

## UTJECAJ ODLAGALIŠTA OTPADA PRUDINEC/JAKUŠEVEC NA ONEČIŠĆENJE OKOLIŠA

### IMPACT OF THE PRUDINEC/JAKUŠEVEC LANDFILL ON ENVIRONMENT POLLUTION

Damir BARČIĆ\*, Valentina IVANČIĆ\*\*

*SAŽETAK: Neuređena odlagališta otpada osnovni su problem zaštite okoliša u Hrvatskoj. U svezi navedenim, komunalni otpad i odlagališta kao Jakuševac predstavljaju za pojedine gradove iznimno velike troškove. Njihov utjecaj na okoliš je nepovoljan jer uzrokuje zagađenje voda, tla i zraka uz stalnu opasnost za zdravlje ljudi. Početak rješavanja problema započinje sanacijom neuređenih odlagališta otpada. Nakon toga potreban je zaokret u odnosu prema otpadu. Uspostava cjelovitog sustava gospodarenja otpadom sastavni je doprinos svih zakonskih mjera i propisa. U tom sustavu smanjuje se otpad i povećava uporaba, što donosi materijalnu i energetska korist. Na razini grada Zagreba i cijele države, u današnjim okolnostima provedba sustava daje višestruku korist u ekološkom i gospodarskom pogledu. U radu je dan prikaz odlagališta otpada Jakuševac, koje je složeni difuzni izvor onečišćenja i veliki je problem u pogledu mogućeg štetnog utjecaja na sve elemente okoliša, te je sanacija svakako bila neophodna. Zaštita podzemnih voda i zaštita zraka glavni su razlozi za uređenje odlagališta. Odlagalište otpada Jakuševac-Prudinec služilo je kao odlagalište komunalnog, neopasnog i industrijskog otpada Grada Zagreba i njegove okolice. Nekontrolirano odlaganje otpada na području današnjeg odlagališta otpada započelo je 1965. godine, a 1995. godine prostor odlagališta zauzima 80 ha. U tom je razdoblju neprimjereno odloženo 4,5 milijuna m<sup>3</sup> otpada, a do 2000. godine volumen odloženog otpada iznosio je 8 milijuna m<sup>3</sup>. Sanacija neuređene deponije otpada u uređeno sanitarno odlagalište završena je krajem 2003. godine. Odlagalište Jakuševac-Prudinec je od 1965. godine do početka devedesetih godina prošloga stoljeća zauzelo i zagađilo gotovo milijun m<sup>3</sup> tla (zemljanog materijala) i ozbiljno ugrozilo kakvoću pitke podzemne vode. Ovim istraživanjem prikazan je utjecaj odlagališta na podzemne vode te postupno širenje zagađenja prema istoku, što je potvrđeno pomicanjem granične linije zagađenja od Jakuševca prema Mičevcu, osobito u vrijeme promjenjivih hidrodinamičkih uvjeta u vodonosnom sloju. U radu su prikazani rezultati istraživanja uzročno-posljedične veze između odlagališta otpada Jakuševac i zagađenja podzemne vode (vidi slike 1–5). Sastav organskih zagađivala na odlagalištu Jakuševac upućuje na to da je ondje uz komunalni otpad, odlagan i otpad industrijskog podrijetla, koji sadržava brojne antropogene spojeve koji mogu nepovoljno utjecati na kakvoću podzemne vode. Stoga je nužno stalno praćenje dominantnih antropogenih spojeva u deponiranom otpadu i procjedinim vodama.*

*Ključne riječi: procjedne vode, odlagališni plin, sustav gospodarenja otpadom, grad Zagreb*

\* Doc. dr. sc. Damir Barčić, Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, E-pošta: damir.barcic@zg.htnet.hr

\*\* Valentina Ivančić, dipl. ing. agr. – uređ.krajobraza, E-pošta: val.ivancic@gmail.com

## 1. UVOD – Introduction

U području zaštite okoliša, otpad i odlagališta otpada su zasigurno temeljni problem u Hrvatskoj. Načini odlaganja otpada razlikuju se, i neki od njih su povoljniji glede očuvanja prirode i sastavnih dijelova okoliša; tla, zraka i vode. Osnovna podjela odnosi se na uređena i neuređena odlagališta otpada. Otpad su prema Zakonu o otpadu (*NN 178/04*) tvari i predmeti koje je pravna ili fizička osoba odbacila ili odložila, namjerava ih ili mora odložiti. Otpad nastaje kao posljedica svih ljudskih aktivnosti i u svim gospodarskim djelatnostima, a predstavlja gubitak materijala i energije. Komunalni otpad je prema Zakonu otpad iz kućanstva te otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti, ako je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava. Donosi troškove društvu koje treba osigurati njegovo sakupljanje, prijevoz i odgovarajuće zbrinjavanje kako bi se smanjili pritisci na okoliš. Otpad, tj. spojevi i tvari koje nastaju razlaganjem uzrokuju emisije u vode, zrak i tlo, koje mogu utjecati na zdravlje ljudi i okoliš. Koliki će taj utjecaj biti ovisi o količini i svojstvima otpada te o načinu postupanja s njim. Gospodarski rast i rastuća potrošnja materijala rezultiraju stalnim porastom količina otpada koji se bilježi u svim europskim zemljama, pa tako i u Hrvatskoj. Godišnja količina komunalnog otpada u Hrvatskoj je 1,2 milijuna tona, 279 kg komunalnog otpada po stanovniku (Radović i Nujić, 2003). Jedan od glavnih ciljeva u tom smislu je smanjivanje i bolje iskorištavanje (oporaba) otpada. Stoga je uveden i novi način na teorijskoj, a kasnije i na praktičnoj razini u postupanju s otpadom, sustav gospodarenja otpadom. Sustav obuhvaća mjere za smanjivanje i cjelovito gospodarenje s otpadom (Milanović et al. 2002). Gospodarenje otpadom uvijek treba započeti mjerama sprječavanja i smanjivanja na-

stanka otpada te postupanja s otpadom po gospodarskim načelima. Prema Potoniku (1997) takav pristup utemeljen na načelima održiva razvoja sadržan je u cjelovitom gospodarenju otpadom kroz koncept (I.V.O.) Izbjegavanja (smanjenje) otpada, Vrednovanja (korištenje) neizbježnog otpada, Odstranjivanje (obrada i odlaganje) ostatnog otpada.

U tu svrhu poduzimaju se akcije: sakupljanja, privremenog skladištenja, obrađivanja, materijalnog, biološkog i energetskog iskorištavanja s predobradom i obradom odvojeno sakupljenog otpadnog materijala, zatim otvaranje, zatvaranje i saniranje građevina namijenjenih odlaganju otpada i drugih otpadom onečišćenih površina. Kod već nastaloga otpada treba odabrati optimalnu metodu obrade ili konačnoga zbrinjavanja, koja će proizvesti najmanji rizik za ljudsko zdravlje i okoliš. Na primjer, odlaganje može imati potencijalno velik utjecaj na vode i tlo zbog teških metala u procjednim vodama (Barčić et al. 2005), na zrak zbog emisije metana, posebno ako se otpad odlaže na nekontrolirana i neuređena odlagališta. Nastajanje otpada treba promatrati kao dio sveukupnog materijalnog ciklusa, kako bi se mogle odabrati najbolje mogućnosti glede smanjivanja onečišćenja i kako bi se izbjeglo “prebacivanje” nastanka otpada iz jednoga dijela ciklusa u drugi. Optimiranje korištenja prirodnih bogatstava i smanjenje nastanka otpada postiže se povećanjem učinkovitosti proizvodnje te promjenama potrošačkih navika. Nažalost u Hrvatskoj još nema razvijenih odgovarajućih statistika koje bi omogućile praćenje indikatora povezanih s materijalnim tokovima, niti se koja institucija sustavno bavi ovim pitanjima.

### 1.1. Odlagališta otpada – Landfills

Odlagalište otpada (*deponija, smetlište*) je građevina namijenjena za trajno odlaganje otpada, kao organizirane komunalne djelatnosti. U sklopu odlagališta otpada mogu se nalaziti i građevine za skladištenje te obrađivanje otpada. Odlagališta se mogu podijeliti prema kategorijama, odnosno pravnom statusu, veličini, vrstama odloženog otpada, stanju aktivnosti, utjecaju na okoliš i opremljenosti.

