*

Osim amonij iona značajni su parametri željeza i mangana. U utjecajnom području odlagališta Jakuševec, procjednim vodama je u podzemlje dospjela i velika količina metala, posebice željeza i mangana koja je vezana uz organsko onečišćenje preostalo u sedimentima. U rubnim piezometrima JM-28, JM-30 i JM-32 je uočeno značajno povećanje količine otopljenog željeza i mangana u vodi (Slika 5.22 i 5.23) koji se prenose podzemnom vodom. Iako se željezo oslobađa u područjima bliže odlagalištu, ono se prenosi podzemnom vodom i postepeno oksidira, a stvoreni oksihidroksidi željeza mogu se kroz vodonosnik prenositi u obliku koloida ili vrlo sitnih čestica. Velike količine koloidalnog željeza su upravo bile registrirane u navedenim rubnim piezometrima.



Slika 5.22: *Koncentracije željeza u podzemnoj vodi u rubnim piezometrima istočno i jugoistočno od odlagališta Jakuševec*



Slika 5.23: *Koncentracije mangana u podzemnoj vodi u rubnim piezometrima istočno i jugoistočno od odlagališta Jakuševec*

Tijekom sanacije koncentracije željeza i mangana su bile izrazito visoke. Nakon sanacije je uočen trend pada koncentracija željeza i mangana i oba parametra padaju ispod MDK za vodu za piće, međutim, nakon tog razdoblja dolazi do značajnog rasta koncentracija i one su do kraja 2011. godine bile na razinama ili čak i značajno više od koncentracija registriranih za vrijeme sanacije.

Osim amonij iona u podzemnoj vodi su registrirane povećane koncentracije željeza i mangana. Iako neka novija istraživanja upućuju da nesaturirana zona predstavlja izvor željeza i mangana, koji se javljaju vrlo nejednoliko (Ružičić, 2012.), vjerojatan izvor željeza u nizvodnom području odlagališta Jakuševec je iz onečišćenja procjednim vodama.

Za određivanje uspješnosti sanacije, osim povremenih mjerenja, ne postoji adekvatan niz podataka o kakvoći vode za razdoblje prije početka sanacije odlagališta. Pojedini podaci postoje za neke piezometre, što je detaljnije opisano u poglavlju 4.3.1., međutim, povremeno praćenje kakvoće vode u razmacima od dvije do tri godine nije mjerodavno za ocjenu stanja prije sanacije odlagališta. Iz tog razloga nije moguće ocijeniti uspješnost sanacije.

5.5. Prijedlog mjera zaštite podzemnih voda na utjecajnom području odlagališta

Za kvalitetnu zaštitu podzemnih voda je potrebno provesti kvalitetne istražne radove. Iako istražni radovi sami po sebi ne predstavljaju mjeru zaštite podzemnih voda, oni daju ulazne podatke na temelju kojih je moguće daljnje planiranje. Osnovno je provoditi istražne radove na način da se osigura kontinuirani slijed usporedivih podataka (isti piezometri, isti način uzorkovanja, kontinuirano praćenje istih parametara). Tijekom interpretacije podataka nisu se uvijek mogli pouzdano utvrditi rezultati pojedinih mjera sanacije. Iz tog razloga je praćenje podzemne vode (kakvoća, razine) potrebno prilagoditi mjeri sanacije.

Iako je jasno da pojedine stavke monitoringa investitoru predstavljaju trošak, bilo bi potrebno povećati mrežu piezometara u kojima bi se pratila razina podzemne vode, ponovno aktivirati mjerenja razina rijeke Save u jugoistočnom dijelu i ukoliko je moguće uspostaviti usporedno praćenje razina rijeke Save i najbližih piezometara u zaobalju u sjeverozapadnom dijelu, kako bi se mogao dobiti odnos razina vode rijeke Save i podzemne vode duž granica sa odlagalištem otpada.

Praćenje razine podzemne vode spada u aktivnost koja zahtjeva minimalnu mobilizaciju radne snage i resursa, minimalne troškove, a predstavlja najbolji ulazni parametar na temelju kojega se mogu efikasnije i ekonomičnije planirati skuplji zahvati, poput izrade novih piezometara i uzorkovanja i analize podzemnih voda.

Ono na što monitoring nije dao odgovor je stratifikacija koncentracija onečišćenja po profilu vodonosnika. Monitoring i prethodni radovi su ukazali na tu mogućnost, međutim nije dobiveno dovoljno podataka kojima bi se ova tvrdnja mogla dokazati.

Za utvrđivanje stratifikacije koncentracija onečišćenja po profilu vodonosnika je potrebno dopuniti program monitoringa. Početak takvih radova bi trebalo organizirati u neposrednoj blizini tijela odlagališta, uz piezometar JM-10, jer u njemu postoji kontinuirani trend mjerenja, što bi omogućilo usporedivost rezultata. Dakle uz piezometar JM-10 bi bilo preporučljivo izbušiti bateriju piezometara, najmanje tri, i perforirati ih u različitim intervalima, u gornjoj, srednjoj i donjoj trećini stupca vodonosnog sloja. Usporedbom rezultata uzorkovanja u ovim piezometrima i piezometru koji je perforiran po cijelom profilu dobili bi se podaci o stratificiranosti onečišćenja po profilu vodonosnika te utjecaj perforacije piezometra na rezultate istraživanja.

Postojeći monitoring nije organiziran na način da se može procijeniti uspješnost rada ICS-a. Prema rezultatima praćenja kakvoće vode, u ICS-u najbližem piezometru je uočljiv trend poboljšanja, međutim malo je vjerojatno da je ICS uzrok tome zbog njegovog malog radijusa dosega. Iako rezultati monitoringa upućuju na to da se podzemnoj vodi ispumpanoj ICS-poboljšava kakvoća, to je još uvijek nedovoljno da bi se moglo sa sigurnošću mogla potvrditi njegova efikasnost. U ovom konkretnom slučaju bilo bi potrebno organizirati monitoring kojim bi se pratio samo rad ICS-a. Za monitoring ICS-a bi trebalo izraditi piezometre uzvodno i nizvodno od zdenaca, po mogućnosti s perforacijama u razini pumpi. Usporedbom dobivenih rezultata kakvoće vode uzvodno (prije zone utjecaja ICS-a) i nizvodno bi se mogao kvantificirati utjecaj ICS-a i ocijeniti uspješnost njegovog rada.