Aktivna odlagališta prema Schaller i Subašić (2004), te Fundurulji i Mužiniću (2004) mogu se razvrstati u pet kategorija na temelju pravnog statusa (posjedovanje lokacijske, građevinske i uporabne dozvole):

1. *Legalna uređena odlagališta* otpada su građevine za (trajno) odlaganje otpada, predviđene odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima i sagrađene u skladu s važećim propisima, a rade uz odobrenje nadležnog tijela na temelju provedene procjene o utjecaju na okoliš te ishodenih dozvola. Razlikuju se: 1a – potpuno legalizirana uređena odlagališta koja

posjeduju sve tri dozvole, 1b – djelomično legalizirana uređena odlagališta koja raspolažu barem jednom dozvolom, a u fazi su ishodenja preostalih, 1c – uređena odlagališta u postupku legalizacije koja nemaju nijedne dozvole, ali su započela postupak ishodenja prve od njih (lokacijska dozvola)

2. *Službena odlagališta otpada* su velika odlagališta na koja komunalna poduzeća ili koncesionari na temelju odluke nadležnog tijela lokalne uprave i samouprave redovito i organizirano dopremaju i odlažu komunalni otpad. Nisu opremljena uređenom građevinom za odlaganje otpada i ne posjeduju nijednu od potrebnih dozvola. Uspostavljen je samo djelomičan nadzor i provode se neke mjere zaštite okoliša. Predviđena su dokumentima prostornog uređenja.
3. *Odobrena odlagališta* djeluju na temelju odgovarajućeg odobrenja nadležnog tijela lokalne samouprave. Na njih otpad dovoze manji koncesionari ili sami proizvođači otpada. Nisu opremljena uređe-

nim građevinama, nisu predviđena dokumentima prostornog uređenja.

4. *Dogovorna odlagališta* otpada su, uglavnom, neuređeni manji prostori za odlaganje otpada koji nisu predviđeni odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima i za koje nije proveden postupak procjene utjecaja na okoliš. Ona ne raspolažu nijednom od neophodnih dozvola, ali djeluju uz znanje ili u dogovoru s lokalnom samoupravom. Uglavnom nisu u sustavu službeno organiziranog dovoza otpada ovlaštenih osoba, na tim lokacijama otpad se povremeno poravnava i prekriva inertnim materijalom.
5. *“Divlja” odlagališta otpada* – smetlišta su manji neuređeni prostori koji nisu predviđeni za odlaganje otpada, a formirali su ih najčešće građani bez prethodnog znanja tijela lokalne samouprave. Ne raspolažu nikakvim dokumentima relevantnim za njihovo djelovanje, a otpad uglavnom individualno dovoze građani, bez ikakvih mjera zaštite i nadzora.

Osnovni elementi kod izgradnje uređenog odlagališta otpada su: 1. Temeljno tlo, 2. Temeljni zaštitni sustav, 3. Tijelo odlagališta, 4. Završni pokrov, 5. Sustav za otplinjavanje.

U izvedbi ovih elemenata koriste se sljedeći geosintetski materijali:

1. Geotekstili – polimerni materijali za razdvajanje dva geomehanički različita materijala, za filtriranje i dreniranje, za zaštitu drugih geosintetika.
2. Geomreže – polimerni materijali koji služe za armiranje, zaštitu od erozije.

## 1.2. Odlagališta i zaštita okoliša – *Landfills and environmental protection*

Razvoj urbanizacije i industrijalizacije utjecao je na povećanje problema sakupljanja i dispozicije čvrstih otpadaka. Rješavanje tog problema utječe na zdravlje ljudi kao i kvalitetu čovjekova okoliša. Izravne opasnosti su: širenje toksičnih tvari i plinova, zatim bakterija, virusa, plijesni, opasnost nastanka požara uslijed deponijskih plinova. Neizravne opasnosti predstavlja širenje neugodnih mirisa, prašine i pojava glodavaca, ptica i kukaca osobito na neuređenim odlagalištima. Nekontrahirana smetlišta trebaju se ili napustiti uz sanaciju, ili sanirati za daljnju uporabu. Daljnje odlaganje putem deponiranja zahtijeva poznavanje različitih postupaka koji omogućuju pravilno planiranje, projektiranje, izgradnju i eksploataciju deponija uz kontrolu njegovog utjecaja na čovjekov okoliš. Najveću opasnost predstavljaju otpaci odloženi na divljim, nekontroliranim odlagalištima, gdje dolazi do zagađenja gotovo svih dijelova čovjekova okoliša, posebno voda, površinskih i podzemnih. Na taj način odlagalište otpada predstavlja izravnu opasnost za zdravlje ljudi. Danas se nastoji sve više primijeniti model sanitarnog deponija uz sve veću primjenu reciklaže tj. odvajanja korisnog otpada i to na

3. Geomembrane – nepropusne polimerne folije koje služe za sprječavanje prolaza tekućina ili plinova.
4. Geokompoziti - različiti geosintetički materijali koji se koriste za dreniranje.

Svakim se danom tone komunalnog otpada odlažu na već prepune deponije ili se nelegalno odlažu na divlja odlagališta. Odlagališta otpada su mjesta na kojima se otpad vremenom potpuno neutralizira, razgradi i mineralizira, a da se pritom odvijaju više ili manje intenzivni kemijski, fizikalni i mikrobiološki procesi razgradnje, pri čemu se oslobađa vodena para, različiti plinovi i toplina. Intenzitet tih procesa ovisi o sastavu otpada, sadržaju vlage, udjelu i vrsti organskih tvari, načinu odlaganja otpada, gradnji odlagališta, te o meteorološkim čimbenicima. Odlagalište otpada Jakuševac složeni je difuzni izvor onečišćenja i veliki je problem u pogledu mogućeg štetnog učinka na sve elemente okoliša, te je sanacija koja je provedena svakako bila neophodna. Povezanost onečišćenja zraka i štetnih učinaka na zdravlje ljudi tema su mnogobrojnih epidemioloških studija, a sve je veća pozornost usmjerena upravo nastanku subkroničnih i malignih bolesti pri niskim razinama onečišćenja, ali i pri dugotrajnoj izloženosti. Osim onečišćenja zraka, eluat je u svakom slučaju izvor problema na odlagalištima. Eluat je zagađena procjedna voda (filtrat) deponija koja se procijedila kroz slojeve odloženog otpada i na taj način prikupila velike količine otopljenih i suspendiranih tvari, uključujući proizvode biokemijskih reakcija (Milanović, 1992).

mjestima njegovog nastanka, a koji se tada koristi kao sekundarna sirovina.

Pravilno projektiranje i izgrađene deponije predstavljaju objekte koji daju najveću sigurnost glede štetnog utjecaja na okoliš, uz uvjet da su provedene sve mjere vezane uz planiranje, realizaciju, eksploataciju i uređenje. Budući da deponije egzistiraju na otvorenom, izložene su atmosferskim utjecajima, a s izgradnjom deponije nastoji se što manje narušiti prirodna ravnoteža u okolišu. Stoga je potrebno provesti i niz preventivnih mjera koje su povezane s problematikom voda, bilo kao zaštita od štetnog djelovanja ili zaštita voda od zagađenja. Osnovni problemi odlagališta su procjedne vode i stvaranje deponijskog plina.



### 1.3. Zaštita podzemnih voda na odlagalištima – *Groundwater protection on landfills*

Procjedne vode izravno ugrožavaju površinske i podzemne vode na području i u okolici odlagališta. Procjedne vode mogu biti onečišćene organskim tvarima i zasićene anorganskim spojevima. U njima se nalaze nedopuštene koncentracije koliformnih i patogenih bakterija, zatim moguće su koncentracije cijanida, te soli teških metala. Jedna od mjera zaštite je da se filtrat ne upušta u podzemne vode prije nego se on pročisti. Filtrat se može upuštati u podzemne vode preko zona aeracije koje predstavljaju prirodne filtre ili se pak može vršiti upuštanje filtrata u dublje hidrogeološke slojeve preko upojnih bunara, ali samo ako za to postoje povoljni uvjeti.

Zaštita podzemnih voda obavlja se uređenjem nepropusne podloge deponija i odvodnjom filtrata do najnižeg mjesta, odakle se odvodi na tretman. Sve to ovisi

### 1.4. Zaštita zraka i emisije na odlagalištima – *Air and emissions protection on landfills*

Razgradnja organskog dijela odloženog otpada praćena je stvaranjem plinova. Na svim odlagalištima otpada koje sadrže biorazgradljive organske tvari nastaje bioplina ili deponijski plin. Prema Milanoviću (1992) procesi truljenja i razgradnje traju stotinjak godina, a razlikuju se četiri faze: aerobna faza, anaerobna nemetanska faza, anaerobna nestabilna metanska faza i anaerobna stabilna metanska faza. Plin koji je prisutan u aerobnoj fazi razgradnje sadrži  $O_2$  i  $N_2$ , a u toj fazi nastaje i najveća količina  $CO_2$ . U anaerobnim uvjetima nastaje  $CH_4$  i nešto manja količina već spomenutog  $CO_2$ .  $CO_2$  je teži od zraka, pa pada na dno gdje se topi u vodi te povećava kiselost i korozivnost procjednih voda.  $CH_4$  je plin bez boje i mirisa, slabo se otapa u vodi, a u koncentraciji od 5 do 15 % sa zrakom stvara eksplozivnu smjesu. Nastajanje plinova može predstavljati opasnost zbog zapaljivosti i u određenim slučajevima eksplozivnosti metana. Stvaranje metana negativno djeluje i na završni vegetacijski pokrivač odlagališta. Zbog toga je potrebno provesti kontrolirano otplinjavanje, kako bi se

o lokaciji na kojoj se nalazi deponija, tj. o geološkoj podlozi. Stoga bi kod izrade deponije trebalo voditi računa da se ona locira tamo gdje nije potrebna izgradnja umjetne nepropusne podloge, a ako to nije slučaj, potrebno je postaviti umjetnu zaštitu za sprečavanje dotjecanja bočnih voda sa zonom deponiranja, čime se ujedno i sprječava zagađenje podzemnih voda. Veliki problemi javljaju se u ravničarskim područjima, na velikim aluvijalnim terenima gdje se nema velikog izbora za lociranje deponija, već se mora postaviti na dijelu gdje su i značajni izvori podzemnih voda koje tada treba zaštititi od zagađivanja. Tada se oko deponije izvodi sustav drenaže, koji preko zone aeracije prirodno pročišćuje filtrat, zatim prihvaća i odvodi do sabirnog bunara iz kojeg se može provesti crpljenje vode koja se ne koristi za vodoopskrbu.

izbjela ekološka nesreća. Daljnji problem nastajanja plinova može biti neugodan miris koji je uzrokovan tragovima  $H_2S$  i hlapivih organskih spojeva kao što su merkaptani. Miris se može neutralizirati sakupljanjem i spaljivanjem plinova. Najčešća tehnika za kontrolu puteva plinova je izgradnja glinenih barijera i odzračnih okna. Otplinjavanje se provodi ugrađivanjem okomitih šljunčanih kanala promjera 100 cm na međusobnoj udaljenosti od oko 40 m. Odzračnici su izvedeni tako da su betonske, izbušene cijevi postavljene okomito u tijelo odlagališta i ispunjene batudom. Kada se oko istih otpad zapuni, na postojeće cijevi postavljaju se nove. Na ovaj način sukcesivno nastaje ventilacijski kanal koji raste zajedno s visinom odlagališta. Pri zatvaranju odlagališta u te šljunčane kanale potrebno je ugraditi perforiranu HDPE cijev promjera 100 mm.

Čimbenici koji utječu na količinu nastalih plinova su: sastav otpada, temperatura, pH vrijednost i sadržaj vlage u tijelu odlagališta.

## 2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM – Research goals and discussion

### 2.1. Zaštita podzemnih voda – *Protection of groundwater*

Podzemne vode čine značajan dio čovjekova okoliša jer predstavljaju konačan recipijent svih zagađivala iz atmosfere, površinskih voda i tla, a često su glavna i jedina mogućnost vodoopskrbe. Danas su slučajevi zagađivanja podzemnih voda sve češći i drastičniji, a s većim potrebama za vodom češći su i sukobi interesa oko vode. Zaštita podzemnih voda ovisi o skupu mjera i akcija koje se poduzimaju da se osigura trajna eksploatacija podzemne vode određene kvalitete, a njena cijena ovisi o traženom standardu tj. o samim potrebama korisnika vode. Zagađivanje podzemnih voda danas je nemoguće izbjeći, a vjerojatnost zagađenja je najveća tamo gdje su i potrebe za vodom najveće.

Zaštita podzemnih voda provodi se na tri razine:

1. zaštita strateških zaliha podzemnih voda
2. zaštita crpilišta
3. zaštita eksploatacijskih objekata – zdenaca

1. Zaštita strateških zaliha podzemnih voda

Zaštita se provodi racionalnim korištenjem prostora, a zalihe se štite u općem interesu.

Važnu ulogu imaju prostorni planovi na regionalnom i općinskoj razini, gdje su izdvojene zone sa strateškim zalihama podzemnih voda, a unutar njih područja na kojima su zbog hidrogeoloških prilika podzemne vode najviše ugrožene. Namjena takvih područja je strogo ograničena.

Drugi način zaštite strateških zaliha podzemne vode je pravilan odabir lokacija za izgradnju objekata potencijalnih zagađivača. Tu se koriste razni kriteriji npr. demografski, klimatološki, prometni, vegetacijski, pedološki, hidrološki, hidrogeološki, a svi oni čine skup zahtjeva za postizanje cilja tj. zaštite podzemnih voda.

## 2. Zaštita crpilišta i izvorišta podzemnih voda

Provodi se uspostavljanjem zona sanitarne zaštite oko tih objekata. Kod određenih zona sanitarne zaštite primjenjuje se načelo empirijskog dimenzioniranja zone i zabrana određenog ponašanja u tim zonama ili se temelji na teoretskim postavkama o transportu zagađivala kroz poroznu sredinu. Empirijska metoda koristi se kod nas, te je u potpunosti prenesena u naše propise. Određivanje zona sanitarne zaštite empirijskim načinom – tu se oko izvorišta ili crpilišta podzemnih voda uspostavljaju tri zone sanitarne zaštite:

- zona – zona crpilišta/izvorišta
- zona – uža zaštitna zona
- zona – šira zaštitna zona

## 3. Zaštita eksploatacijskih objekata – zdenaca

Njihova zaštita se provodi pravilnim lociranjem, projektiranjem i izvedbom, te mjerama zaštite tijekom izvedbe i eksploatacije. Najbolja zaštita je lociranje zdenaca na takva mjesta gdje ne postoji mogućnost njihovog zagađivanja, a to se obavlja na temelju ocjene čimbenika koji pokazuju ugroženost zdenaca kao što su:

- dubina podzemne vode
- sorpcijska sposobnost vodonosnih naslaga
- udaljenost od poznatog izvora zagađenja