6. RASPRAVA

Tijekom rada ove disertacije korišteni su podaci monitoringa podzemnih voda provedenog u razdoblju od 2001. do 2011. godine. Od 2001. do kraja 2004. godine razine podzemne vode su bile praćene jedan puta mjesečno na trideset i jednom piezometru lociranom oko odlagališta otpada Jakuševec i iz njih su uzimani uzorci podzemne vode.

Nakon 2004. do 2011. razine podzemne vode su bile mjerene samo četiri puta godišnje na deset piezometara, dok su istom dinamikom bili uzimani uzorci podzemne vode iz devet piezometara. Smanjenje broja piezometara i vremena mjerenja razina podzemne vode je značajno utjecalo na mogućnosti interpretacije podataka.

Prilikom određivanja dominantnih smjerova toka podzemne vode, najpouzdaniji podaci su bili dobiveni u razdoblju od 2001. do 2004. godine, u kasnijem razdoblju su podaci bili puno rjeđi, tako da možda nisu mogli dati potpunu sliku o smjerovima toka podzemne vode. Mjerenje razine podzemne vode samo jedan puta mjesečno daje mali broj podataka jer se razine mijenjaju na dnevnoj bazi. Smanjenjem broja piezometara i učestalosti mjerenja razina podzemne vode na svega četiri puta godišnje, ne dobiva se dovoljan broj podataka za kvalitetnu interpretaciju, a što i značajno smanjuje pouzdanost dobivenih rezultata.

Značajan doprinos mjerenjima su bili i rezultati praćenja razina rijeke Save od 2002. do 2004. godine na krajnjem jugoistočnom dijelu odlagališta. U tom razdoblju praćenja nivo rijeke Save je bio cijelo vrijeme viši od najbližeg piezometra u zaobalju sa limnigrafskim mjerenjima, iako je u njemu razina vode povremeno bila viša od razina rijeke Save. Unatoč ovim rezultatima mjerenja, postoje indicije da se rijeka Sava prihranjuje iz zaobalja i to u središnjem i krajnjem sjeverozapadnom dijelu, posebno u razdobljima niskih vodostaja rijeke Save. Na takav zaključak upućuje i uočavanje manjih izvora sjeverozapadno od odlagališta u kasno proljeće ekstremno sušne 2003. godine. Ali da bi se takav utjecaj kvantificirao potrebno je odraditi adekvatna mjerenja. Prvenstveno bi trebalo instalirati limnigrafe u rijeci Savi koji bi bili smješteni paralelno sa najbližim piezometrima u zaobalju i na tim lokacijama uspostaviti sustav kontinuiranih limnigrafskih mjerenja.

Za potpunu kvantifikaciju utjecaja sanacije odlagališta na podzemne vode bilo je potrebno analizirati podatke kakvoće vode prije, za vrijeme i nakon sanacije odlagališta.

U razdoblju tijekom sanacije odlagališta, ispitivana je kompletna piezometarska mreža i u piezometrima su uočeni slični obrasci promjena koncentracija pojedinih onečišćivača u podzemnoj vodi.

Nakon sanacije, kemijske analize podzemne vode su kao i u slučaju praćenja razina podzemne vode reducirane na samo devet piezometara. Ipak, zbog zadržavanja dinamike uzorkovanja, u tim piezometrima su se mogli pratiti trendovi pojedinih parametara.

Prije početka sanacije odlagališta, rađene su analize podzemne vode nizvodno, ali su se te analize radile dosta rijetko, svakih nekoliko godina i ne uvijek u istim piezometrima. Iz tog razloga u periodu prije sanacije nije bilo moguće donijeti pouzdane zaključke o kretanju onečišćivača u piezometrima tijekom vremena.

Tijekom praćenja rada Interventnog crpnog sustava, uočen je trend pada koncentracija pojedinih onečišćivača. Može se pretpostaviti da Interventni crpni sustav djeluje na promjenu kakvoće vode u podzemlju, ali kvalitetnu procjenu njegove efikasnosti nije bilo moguće utvrditi jer postojeći sustav monitoringa nije bio postavljen na način da može precizno pratiti njegov rad. Iz tog razloga je predložena promjena sustava monitoringa, kako bi se ta praćenja u budućnosti mogla provoditi.

Provedena sanacija odlagališta otpada Jakuševec je u danom trenutku predstavljala odabrano dostupno inženjersko rješenje koje je trebalo osigurati izolaciju odloženog otpada i smanjiti rizik daljnjeg onečišćenja vodonosnika. Najbolje rješenje bi bilo iskopavanje otpada, njegova obrada s izdvajanjem korisnih, reciklabilnih komponenti (metali, plastika i sl.) i odlaganje preostalog, neiskoristivog dijela otpada na lokaciju nizvodno od postojećih vodocrpilišta. Za provedbu tog rješenja u ovom trenutku na postoje preduvjeti, a to su: kvalitetna industrijska infrastruktura koja bi osigurala daljnju obradu i iskorištavanje izdvojenog materijala kao niti osigurana pogodna lokacija za odlaganje neiskoristivog dijela otpada. Tijekom radova sanacije koncentracije pojedinih onečišćenja su značajno porasle u odnosu na razdoblje prije sanacije, posebno amonij iona kao najindikativnijeg parametra. U razdoblju kada se trend koncentracija amonij iona ustabilio, on je bio još uvijek viši od koncentracija prije sanacije. Iako su koncentracije u zadnjem promatranom razdoblju bile i nekoliko puta više od koncentracija izmjerenih prije sanacije, u nekoliko navrata su bile registrirane koncentracije amonij iona niže od MDK vrijednosti za pitku vodu.