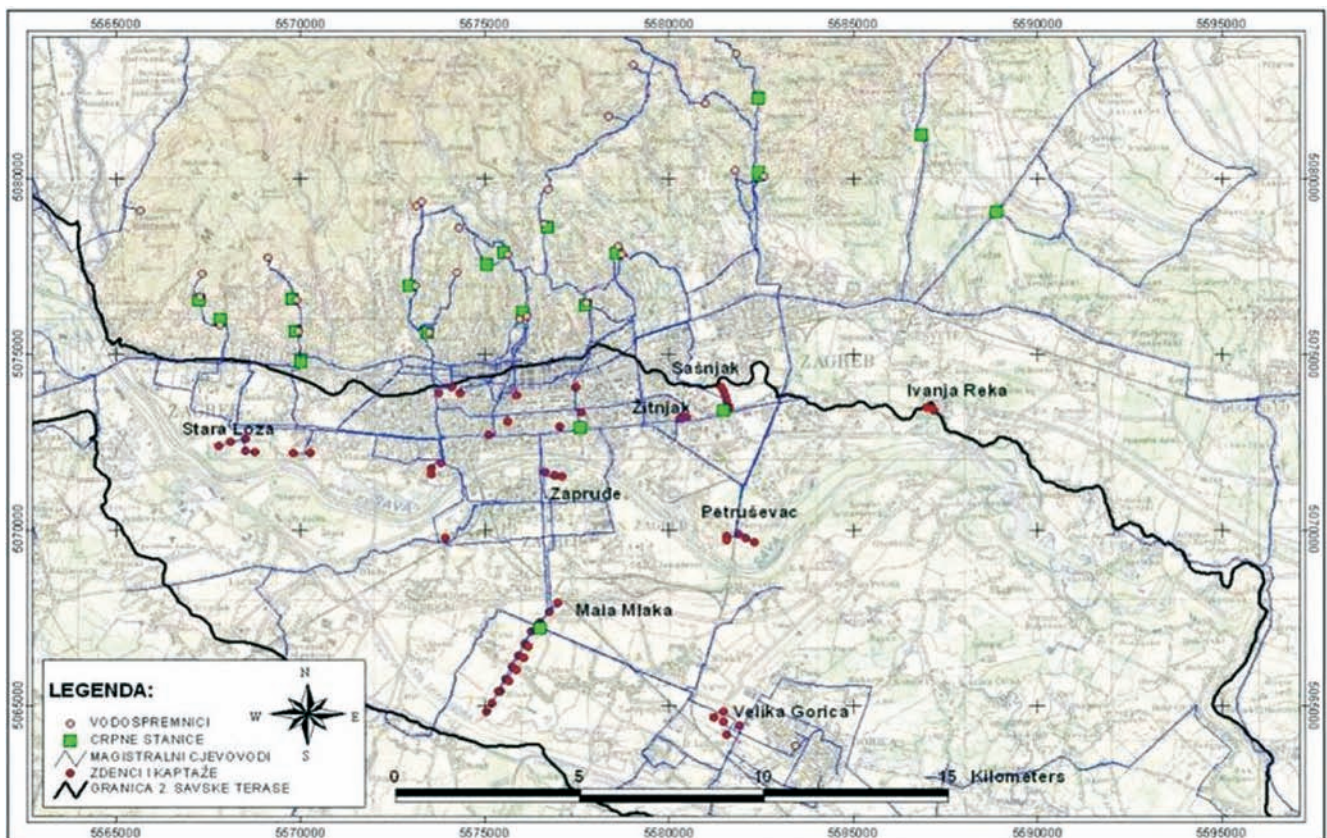
Zaštiti podzemnih voda doprinosi i dobar smještaj bunara unutar odabrane lokacije. Zdenac treba izvesti na najvišem dijelu terena, a mjesto oko zdenca treba biti pristupačno.

## 2.2. Osnovne značajke vodocrpilišta Grada Zagreba

### *Basic characteristics of the City of Zagreb water supply zone*

Zagrebački se vodoopskrbni sustav proteže od slovenske granice do Sesveta i od padina Medvednice do Kravarskog, na području od oko 800 km<sup>2</sup> sa 2.400 km cjevovoda. Za zadovoljavanje potrebe opskrbe vodom u pogonu je 30 bunara na 8 većih crpilišta. Kao cjelina sustav raspolaže sa 5.000 l/s vode. Značajni su veliki gubici vode, tj. velika razlika između tzv. dignute i naplaće-

ne vode. Od devedesetih godina sustavno se prati kakovća podzemnih voda na priljevnim područjima vodocrpilišta. Povod uvođenju kvalitetnijeg i sustavnog praćenja bilo je onečišćenje podzemnih voda razvojem industrijskih i drugih gradskih sadržaja, kada su u razdoblju osamdesetih godina iz upotrebe isključena mnoga gradska crpilišta (Selska, Zagorska, Vrapče, Daničićeva,



Slika 1. Vodoopskrbni sustav Grada Zagreba (Izvor: Izvješće o stanju okoliša Grada Zagreba, 2006)

Figure 1 Water supply system of the City of Zagreb (Source: Environment Report of the City of Zagreb, 2006)



Prečko, Horvati, Zadarska, Kruge, Držičeva, Remetinec, Botanički vrt, Branimirova tržnica kao i Žitnjak).

U prvim godinama praćenja popunjena je mreža piezometarskih bušotina na glavnim smjerovima toka podzemnih voda prema vodocrpilištima, osobito na tokovima od većih evidentiranih i potencijalnih zagađivača, kako bi se omogućila što brža intervencija u slučaju zagađenja. Praćenje kakvoće podzemnih voda priljevnih područja crpilišta koja su na području Grada Zagreba ili su važna za vodoopskrbu Grada Zagreba, obuhvaćaju aktivna crpilišta, crpilišta koja nisu u funk-

ciji i planirano crpilište. To su: Mala Mlaka, Petruševac, Velika Gorica, Sašnjak i Žitnjak, Zapruđe, Strmec, Stara Loza, Prečko, Horvati, gradska crpilišta i buduće crpilište Črnkovec – Kosnica. Sva ispitivanja, prema programima koji se prihvaćaju u poduzeću *Hrvatske vode*, obavlja ovlaštenu laboratorij poduzeća *Vodoopskrba i odvodnja, Sektor vodoopskrbe*. Planom za zaštitu voda od zagađivanja iz 1986. i Planom za zaštitu voda Grada Zagreba propisna je i obveza kontrole kakvoće podzemne vode.

### 2.3. Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac – *Landfill Prudinec/Jakuševac*

Odvoženje otpada na velika odlagališta još uvijek je najviše korišten način za postupanje s otpadom u Europi i u svijetu. Nažalost, mnoga od tih odlagališta otpada nisu opremljena prikladnim sustavima za sprječavanje emisija štetnih tvari u okoliš, kao što su prikupljanje procjednih voda i plinova koji u odlagalištima nastaju u velikim količinama, posebno u ranim fazama stabilizacije otpada. Odlagališta otpada funkcioniraju kao golemi mikrobiološki i kemijski reaktori, a do potpune stabilizacije odloženog materijala dolazi tek nakon vrlo dugih razdoblja. Za pojedine vrste onečišćenja ta se razdoblja mjere desetljećima. Pri tom treba naglasiti da do intenzivne emisije plinova dolazi

tijekom prvih nekoliko godina stabilizacije otpada, pa je za razmatranje mogućih dugoročnih utjecaja na okoliš najvažnije poznavati i stalno pratiti kvalitetu procjednih voda. Postoje brojna izvješća u literaturi koja pokazuju da otpuštanje različitih organskih i anorganskih sastojaka iz odlagališta otpada bez zaštitnih sustava može dovesti do znatnog zagađenja podzemnih voda. Prodor štetnih onečišćenja podzemne vode posebno je izražen u blizini odlagališta mješovitog karaktera na koja je uz kućanski, odlagan i industrijski otpad. U takvu kategoriju pripadalo je sve do nedavno dovršene sanacije i glavno odlagalište otpada grada Zagreba (odlagalište Jakuševac).