Logično pitanje koje se postavlja je "da li to znači da je sanacija s aspekta zaštite podzemnih voda bila neuspješna ili čak kontraproduktivna?". Smatram da ne, iako su prije sanacije u piezometrima koncentracije onečišćivača u podzemnoj vodi bile relativno niske, a nakon sanacije su se ustabilile na višim vrijednostima smatram da sanacija nije bila neuspješna. Zašto?

Iz razloga što iako je dno odlagališta bilo kolmirano, to ne predstavlja adekvatnu zaštitu i sigurno bi se procjedne vode nastavile procjeđivati iz tijela odlagališta u vodonosnik. Iako su radovi sanacije u jednom trenutku pospješili procjeđivanje procjednih voda iz odlagališta u vodonosnik, dugoročno su smanjili rizik njegovog onečišćenja jer su izolirali otpad od oborinskih voda i osigurali prikupljanje i obradu procjednih voda.

Drugo logično pitanje je "da li su ti radovi onda u potpunosti uklonili rizik onečišćenja podzemlja procjednim vodama?". I tu je odgovor negativan, iako su radovi sanacije značajno smanjili rizik onečišćenja podzemlja, rizik još uvijek postoji jer je otpad u odlagalištu samo izoliran od okoliša. Tvrdnja da su radovi u potpunosti uklonili rizik onečišćenja podzemlja bi bila najblaže rečeno neodgovorna.

7. ZAKLJUČAK

Ova disertacija je prezentirala povijest rada odlagališta otpada Jakuševec, provedene radove sanacije, rezultate monitoringa te efikasnost tih rezultata pri vrednovanju uspješnosti sanacije. Podaci o razinama podzemne vode su pokazali da je za vrijeme desetogodišnjeg monitoringa dominantan smjer toka na lokaciji bio prema jugoistoku. Međutim ostala je nepoznanica točnog definiranja odnosa razine vode u rijeci Savi i razine podzemne vode. Zbog relativno kratkog razdoblja praćenja razina rijeke Save na krajnjem jugoistočnom dijelu odlagališta nije bilo moguće u potpunosti definirati taj odnos. Tijekom četverogodišnjeg razdoblja praćenja, na krajnjem jugoistočnom dijelu je rijeka Sava imala višu razinu vode, nego najbliži piezometri u zaobalju. U smjeru sjeverozapada, pretpostavlja se da je utjecaj podzemlja izraženiji prema rijeci Savi, što je čak utvrđeno i registracijom vrelnih ploha za vrijeme niskih voda, ali bez usporednih mjerenja vodostaja rijeke i razine podzemne vode to nije bilo moguće kvantificirati.

Rezultati analiza kakvoće podzemne vode su pokazali da je nakon sanacije odlagališta došlo do poboljšanja u odnosu na parametar amonij iona, ali da bi se utvrdila efikasnost same sanacije bilo bi potrebno usporediti kakvoću vode prije i poslije sanacije. Iako su prije sanacije postojale neke analize podzemne vode, one su se provodile rijetko (svakih nekoliko godina), na malom broju piezometara i često puta ne na istim piezometrima. Rezultati analiza prije sanacije su upućivali na negativan utjecaj odlagališta na podzemlje, ali kako se taj utjecaj mijenjao tijekom vremena i koji je bio njegov trend, zbog ranije opisanih razloga nije bilo moguće utvrditi.

Kako bi se u budućnosti mogao kvalitetnije definirati utjecaj odlagališta na podzemne vode, potrebno je nadopuniti program monitoringa uvođenjem dodatnih piezometara u program mjerenja, posebno jugoistočno od odlagališta, ponovnim aktiviranjem paralelnog praćenja nivoa rijeke Save i piezometara u zaobalju na jugoistočnom dijelu odlagališta te ukoliko je moguće, isto to i na sjeverozapadnom dijelu, kako bi se mogao vidjeti odnos rijeke i podzemlja. Također su predviđene dodatne mjere praćenja rada Interventnog crpnog sustava. Iako je očito da ICS nema veliki radijus djelovanja, postoji mogućnost da u utjecajnom području ipak doprinosi čišćenju podzemlja, ali bez kvalitetnog dokumentiranja baziranog na terenskim mjerenjima to nije moguće potvrditi.

Za kraj je potrebno naglasiti da je u projekt sanacije odlagališta otpada Jakuševec uložen veliki trud brojnih stručnjaka raznih profila. Zbog složenosti i kompleksnosti samog projekta sanacije kao i potrebe da se ona odradi što je moguće brže, nije uvijek bilo moguće kvalitetno sagledati sve elemente. Tijekom izrade ove disertacije, uočeni su neki nedostatci u projektnoj dokumentaciji koji su bili naglašeni (npr. kapacitet ICS-a ili smanjenje programa monitoringa). Iako ICS ne može utjecati na šire područje vodonosnika postoji mogućnost da u neposrednoj blizini zdenaca pozitivno utječe na kakvoću vode, ali da bi se to dokazalo potrebno je prilagoditi program monitoringa. Važnost monitoringa je značajna u procjeni uspjeha radova sanacije, a smanjenje njegovog opsega to otežava. Sam monitoring kao stavka naravno ima svoju cijenu i uvijek je lakše odlučiti u smjeru smanjenja opsega, a samim time i njegove cijene. Ali ako se uzmu u obzir troškovi provedenih sanacijskih radova, kao i troškovi postojećih radova, kvalitetno osmišljen monitoring, iako je u datom trenutku možda i skuplji, dugoročno može doprinijeti boljem planiranju i većoj kvaliteti radova uz smanjenje troškova.

8. LITERATURA

8.1. Objavljeni radovi

1. Amirbahman, A., Kent D. B., Curtis G.P., Davis, J.A. (2006): Kinetics of sorbtion and abiotic oxidation of arsenic (III) by aquifer materials. Geochimica and Cosmochimica Acta, Vol 70, 533-547
2. Appelo, C.A.J. & Postma, D. (1994.): Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema, 536 pp, Rotterdam.
3. Babić, S., Jeričević, S., Orešković, M., Vuković, I. (1996.): Sanacija smetlišta Jakuševec u Zagrebu, iskustva s uređenja radne plohe, IV Međunarodni simpozij "Gospodarenje otpadom – Zagreb '96", zbornik radova, pp 331 – 339.
4. Bačani, A. & Šparica, M. (2001): Geology of the Zagreb aquifer system. 9th International Congress of the geological society of Greece. (26.-28. September, 2001). Proceedings, vol XXXIV, No 5, 1973-1979, Athens.
5. Bačani, A., Posavec, K. (2009.): Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Velika Gorica, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo Zagreb, pp. 77.
6. Bačani, A., Posavec K. (2009.): Vodoistražni radovi za potrebe implementacije Okvirne direktive o vodama u dijelu koji se odnosi na kvantitativno stanje voda na zagrebačkom i samoborskom području. Fond dokumentacije Hrvatskih voda, Zagreb.
7. Basch, O. (1981.): Osnovna geološka karta SFRJ. List Ivanić-Grad 1:100.000 L 33-81, Geol. zavod Zagreb (1969.-1976.), Savezni geol. zavod, Beograd.
8. Basch, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Ivanić-Grad L 33-81. Geološki zavod, Zagreb (1980), Savezni geološki zavod, Beograd.
9. Bilitewski, B., Hrdtle, G., Marek, K. (1991.): Abfallwirtschaft, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 1991.
10. Borčić D., Capar A. (1968): Prilog daljnjem poznavanju aluvijalnog vodonosnog horizonta na širem području Zagreba. Geol. vjesnik 21, Zagreb.
11. Bouwer, H. (1978) : Groundwater Hydrology, McGraw-Hill Book Company,xii +480, New York
12. Bradić, D., Vasiljević, R., Mihaljinec, M. i Suknaić, M. (2002): opažanje kakvoće zraka u okviru projekta monitoring pri sanaciji odlagališta Jakuševec, Zbornik radova VII Med. simp. gosp. otpadom, Zagreb.
13. Čipčić, H. (2008.): Utjecaj vodne stube kod Termoelektrane – Toplane Zagreb na razine podzemne vode zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika, Rudarsko-geološko-naftni fakultet sveučilišta u Zagrebu, Diplomski rad, pp 20.
14. Drnjević, B., Horvat, K. (1995.): Pokusno polje za radnu plohu odlagališta otpada Jakuševec, Gospodarstvo i okoliš, 5/95, pp 309 – 312.
15. Driehaus, W., Seith, R., Jekel, M. (1995): Oxidation of arsenate (III) with manganese oxides in water treatment. Water Research, vol. 29, 297-305
16. Drnjević, B. (1996.): Kontrola kvalitete gline ugrađene u brtvene sustave dna radne plohe odlagališta otpada" Jakuševec", IV Međunarodni simpozij "Gospodarenje otpadom – Zagreb '96", zbornik radova, pp 340 – 345.
17. Dzombak, D.A., Morel, F.M.M. (1990): Surface Complexation Modelling – Hydrous Ferric Oxide. (New York: John Wiley & Sons.)
18. Eary, L.E., Schramke, J.A. (1990): Rates of inorganic oxidation reactions involving dissolved oxygen. 379-396 in Chemical Modeling of Aqueous Systems II. ACS Symposium Series. Melchior, DC, and Bassett, RL (editors). 416. (Washington, DC: American Chemical Society.)

19. Fetter, C., W. (1999.): Contaminant Hydrogeology, Second Edition, Prentice Hall of USA, NJ 07458, pp. 33, 293, 294.
20. Fundurulja D., Milanović Z., Orašanin R., Mikulić N. (2008.): Gospodarenje otpadom u RH (od 1950. god. do 2007. god), X. Međunarodni simpozij Gospodarenje Otpadom Zagreb 19. – 21.11.2008., Zagreb, Zbornik radova, pp 41 – 68.
21. Fundurulja D., Mužinić M. (1998.): Ulazne količine i vrste otpada koje se odlažu na odlagalište Jakuševec. V. Međunarodni simpozij Gospodarenje Otpadom Zagreb 25. – 27.11.1998., Zagreb, Zbornik radova, pp 311 – 321.
22. Gore Al (2007): Neugodna istina, Algoritam Zagreb, 2007.
23. Hem, J.D. (1985.): Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S.G.S., Water Supply Paper 2254.
24. Hering J., Kneebone, P.E. (2002.): Biogeochemical controls on arsenic occurence and mobility in water supplies. 155-181 in Environmental Chemistry of Arsenic. Frankenberger, W (Editor): Chapter 7. (New York: Marcel Dekker.).
25. Hršak, J., Šišović, A., Škrbec, A., Vađić, (1998.): Usporedba masenih koncentracija žive u zraku u okolici odlagališta otpada u Jakuševcu i sjevernom dijelu Zagreba, Gospodarenje otpadom – Zagreb '98, V. Međunarodni simpozij, Zagreb, 25. – 27.11.1998. pp 513 – 517.
26. Ivanc, M. (1982.): Prognoziranje maksimalnog zagađivanja procjednim vodama iz otpadaka komunalnih deponija, Zaštita, 25 (3) 1 – 85 (1982.), Sarajevo.
27. Ivković, Ž. (1998): Razvitak savske depresije u široj okolici Gojla tijekom mlađeg miocena, magistarski rad, Prirodoslovno matematički fakultet sveučilišta u Zagrebu,str 35-47.
28. Jahić, M. (1980): Deponije i zaštita voda, INZA i Geoinženjering, Sarajevo, 1980.
29. Jurković, J. (1995.): Zaštita podzemnih voda u okviru prve faze sanacije smetlišta Jakuševec, Gospodarstvo i okoliš, 5/95, pp. 305-308.
30. Kaić, D., Orešković, M. (1995.): Smetlište Jakuševec početna iskustva na izvedbi radne plohe za odlaganje otpada, Gospodarstvo i okoliš, 5/95, pp 313 – 316.
31. Katsoyianeis, I.A., Zouboulis, A.I., Jekel, M. (2004.): Kinetics of bacterial As(III) oxidation and subsequent As(V) removal by sorption onto biogenic manganese oxides during groundwater treatment. Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 43, 486-493.
32. Kovačević, S., Capar, A. (1972): Vodoistražni radovi u dolini Save kraj Samobora. Zbornik radova 2. Jugoslovenskog Simpozija o hidrogeologiji i inžinjerskoj geologiji l, Beograd.
33. Krajačić, D. (2010.): Pročišćavanje otpadnih voda, seminarski rad, Zagrebačko učilište, Ustanova za obrazovanje odraslih, Zagreb, ožujak 2010., pp 23.
34. Krešić, N., Vujasinović, S., Matić, I. (2006.): Remedijacija podzemnih voda i geosredine – Remediation of groundwater and geologic media. Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Smer za hidrogeologiju, Beograd, pp. 41.
35. Lide David R. (1991.): Handbook of Chemistry and Physics, 72nd edition; CRC Press; Boca Raton, Florida; 1991; ISBN 0-8493-0565-9
36. Mayer, D., Markovac, Z (1992.): Hidrogeologija područja smetlišta Jakuševac (Zagreb), Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol.4., pp. 15-21.
37. Mayer, D. (1993.): Kvaliteta i zaštita podzemnih voda, Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora, 1993 – pp. 146 page
38. Mayer, D. (2004.): Voda od nastanka do upotrebe, Prosvjeta, Zagreb, P 207., pp 63, 64, 96, 97
39. Milanović, Z. (1992.): Trajno odlaganje otpada, ZGO – Zagreb, svibanj 1992. pp. 192.