Fotografija 1. Odlagalište prije završetka sanacije 2000. godine  
Photo 1 *Landfill before the completion of the remediation process in 2000*

(Foto – photo: Damir Barčić)



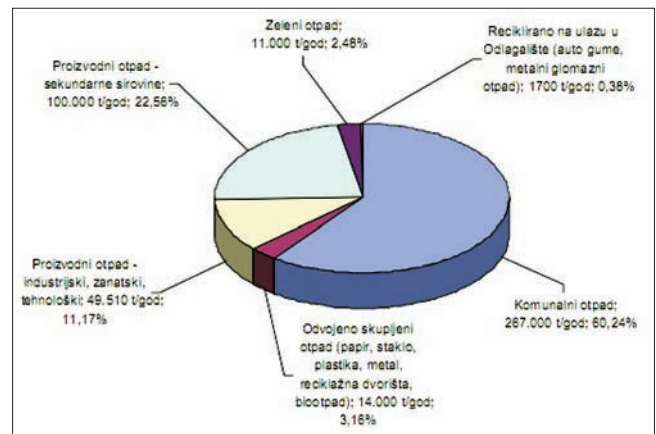
Fotografija 2. Radovi na sanaciji odlagališta  
Photo 2 *Landfill remediation activities*

(Foto – photo: Damir Barčić)

Odlagalište otpada Jakuševac-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 400 m od naselja Jakuševac. Odlagalište se pruža u smjeru sjeverozapad-jugoistok, duž nasipa rijeke Save od kojega je odvojeno lokalnom cestom. Nekontrolirano odlaganje otpada na području današnjeg odlagališta otpada Jakuševac-Prudinec započelo je 1965. godine, a 1995. godine prostor odlagališta zauzima 80 ha (Nakić et al. 2007). U tom je razdoblju neprimjereno odloženo 4,5 milijuna m<sup>3</sup> ot-

pada, a do 2000. godine volumen odloženog otpada iznosio je 8 milijuna m<sup>3</sup>. Odlagalište je zbog zanemarivanja problema postalo najveće neuređeno odlagalište otpada u jugoistočnom dijelu Europe. Sanacija neuređene deponije otpada u uređeno sanitarno odlagalište završena je krajem 2003. godine. Odlagalište Jakuševac-Prudinec je od 1965. godine do početka devedesetih godina prošloga stoljeća zauzelo i zagađilo gotovo milijun m<sup>3</sup> tla (zemljanog materijala) i ozbiljno ugrozilo kakvoću pitke podzemne vode. Ispitivanja kakvoće podzemne vode na lokaciji odlagališta provodili su Zavod za javno zdravstvo Grada Zagreba i Institut Ruđer

Bošković od 1986. do 1998. godine u cilju praćenja zagađenja na lokacijama pojedinih pijezometara. Osim registriranja vrijednosti pokazatelja kemijskih i bakterioloških analiza većih od MDK za pitke vode, nije provedena interpretacija podataka u cilju analize promjene kakvoće podzemne vode šireg područja odlagališta. Istraživanje utjecaja odlagališta Jakuševac na podzemne vode provedeno je 2002. godine u okviru cjelovitog istraživanja kakvoće podzemne vode zagrebačkog vodonosnog sustava (Nakić, 2003). Ovim istraživanjem dokazan je utjecaj odlagališta na podzemne vode te postupno širenje zagađenja prema istoku, što je potvrđeno pomicanjem granične linije zagađenja od Jakuševca prema Mičevcu u vrijeme promjenjivih hidrodinamičkih uvjeta u vodonosnom sloju. U radu su prikazani rezultati daljnjih istraživanja uzročno-posljedične veze između odlagališta otpada Jakuševac i zagađenja podzemne vode.



Slika 2. Procjena količine i strukture otpada Grada Zagreba bez građevinskog i opasnog otpada – stanje 2004.

(Izvor: Izvješće o stanju okoliša Grada Zagreba, 2006)

Figure 2 Assessment of the quantity and structure of waste for the City of Zagreb, excluding construction and hazardous waste – state in 2004

(Source: Environment Report of the City of Zagreb, 2006)

## 2.4. Opis istraživanog područja i uzorkovanje

### *Description of the research area and sampling*

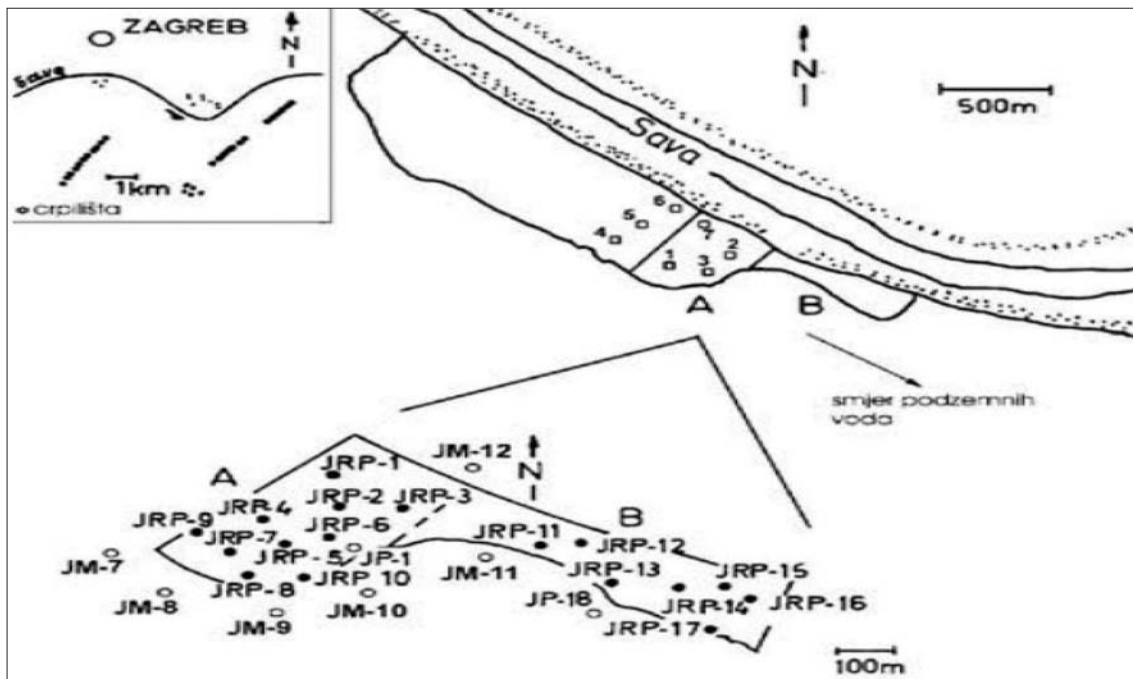
Odlagalište Jakuševac bilo je jedan od najvećih i najtežih ekoloških problema na području grada Zagreba. Ponajviše radi činjenice da su ondje bile odložene goleme količine otpada različita podrijetla ali i zbog njegova vrlo nepovoljnog smještaja uzvodno od područja Črnkovca, gdje se nalaze glavne pričuve kvalitetne podzemne vode za vodoopskrbu grada Zagreba. Iako su geološke i hidrološke karakteristike područja vrlo nepovoljne za smještaj odlagališta otpada, za određivanje lokacije prevagnula je praktična činjenica o položaju i udaljenosti samo 5 km od središta grada. U

studenom 1998. godine Grad Zagreb je Ugovorom o jamstvu i podršci projektu dogovorio s Europskom bankom za obnovu i razvitak (EBRD) zajam za provođenje sanacije odlagališta. EBRD je odobrio taj zajam tvrtki ZGOS, uz dugoročno zaduživanje u iznosu od 85.661.586 €. U listopadu 2001. godine ZGOS je smanjio iznos zajma te on sada iznosi 66.467.945 €. Do danas Grad Zagreb je na sanaciju odlagališta ukupno uložio: 34.000.000 € i time spriječio daljnje zagađivanje podzemne vode, zraka i tla cjelokupne lokacije.

### 2.4.1. Hidrogeološke značajke lokacije – *Hydrogeological features of the location*

Na području Jakuševca vodonosni sedimenti sastoje se od šljunkovitog materijala s promijenjivim udjelom pijeska, dok se nepropusni glinoviti slojevi nalaze razmjerno duboko (50m), što povoljno utječe na prihranjivanje aluvijalnog vodonosnika iz rijeke Save, ali ujedno omogućava veliku vertikalnu i horizontalnu pokretljivost onečišćenja. Dubina nepropusnog sloja raste u smjeru istoka i dostiže dubinu od 90 m. Hidrološki režim rijeke Save znatno utječe na transport onečišćenja podzemnim vodama, jer je smetlište od korita rijeke udaljeno samo oko 200 m. Smjer podzemnih voda značajno se mijenja s vodostajem Save, a za srednjeg vodostaja tok podzemnih voda usmjeren je prema području Črnkovca. Brzina kretanja podzemnih voda također je vrlo promjenjiva. Prosječna brzina u gornjim slojevima je oko 5 m na dan, dok je u nekim slojevima izmjerena vrlo visoka brzina (do 23 m na dan). Vodno lice na području Jakuševca nalazi se na dubini od 5 m do 7 m, pri čemu treba naglasiti da je dno deponije bilo smješteno samo 2 do 4 m iznad vodnog lica.