40. Milanović, Z. (1992.): Experience in and Perspective for Solid Waste Management in Zagreb. Industrial Waste Management. Envirotech VieNarodne Novinea, 1992., Proceedings, pp. 267-275.
41. Milanović, Z. (1992.): Trajno odlaganje otpada, ZGO – Zagreb, svibanj 1992. pp. 192.
42. Molina M. J. and Molina L. T. (2004.): Megacities and Atmospheric Pollution. Journal of the Air & Waste Management Association 54:644-680.
43. Nakić, Z. (2003.): Uzroci i posljedice promjene kakvoće podzemne vode na zagrebačkom području. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko- naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 165 pp.
44. Nakić, Z., Prce, M., Posavec, K. (2007.): Utjecaj odlagališta otpada Jakuševec-Prudinec na kakvoću podzemne vode. Rudarsko-geološko- naftni zbornik. Vol. 19, pp. 35 – 45. Rudarsko-geološko- naftni fakultet, Zagreb.
45. Nikolić, S., Milanović, Z., Švel, B. (1996.): Sanacija smetlišta Jakuševec u funkciji cjelovitog sustava gospodarenja otpadom i vodama na području grada Zagreba, IV. Međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom, Zagreb 1996., Gospodarstvo i okoliš, 5/96, pp. 439-444.
46. Oluić, M. (1995.): Primjena daljinskih metoda u istraživanjima odlagališta otpada – primjer "Jakuševec" (Zagreb), Gospodarstvo i okoliš, 5/95, pp 288 – 295.
47. Oluić, M., Buchroithner, M. F. (1996.): Low Cost Remote Sensing Investigations Of a Waste Dump Near Zagreb, International Archives Of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI, Part B7. VieNarodne Novinea 1996., pp 550 – 554.
48. Oluić, M. (1996.): Daljinska istraživanja u zbrinjavanju otpada, Gospodarenje otpadom – Zagreb '96, IV. Međunarodni simpozij, Zagreb, 20. – 22.11.1996. pp 28 – 41.
49. Oluić, M. (2001.): Snimanje i istraživanje zemlje iz svemira, Sateliti, senzori, primjena, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti i Geosat, Zagreb, pp. 516.
50. Papišta, D., Pašalić, G., Babić, D. (1998.): Metan u okolišu Jakuševca, Gospodarenje otpadom – Zagreb '98, V. Međunarodni simpozij, Zagreb, 25. – 27.11.1998. pp 547 – 554.
51. Oremland, R.S., Stolz, J.F. (2003.): The ecology of arsenic. Science, Vol. 300, 93-94.
52. Orešković, M., Rak, G. (1996.): Otplinjavanje radne plohe smetlišta Jakuševec, Gospodarenje otpadom – Zagreb '96, IV. Međunarodni simpozij, Zagreb, 20. – 22.11.1996. pp 323 – 330.
53. Oscarson, D. W., Huang, P. M., Liaw, W.K. (1981): Role of manganese in the oksidation of arsenite by freshwater lake sediments. Clays and Clay Minerals, vol. 29, 219-225.
54. Plišo, S. (1989): Otrovi putuju podzemljem. Zagrebačka vodoprivreda, No 32, 16-22, Zagreb.
55. Posavec, K. (2006): Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja. Doktorska disertacija. RGN fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
56. Posavec, K., Bačani, A, Kolačević, R. (2010.): Modeliranje transporta zagađivala u zagrebačkom vodonosniku u svrhu procjene ugroženosti rezerviranog prostora vodocrpilišta "Kosnica", 4. Hrvatski geološki kongres – Šibenik 2010., Knjiga sažetaka, pp. 223, 224.
57. Prelogović, E., Jamičić, D., Aljinović, B., Velić, J., Saftić, B. & Dragaš, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena. Zbornik radova 1. hrvatskog geološkog kongresa, knj. 2, 481-486, Zagreb.

58. Ružičić, S. (2012.): Procjena ugroženosti zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika potencijalno toksičnim metalima primjenom numeričkog modela transporta kroz nesaturiranu zonu. Doktorska disertacija u izradi, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, sveučilišta u zagrebu.
59. Šikić Sandra, Vasiljević Ratko, Andreis Svjetlana, Bradić Dubravka, (2005): Utjecaj odlagališta otpada Prudinec (Jakuševec) na kakvoću podzemne vode u njegovoj neposrednoj blizini. Stručno savjetovanje Zdravstvena ekologija EMAT, Zagreb, Gospodarstvo i Okoliš ISSN 1330-1152., rujan, 2005.
60. Šimunić A., Pikija M. i Jamičić D. (1972): Pleistocene Deposits of the Southern Slopes of Kalnik Mauntain. - Bull. sci. Yougosl. (A), 1973, Zagreb.
61. Šišović, A., Vađić, V., Pehnec, G. (2007.): Razine koncentracije žive u okolici odlagališta otpada, Peti znanstveno – stručni skup Zaštita zraka '07, Zadar 9-13 listopada, 2007., Zbornik radova, pp. 341 – 347.
62. Štromar, Lj. (1980): Značajni resursi prehrane za neke vrste ptica. Ekologija Vol. 15, No.1: 95-103.
63. Tušar, B., Markovinović, B., Pollak, Z. & Ordulj, B. (1991): Studija utjecaja na okolinu sanitarnih deponija komunalnog otpada : Donja Bistra, Dumovečki lug, Mraclin, Obreščica, Pokupsko, Pušća-Trstenik, Šuma Starča. Građevinski institut-Fakultet građevinskih znanosti, 221 p, Zagreb.
64. Vađić, V., Hršak, J. (1996.): Razine kemijskih onečišćenja u zraku u okolici odlagališta otpada "Jakuševec", Gospodarenje otpadom – Zagreb '96, IV. Međunarodni simpozij, Zagreb, 20. – 22.11.1996. pp 239 – 255.
65. Vađić, V., Hršak, J., Kalinić, N., Čačković, M. (1998.): Sezonske varijacije razina koncentracija kemijskih onečišćenja u zraku u Jakuševcu, Gospodarenje otpadom – Zagreb '98, V. Međunarodni simpozij, Zagreb, 25. – 27.11.1998. pp 495 – 512.
66. Vasiljević, R., Mihaljinec, M., Radman, I., Vulinović, S. (2007.): Opažanje kakvoće zraka u okviru projekta monitoring pri sanaciji odlagališta Jakuševec u vremenskom razdoblju od 2001. do 2005. Godine. Zaštita Zraka, Zadar, 9 – 13. Listopada 2007., Zbornik radova, pp. 229 - 234.
67. Vasiljević, R., Budiša, M. (2010.): Arsen u podzemnoj vodi kao posljedica utjecaja onečišćenja na promjene hidrogeoloških uvjeta, XI međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom, Zagreb., Zbornik radova, pp. 81-92
68. Vasiljević (2010.): Arsen u podzemnoj vodi kao posljedica utjecaja onečišćenja na promjene hidrogeoloških uvjeta, javni seminar iz teme doktorskog rada, pp. 26.
69. Velić, J. (1983): Neotektonski odnosi i razvitak zapadnog dijela Savske potoline. - Acta geologica, 13/2, 26-65, Zagreb.
70. Velić, J. & Saftić, B. (1991): Subsurface Spreading and Facies Characteristics of Middle Pleistocene Deposits between Zaprešić and Samobor. *Geološki vjesnik*, 44, 69–82.
71. Velić, J. & Durn, G. (1993): Alternating Lacustrine-Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. *Geologia Croatica*, vol. 46, no. 1, p. 71–90.
72. Velić, J., B. Saftić & T. Malvić: (1999): Lithologic Composition and Stratigraphy of Quaternary Sediments in the Area of the "Jakuševec" Waste Depository (Zagreb, Northern Croatia). *Geologia Croatica*, vol. 52, no. 2, p. 119–130.
73. Wilkie, J.A., Hering, J.G. (1998): Rapid oxidation of geothermal arsenic (III) in streamwaters of the eastern Sierra Nevada. Environmental Science & Technology, Vol. 32, 657-662.
74. Zanoni, A.E. (1972): Ground-Water Pollution and Sanitary Landfills - a Critical Review. Ground Water, No 10, 3-13, Louisville.

8.2. Iz arhiva stručne dokumentacije

1. API - Advanced Pollution Instrumentation, Inc. (1994) Instruction manual SO_2 Fluorescent analyser Model 100 A
2. API (a) - Advanced Pollution Instrumentation, Inc. (1998) Model 101 A Manual addendum, Model 101 A Hydrogen sulphide analyser Model 101 A
3. API (b) - Advanced Pollution Instrumentation, Inc. (1998) Model 201 A Ammonia analyser addendum
4. OPSIS (2000) DL 256 Datalogger System User's Guide
5. Bagarić, I. (2002.): Interventni crpni sustav i njegova uloga u sanaciji kvalitete podzemne vode nizvodno od odlagališta otpada Jakuševec, Fond stručne dokumentacije, ECOINA, d.o.o., pp. 12.
6. Bradić, D., Mihaljinec, M., Vasiljević, R., (2002): Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2001. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
7. Bradić, D., Vasiljević, R., Mihaljinec, M. i Suknaić, M. (2003) Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2002. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
8. Bradić, D., Vasiljević, R., Mihaljinec, M. i Suknaić, M. (2004): Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2003. godinu ECOINA d.o.o., Zagreb.
9. Bradić, D., Vasiljević, R., Mihaljinec, M. (2005) Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2004. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
10. Budiša, M., Vasiljević, R., Šnidaršić, T. (2010.) Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2009. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
11. Budiša, M., Vasiljević, R., Jergović, D. (2011.) Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2010. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
12. Elektroprojekt, d.d., Zagreb, Hidrograđevinski biro (1992.): Idejno rješenje zatvaranja smetlišta Jakuševec.
13. Elektroprojekt, d.d., Zagreb, Hidrograđevinski biro (1995.) [1]: Smetlište Jakuševec, Gospodarsko – tehničke usporedbe varijanata uređenja dna radne plohe.
14. Institut građevinarstva Hrvatske Zagreb, Zavod za geotehniku (1995.) [1]: Smetlište Jakuševec, Uvjeti gradnje brtvenih slojeva.
15. Institut Građevinarstva Hrvatske d.d., Zavod za planiranje, studije i zaštitu okoliša (2009.): Građevinski projekt plohe za azbestni otpad na odlagalištu otpada Jakuševec broj: 3230-729/09
16. Posavec, K., Bačani, A (2009.): Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Velika Gorica, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, pp. 77
17. Rupprecht & Patashnick Co., Inc. (1996) Operating manual TEOM Series 1400a, Ambient particulate (PM-10) monitor
18. Šnidaršić, T., Vasiljević, R., Budiša, M., Burela, S., Vulinović, B. (2010.): Cjeloviti sanacijski program smanjenja PM_{10} čestica u zapadnom dijelu grada Zagreba, ECOINA, d.o.o., Zagreb, pp. 106.
19. Tudić, E., Juko, M., Vasiljević, R. (2011.): Uzorkovanje karakterističnih vrsta otpada u 2011. godine. ECOINA d.o.o., Zagreb.
20. Vasiljević, R. (2006.): Osvrt na rezultate mjerenja kakvoće zraka na tri imisione postaje smještene oko lokacije odlagališta otpada Jakuševec od 2001. do 2005. godine., ECOINA, d.o.o., Zagreb
21. Vasiljević, R., Vulinović, S., Radman, I., Mihaljinec, M., Buva, P. (2007): Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2006. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.