Neposredno prije njegova nedavnog pretvaranja u uređeni sanitarni deponij, na toj je lokaciji ukupno odloženo više od 5 milijuna tona otpada na površinu od 800.000 m<sup>2</sup>. Procjenjuje se da svaki građanin Zagreba proizvede na dan gotovo 1 kg otpada, te je tako tijekom 2003. godine na deponij Jakuševac-Prudinec dovezeno ukupno 266.475 t otpada, od čega je oko 190.210 bio komunalni otpad, 65.476 t glomazni i 10.790 t ulični otpad. Do sanacije smetlišta otpad je odlagan izravno na visokopropusne aluvijalne sedimente. Visina sloja deponiranog smeća na smetlištu Jakuševac jako je varirala u pojedinim sektorima smetlišta i kretala se od 0 m do 12 m. U razdoblju kad je istraživanje provedeno prosječna starost otpada u promatranom jugoistočnom dijelu smetlišta bila je manja od 10 godina, te su se značajne količine odloženog otpada nalazile u vrlo aktivnoj acetogenoj fazi stabilizacije, koju karakterizira vrlo jaka emisija tvari u okoliš, kako u plinovitoj fazi, tako i u topljenoj fazi putem procjednih voda. Dublji slojevi odlagališta bili su u metanogenoj fazi razgradnje.



Slika 3. Položaj odlagališta otpada Jakuševac s naznačenim mjestima uzorkovanja u njegovu jugoistočnom dijelu: istražne bušotine u otpadu (ispunjeni kružići); piezometri za uzorkovanje podzemne vode (prazni kružići), lokacije prikupljanja procjednih voda – kvadratići (Izvor: Ahel et al. 2006)

Figure 3 Position of Jakuševac landfill with marked sampling points in its southeastern part: borehole (filled circles); piezometers for groundwater sampling (empty circles), locations of leachate collection – squares. (Source: Ahel et al. 2006).

Da bi se proučio mogući utjecaj odloženog otpada na podzemne vode, načinjena su sustavna uzorkovanja otpada. Tla ispod otpada, te podzemnih voda ispod i u blizini smetlišta. Uzorci smeća i tla dobiveni su bušenjem na dubinama od 10 m do 25 m i to tako da vertikalna struktura jezgre (promjer 10 cm) ostane neporemećena. Diskretni uzorci smeća i tla dobiveni iz slojeva debljine 1 m sušeni su na zraku te je prosijavanjem za daljnju analizu izdvojena frakcija sitnija od 2 mm. Za analizu

smeća uzeti su kompozitni uzorci koji su pripremljeni miješanjem poduzoraka iz slojeva s različitih dubina, dok su analize tla ispod otpada i vodonosnih sedimenata načinjene za svaki sloj posebno, što je omogućilo uvid u detaljnu vertikalnu raspodjelu onečišćenja. Uzorci podzemne vode uzeti su uronjivom crpkom malog kapaciteta ( $0.5 \text{ L min}^{-1}$ ) čime je omogućeno uzorkovanje različitih slojeva podzemne vode.

#### 2.4.2. Kemijski sastav otpada i prostorna raspodjela onečišćenja

##### *Chemical composition of waste and spatial distribution of pollution*

Određivanja osnovnih fizičko-kemijskih svojstava otpada pokazala su da prosječni udio organske tvari u otpadu iznosi oko 21%, a visok sadržaj humusa (6 % do 22 %) potvrdio je da se pretežno radi o transformiranim organskim tvarima prirodnog podrijetla. Ipak, uzimajući u obzir činjenicu da je na odlagalištu odloženo više od 5 milijuna tona otpada, to ga čini golemim spremnikom za otpuštanje organskih spojeva u okoliš. Dio tih tvari prikazan je u tablici 1. Nasreću, istraživanja su pokazala prema Zavodu za istraživanje mora i okoliša, Institut „Ruđer Bošković“ iz 2006. godine da je udio frakcije organske tvari koja se može lako remobilizirati vodom samo 1% do 3%. Omjer biološke potrošnje kisika (BPK) i kemijske potrošnje kisika (KPK) bio je nizak, što upućuje na rezistentan karakter te mobilne frakcije. Iako se u pogledu ekotoksikoloških svojstava kod visokomolekularnih humusnih tvari radi o relativno neopasnom materijalu, povećanje koncentra-

cije organskog ugljika u podzemnoj vodi je nepovoljno. Predstavlja mogući izvor nepoželjnih genotoksičnih halometana prilikom kloriranja vode prije distribucije u vooopskrbnu mrežu.

Uz makromolekularne spojeve, primjenom vezanog sustava GC/MS identificiran je veći broj pojedinačnih spojeva različita podrijetla. Identificirani spojevi mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine (slika 4): a) obilježivače biološkog otpada i njegove mikrobne transformacije (kratkolančane alifatske kiseline, fenoli, derivati abijeinske kiseline) i b) obilježivače antropogenog otpada (ugljkovodici, klorirani ugljikovodici, ftalati, spojevi podrijetlom iz detergenata, farmaceutski spojevi). Treba naglasiti da su ti pojedinačni spojevi prisutni u mnogo nižim koncentracijama. Međutim, uzevši u obzir zaštitu i očuvanje podzemnih voda puno su važniji od makromolekularnih tvari humusnog karaktera.

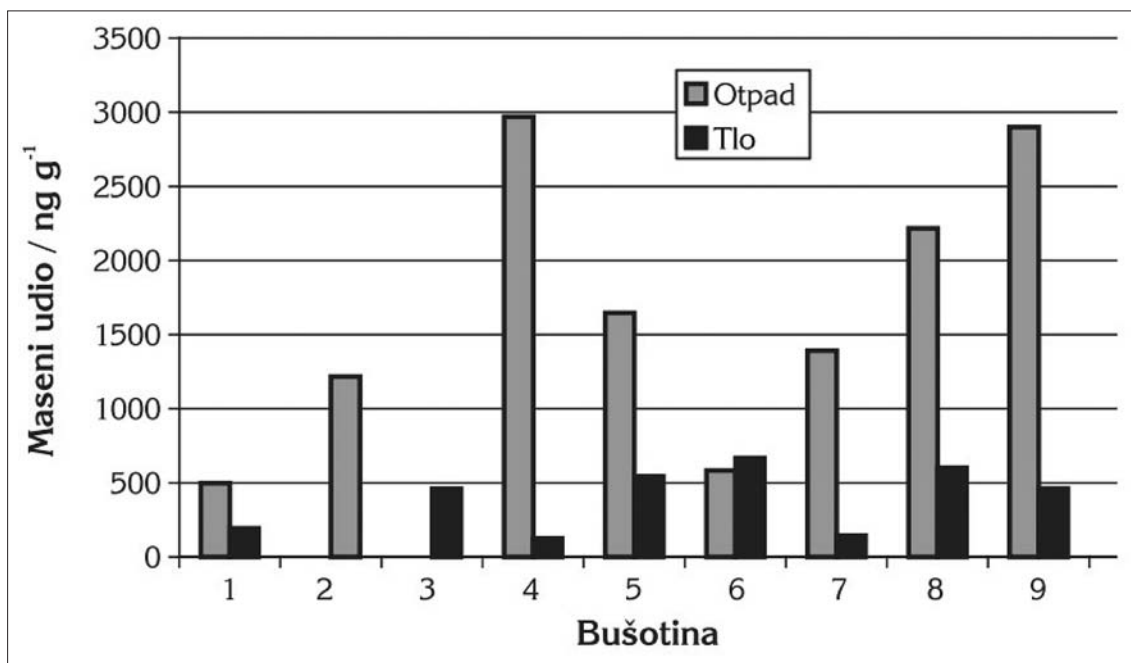


Tablica 1. Glavni tipovi specifičnih organskih spojeva identificiranih u uzorcima otpada i tla na odlagalištu otpada Jakuševac (Izvor: Ahel et al. 2006)