22. Vasiljević, R., Vulinović, S., Radman, I., Mihaljinec, M., Buva, P., Popov, L. (2008): Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2007. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
23. Vasiljević, R., Vulinović, S., Radman, I., Mihaljinec, M., Buva, P. (2009): Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2008. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb.
24. Vasiljević, R., Tudić, E., Vulinović, S. (2010.): Geodetsko snimanje slijeganja tijela odlagališta, Godišnje izvješće br. 3/2010. ECOINA d.o.o., Zagreb.
25. Vulinović, S., Radman, I., Mihaljinec, M., Vasiljević, R., Burela, S., Mikulić, K. (2006) Opažanje kakvoće zraka, godišnje izvješće za 2005. godinu. ECOINA d.o.o., Zagreb
26. Vulinović, S., Jergović, D., Vasiljević, R. (2009.): Godišnje izvješće o provedenom ispitivanju sastava odlagališnog plina na odlagalištu otpada „Jakuševec“ za 2008. godinu. ECOINA, d.o.o., Zagreb.
27. Vulinović, S., Jergović, D., Vasiljević, R. (2010.): Godišnje izvješće o provedenom ispitivanju sastava odlagališnog plina na odlagalištu otpada „Jakuševec“ za 2009. godinu. ECOINA, d.o.o., Zagreb.
28. Zagrel (1999.): Automatska meteorološka postaja Zagreb – Jakuševec, Izvješće o radu Srpanj 1998. – Lipanj 1999., Zagreb, rujan 1999.
29. Zagrel (2000.): Automatska meteorološka postaja Zagreb – Jakuševec, 2. Izvješće o radu Srpanj 1999. – Veljača 2000., Zagreb, ožujak 2000.
30. ZGO (1996.): Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom grada Zagreba, Uređenje radne plohe smetlišta Jakuševec – Brošura.
31. GEOSAT (1996.): Širenje smetlišta od 1965. do 1995., objavljeno u brošuri ZGO (1996.): Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom grada Zagreba, Uređenje radne plohe smetlišta Jakuševec
32. GEOSAT (1995.): Aero foto snimke područja odlagališta otpada Jakuševec, svibanj, 1989., H≈700 m, M≈1:4650.
33. Vasiljević, R., Mihaljinec, M. (12/2002): Mjerenje razine podzemnih voda, izvješće za prosinac 2002. godine. ECOINA d.o.o., Zagreb.
34. Vasiljević, R., Mihaljinec, M. (03/2003): Mjerenje razine podzemnih voda, izvješće za ožujak 2003. godine. ECOINA d.o.o., Zagreb.
35. Vasiljević, R., Mihaljinec, M. (06/2003): Mjerenje razine podzemnih voda, izvješće za lipanj 2003. godine. ECOINA d.o.o., Zagreb.
36. Vasiljević, R., Mihaljinec, M. (09/2003): Mjerenje razine podzemnih voda, izvješće za rujan 2003. godine. ECOINA d.o.o., Zagreb.

8.3. Norme i legislativa

1. HRN EN 14212:2006 . Standardna metoda za mjerenje koncentracije sumporova dioksida u zraku ultraljubičastom fluorescencijom
2. HRN EN ISO/IEC 17025:2007, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija (ISO/IEC 17025:2005+Cor.1:2006; EN ISO/IEC 17025:2005+AC:2006) General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2005+Cor.1:2006; EN ISO/IEC 17025:2005+AC:2006)
3. HRN EN 14211:2005, Kvaliteta vanjskog zraka -- Standardna metoda za mjerenje koncentracije dušikova dioksida i dušikova monoksida u zraku kemiluminiscencijom (EN 14211:2005) Ambient air quality -- Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence (EN 14211:2005)

4. Ispravak uredbe o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 2/1997)
5. Nacrt uredbe o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka, DUZO.
6. ONORM M 5852:2007 Air Analysis - Sampling For Continuous Immission Monitoring
7. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne Novine 46/1994)
8. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne Novine 182/2004)
9. Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (Narodne Novine 47/2008)
10. Uredba o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (Narodne Novine 101/1996)
11. Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zraku (Narodne Novine 133/2005)
12. Zakon o zaštiti zraka (Narodne Novine 48/1995)

8.4. Web stranice

1. Ivšić T. (2009.): Geotehnika i zaštita okoliša 4a, Građevinski Fakultet Sveučilište u Zagrebu, predavanja za akademsku godinu 2009./2010. http://info.grad.hr/!res/gf_osoblje/1037358855/doc/geotehnika%20i%20za%C5%A1tita%20okoli%C5%A1a/za%20print%20u%20boji/giz-4a-boja.pdf (18.05.2011.).
2. Ivšić T. (2010.): Geotehnika i zaštita okoliša 5, Građevinski Fakultet Sveučilište u Zagrebu, predavanja za akademsku godinu 2009./2010. http://info.grad.hr/!res/gf_osoblje/1037358855/doc/geotehnika%20i%20za%C5%A1tita%20okoli%C5%A1a/za%20print%20u%20boji/giz-5-boja.pdf (18.05.2011.).
3. Milanović, Z. (2009.): Gospodarenje otpadom u gradu Zagrebu, Zagrebački holding d.o.o., podružnica ZGOS, pp. 15., www.zgos.hr (18.05.2011.)
4. TVZ - Tehničko veleučilište u Zagrebu (2009.): Odlagalište Jakuševec www.specgra.tvz.hr/php/skini_repoz.php?id=16309&id1=16&id2=2 (25.03.2010.).
5. ZGOS (2011.): Sustav otplinjavanja i plinsko postrojenje (MTEO Jakuševec) http://zgos.hr/default.aspx?id=32 (19.06.2011.)
6. ZGOS (2011.): Reciklaža građevinskog otpada http://zgos.hr/default.aspx?id=30 (19.06.2011.)
7. ZGOS (2011.): Biokompostiranje i ozemljavnaje http://zgos.hr/default.aspx?id=31 (19.06.2011.)