Table 1 Main types of specific organic compounds identified in waste and soil samples collected from the Jakuševac landfill (Source: Ahel et al. 2006)

Sastojci	Otpad	Tlo ispod odlagališta	Podrijetlo
n-alkani	d, e	c, d	nafta/biološko
razgranati alkani	d, e	c, d	nafta
cikoalkani	d, e	a, b	nafta
abijetanski ugljikovodici	c, d	d, e	dijagenetsko
alkilbenzeni	c, d	a-c	nafta/biološko
tetralin	a, b	a	nafta
naftalen i akilnaftaleni	b, c	a, b	nafta
PAH	c, d	b, c	nafta/piroliza
PCB	a, b	a	transformatori
masne kiseline	b-e	a-c	biološko
ftalati	e	c, d	plastifikatori
krezoli	a, b	a	biološko
butilhidroksitoluen	a-c	a	aditiv
nonilfenol	a-e	a	detergenti
nonilfenoletoksilati izopropilidenski	a, b	a	detergenti
intermedijeri C-vitamina	a-e	a-d	farmaceutsko
benzotiazolon	a-d	a	tehnološko
propifenazon	a-d	a-c	farmaceutsko
trialkilfosfati	a-d	a-c	aditivi
dietiltoluamid	a-c	a	sprejevi
kofein	a-c	a	biološko
nikotin	a-d	a	biološko

\* Legenda: a<0.01 mg kg<sup>-1</sup>; b=(0.01 do 0.1) mg kg<sup>-1</sup>; c=(0.1 do 1) mg kg<sup>-1</sup>; d=(1 do 10) mg kg<sup>-1</sup>; e=>10 mg kg<sup>-1</sup>.



Slika 4. Prostorna raspodjela nesupstituiranih policikličkih aromatskih ugljikovodika u otpadu i tlu jugoistočnog dijela odlagališta Jakuševac (Izvor: Ahel et al. 2006)

Figure 4 Spatial distribution of un-substituted polycyclic aromatic hydrocarbons in waste and soil in the southeastern part of Jakuševac landfill (Source: Ahel et al. 2006)

### 3. RASPRAVA – Discussion

Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac nakon sanacije nije više crna točka na području grada Zagreba. Naravno, samim radovima na uređenju odlagališta ne zaustavlja se nadzor nad stanjem odlagališta i mogućem utjecaju na podzemne vode i onečišćenje zraka. Sanacije odlagališta otpada svakako ne rješavaju problem otpada, već predstavljaju najmanje štetan utjecaj na okoliš, izuzevši oporabu. Uređenjem ili sanacijom neuređenih odlagališta nude se dvije tehničke mogućnosti rješenja problema. Prva je osiguranje i uređenje odlagališta bez obrade odloženog otpada, i druga je uređenje odlagališta koje obuhvaća obradu i iskorištavanje materijala i energije odloženog otpada (Simončić, 2001). Primjer Jakuševca manje je ekološki prihvatljiv jer nije primjenjena tehnologija obrade i prerade otpada, a na taj način se bitno smanjuje obujam otpada (Simončić, 2008). Rješavanje problema otpada započinje kod nastanka otpada na što upućuje u svojim ciljevima nacionalna Strategija gospodarenja otpadom (NN 130/05) u kojoj je na prvo mjesto stavljeno smanjivanje i izbjegavanje otpada putem odvojenog prikupljanja, zatim uporaba istog otpada. U tom smislu zaista je neshvatljivo da se kroz nadležno ministarstvo i gradske urede potiče i ozbiljno razmišlja o gradnji spalionice otpada na širem području grada Zagreba. Ponajprije ekološka opravdanost je više nego upitna. U uvjetima kada je u Hrvatskoj postotak recikliranja otpada između 10 i 15 % (iako je i ovaj postotak upitan), ali svakako je loš pokazatelj provedbe mjera zaštite okoliša. Za usporedbu Radović i Nujić (2003) navode da se u našoj zemlji reciklira 3,5 % otpada, u Sloveniji 10 %, u Austriji 14 %, u Danskoj 34,3 %. Prostora u gradu Zagrebu ima za provedbu mjera odvojenog prikupljanja, jer prema Planu gospodarenja otpadom u Zagrebu (2009) u sastavu miješanog komunalnog otpada koji se odlaže na Jakuševac je 25,3 % masenog udjela papira i kartona, 35,9 % kuhinjskog i vrtnog biootpada, 5,1 % stakla, 14,9 % plastike. Ovi podaci jasno ukazuju da prije uporabe skupe termičke obrade otpada treba iskoristiti mogućnosti odvojenog prikupljanja, uporabe i nastaviti izgrađivati sustav gospodarenja otpadom. U Bavarskoj se primjenom koncepta cjelovitog gospodarenja otpadom u razdoblju od 1990. do 2002. godine, količina recikliranog materijala (staklo, papir, plastika, biootpad) povećala s 30 % na 72 % (Waste Management in Bavaria, 2002; Deffregger, 2004). Poticanje tih mjera zasigurno smanjuje i velike troškove i ulaganja u zaštitu okoliša, osobito za lokalnu upravu što navodi i Golubić (2006). Uz navedeno bitan je i ekološki čimbenik, jer termička obrada (spaljivanje) uvjetuje nastajanje toksičnih plinova i ostatnog otpada koji se kasnije tretira kao opasan otpad uz obavezan strogi nadzor rada takvog postrojenja. Da li je to danas ostvarivo u našoj državi? Zabrinjavajući je primjer bivše spalionice PUTO.

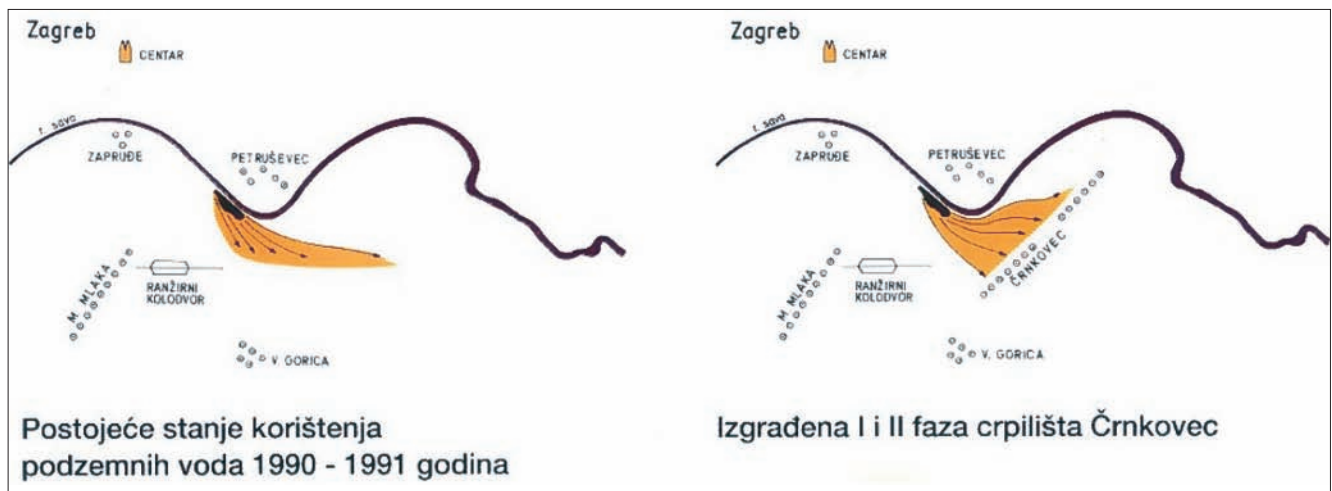
Utjecaj odlagališta na okoliš zahtjevan je proces. Zbog heterogenosti odloženog otpada mogućnost otkrivanja tzv. vrućih točaka nasumičnim istražnim bušenjem vrlo je malena i utoliko učestala detekcija farmaceutskih spojeva uopće dodatno upućuje na njihovu važnost. Međutim, mnogo pouzdaniji uzorci za detekciju onečišćenja prisutnih u otpadu su procjedne vode, jer se one prikupljaju s mnogo veće površine nego što je promjer istražne bušotine. Osim toga, procjedne vode omogućavaju izravno određivanje pokretljivog dijela onečišćenja prisutnog u čvrstom otpadu. To je najvažniji element za procjenu ugroženosti podzemnih voda.