Ž I V O T O P I S

Ratko Vasiljević je rođen u Zagrebu 23. veljače 1975. godine, gdje je 1993. godine završio srednju školu "Rade Končar", smjer: Proizvodnja i održavanje električnih strojeva i uređaja. Dodiplomski studij geologije započeo je 1993. godine na Rudarsko-geološko-naftnom Prirodoslovno- matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Ukupni prosjek ocjena na dodiplomskom studiju iznosio je 4,02. Diplomirao je ocjenom izvrstan 3.12.1998. na smjeru Geologija ležišta mineralnih sirovina i primjenjena geofizika s radom *"Geokemijske značajke badenskih i panonskih taložina te ugljikovodika u bušotini Žutica – 1 Zapad "*. Voditelj rada bila je dr. sc. Gertrud Barić, viši znanstveni suradnik u geokemijskom laboratoriju INA-Naftaplin. U školskim godinama 1997/'98 i 1998/'99 je bio postavljen za demonstratora od strane prof.dr.sc. Brune Saftića.
Godine 1998. dobio je Rektorovu nagradu za studentski rad *"Dubinsko geološki odnosi područja Pavlovca na zapadnom rubu Moslavačke gore"*. Voditelj rada bio je prof. dr. sc. Zvonimir Hernitz, redovni profesor Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.
Nakon završenog studija, od 2000. godine, zaposlen je u tvrtki ECOINA d.o.o. u kojoj se bavi poslovima zaštite okoliša. Radi na izradama studija utjecaja na okoliš, s posebnim naglaskom na poglavlja vezana za geološke, hidrogeološke, inženjerskogeološke, seizmološke i hidrološke karakteristike lokacija zahvata.

Organizirao je i bio direktno odgovoran za operativni dio projekata (terenski istražni radovi) za potrebe više od pedeset studija utjecaja na okoliš. Sudjeluje u izradama elaborata zaštite okoliša, izradama sanacijskih programa, istražnih geoloških i hidrogeoloških radova, poslova monitoringa podzemnih, površinskih i otpadnih voda, istraživanja mineralnih sirovina.

Osim poslova usko vezanih za geološka istraživanja, sudjeluje u poslovima praćenja kakvoće zraka, emisija u zrak i meteoroloških elemenata, na poslovima uzorkovanja otpada, u tehničkom održavanju i kalibraciji mjernih instrumenata za praćenje kakvoće zraka, opreme za ispitivanje fizikalno kemijskih parametara vode i uvođenja akreditacije za prijavljene mjerne metode.

Neki znanstveni i stručni radovi:

- Dubravka Bradić, **Ratko Vasiljević,** Miljenko Mihaljinec, Marko Suknaić (2002): Opažanje kakvoće zraka u okviru projekta monitoring pri sanaciji smetlišta Jakuševec. VII Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom Zagreb 2002, Zbornik radova.
- **Ratko Vasiljević,** Đuro Bodrožić, Miljenko Mihaljinec, (2002): Mjerenje brzine podzemne vode na području odlagališta ˝Jakuševec˝ trasiranjem. VII Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom Zagreb 2002, Zbornik radova.
- Sandra Šikić, **Ratko Vasiljević,** Svjetlana Andreis, Dubravka Bradić, (2005): Utjecaj odlagališta otpada Prudinec (Jakuševec) na kakvoću podzemne vode u njegovoj neposrednoj blizini. Stručno savjetovanje Zdravstvena ekologija EMAT, Zagreb, Gospodarstvo i Okoliš ISSN 1330-1152., rujan, 2005.
- **Ratko Vasiljević**, Miljenko Mihaljinec, Stjepan Vulinović (2007): Opažanje kakvoće zraka u okviru projekta monitoring pri sanaciji odlagališta Jakuševec u vremenskom razdoblju od 2001. do 2005. godine. Monitoring of air quality in the framework of the monitoring project with remediation of the Jakuševec dumpsite in time period from 2001. to 2005. V Hrvatski Znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '07, Zadar – Borik 2007, Zbornik radova.
- **Ratko Vasiljević** & Budiša Mirko (2008): Remote sensing techniques in waste management- examples from the field. Proceedings of the First International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region. Zadar, Croatia, 22-24 September 2008. http://www.earsel.org/workshops/Zadar-2008/zadar-2008.pdf
- **Ratko Vasiljević** (2008): Pristup modeliranju toka podzemne vode / Approach to Modelling of Ground Water Flow. Gospodarstvo i Okoliš, ISSN 1330-1152. 93/2008., Rujan 2008. Zagreb.
- **Ratko Vasiljević** (2009): Organic Geochemistry, Meaning in Process of Hydrocarbon Investigation and Demonstration of Aplication on Samples From the Well Žutica – 1 zapad / Organska geokemija, značenje u procesu istraživanja ugljikovodika i demonstracija primjene na uzorcima iz bušotine Žutica – 1 zapad. Nafta, 11/2009.
- **Ratko Vasiljević,** Mirko Budiša (2010.): Arsen u podzemnoj vodi kao posljedica utjecaja onečišćenja na promjene hidrogeoloških uvjeta, XI međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom, Zagreb., Zbornik radova (u tisku).
- **Ratko Vasiljević** (2010.): Arsen u podzemnoj vodi iz prirodnih izvora, Hrvatske vode, 18(2010) 74, 297-304 Zagreb.