Nastajanje i intenzitet infiltracije procjednih voda u vodonosne slojeve ovisi u najvećoj mjeri o količini oborina, a za područje Jakuševca procijenjen je ulaz prije sanacije u podzemlje prosječno oko 340.000 m<sup>3</sup> procjednih voda na godinu. Zbog razmjerno visokog opterećenja procjednih voda pojedinim tipovima onečišćenja uključujući i različite specifične organske spojeve, dolazilo je do značajnog zagađenja podzemnih voda u blizini deponija. Kao što se moglo i očekivati prema literaturnim podacima, dominantni oblici onečišćenja detektirani u podzemnim vodama u neposrednoj blizini odlagališta Jakuševac su ukupni organski ugljik, odnosno KPK, te amonij kao glavni kemijski oblik emisije dušika. Međutim, identificiran je i niz biogenih i antropogenih specifičnih organskih spojeva koji su zbog svoje povećane otpornosti na biološku razgradnju i slabije adsorpcije na sloju tla ispod smeća dospjeli u podzemne vode. Među identificiranim spojevima potrebno je upozoriti na neke karakteristične tipove kemijskih tvari koje su posebno važne kada se razmatra problem utjecaja na kvalitetu podzemnih voda. Od lipofilnih spojeva najistaknutiji su ugljikovodici. Može se uočiti da je zastupljenost nekih kategorija ugljikovodika u procjednim vodama (npr. abijetanski ugljikovodici) vrlo visoka, ali usprkos tomu oni nisu detektirani u podzemnim vodama. Razlog je najvjerojatnije njihova eliminacija adsorpcijom na slojevima ispod smeća. S druge strane treba uočiti da je koncentracija topljivih aromatskih ugljikovodika (alkilbenzena, nftalena i drugih) u podzemnoj vodi dosta slična onoj u procjednoj vodi, što upućuje na njihovu dobru pokretljivost u vodonosniku. Taj je element naglašen i kod onečišćenja srednje polarnosti kao što su ftalati i neki alkifenoli. Međutim, fenoli i krezoli nisu detektirani u podzemnoj vodi. iako je njihova koncentracija u procjednoj vodi bila znatna, a razlog je najvjerojatnije njihova brza biološka eliminacija.

Najveći potencijal prodora iz deponija u podzemne vode pokazali su neki polarni spojevi koji su istodobno i otporni na biološku razgradnju. Pokazalo se da većina tih sastojaka ima farmaceutsko podrijetlo. Procjedne vode na deponiju Jakuševac sadržavaju visoke koncen-

tracije farmaceutskih spojeva. Koncentracija izopropilidenskih intermedijera C-vitamina dostizala je i do 50 mg L<sup>-1</sup> što je najveća opažana koncentracija za pojedinačnu skupinu spojeva. Nažalost, o ekotoksikološkim svojstvima izopropilidenskih intermedijera C-vitamina

nema dovoljno podataka. Ipak treba istaći da jedan od njih, diaceton- $\alpha$ -keto-gulonska kiselina ima svojstvo inhibicije klijanja te očito posjeduje znatnu biološku aktivnost.



Slika 5. Strujne slike podzemnih voda u širem području Jakuševca (Izvor: ZGO)

Figure 5 Patterns of groundwater currents in the broader area of Jakuševac landfill (Source: ZGO)

Postoje indicije da je u ranijim godinama prije uvedene kontrole (osim komunalnog i tehnološkog otpada) dovožen i opasni otpad (iz bolnica i industrije). Osim što je ovo smetlište ugrožavalo zdravlje ljudi koji žive u neposrednoj okolici (stanovnici Jakuševca, Mičevca i Novog Zagreba), te ograničavalo mogućnost daljnjeg razvoja grada u smjeru jugoistoka i uz to izravno ugrožavalo postojeća i buduća izvorišta pitke vode Zagreba. Zaštita podzemnih voda temeljni je problem koji je bilo potrebno riješiti u svezi s uređenjem ovoga odlagališta otpada (slika 5). 1996–2003. godine vrlo skupim zahvatom pod smeće je ugrađena nepropusna podloga, površina je smanjena s 80 na 57 ha, na njoj se nalazi brdo visine 45 m. Prebačeno je 6.789.222 m<sup>3</sup> otpada i dalje se puni 800–1000 t/dan (510.000 m<sup>3</sup>/godišnje).

Sanacija odlagališta otpada koja je završena krajem 2003. godine nije značajnije utjecala na smanjenje vrijednosti teških metala u podzemnoj vodi u 2004. godini. Utvrđene su vrlo visoke vrijednosti indeksa zagađenja na lokacijama piezometara koji se nalaze jugoistočno od odlagališta, što pokazuje štetan utjecaj odlagališta na podzemne vode i postupno širenje zagađenja prema Mi-

čevcu (Nakić et al. 2007) i vodozaštitnom području kod Črnkovca (A hel et al. 2006). Sanacijom odlagališta i provođenjem interventnog crpnog sustava, spriječeno je daljnje zagađivanje podzemnih voda. Međutim jako zagađeno tlo i vodonosni slojevi koji se nalaze neposredno ispod tijela odlagališta nisu uklonjeni sanacijom te još uvijek predstavljaju aktivne izvore zagađenja podzemne vode. Analiza indikatora zagađenja podzemne vode pomogla je u utvrđivanju zakonitosti promjena geokemijskih zona, koje nastaju ispod odlagališta otpada i raspodjele zagađenja nizvodno od odlagališta. Utvrđeno je da na području odlagališta Jakuševac-Prudinac postoje snažno izražene lokalne anomalije parcijalnog pritiska CO<sub>2</sub> koje uzrokuju otapanje karbonata i obogaćenje sadržaja hidrogenkarbonata, što je potvrđeno i mjerenjima u utjecajnoj zoni odlagališta. Uz navedeno, analizom hidrogeokemijskih facijesa na lokacijama uz odlagalište utvrđeno je da uz rub odlagališta dominira tip podzemne vode koja u svom sastavu sadrži povišene koncentracije amonij-iona (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) i klorida (Cl<sup>-</sup>). Utvrđene su prema Nakić et al. (2007) i visoke koncentracije željeza i mangana te drugih teških metala.

#### 4. ZAKLJUČAK – Conclusion

Sastav organskih zagađivala na odlagalištu Jakuševac upućuje na to da je ondje uz komunalni otpad, odlagan i otpad industrijskog podrijetla koji sadržava brojne antropogene spojeve koji mogu nepovoljno utjecati na kakvoću podzemne vode. Radovima na sanaciji spriječena je u najvećoj mjeri infiltracija onečišćenja procjednim vodama u vodonosne slojeve. Međutim, jako onečišćeni slojevi tla koji su se nalazili neposredno ispod otpada nisu uklonjeni provedenom sanacijom te su

stoga još uvijek mogući izvor onečišćenja do kojega bi moglo doći ako bi došlo do povišenja razina podzemnih voda na kotu 107 m zbog izgradnje brane za potrebe planirane hidroelektrane Drenje (A hel et al. 2006). Stoga je nužno stalno praćenje dominantnih antropogenih spojeva u deponiranom otpadu i procjednim vodama. Kroz mjere praćenja i nadzora pozornost treba usmjeriti na farmaceutske spojeve.



Ozbiljnost problema otpada i odlagališta otpada zah-tijeva strogo provođenje zakonskih propisa od Zakona o otpadu, Strategije gospodarenja otpadom i Plana gospo-darenja otpadom, Zakona o zaštiti okoliša, Zakon o za-štiti zraka, Zakona o fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, Zakona o prostornom uređenju do raznih uredbi i pravilnika koji se odnose na otpad. U svakom slučaju otpad je potrebno smanjivati mjerama odvojenog prikupljanja i obrade, te intenzivnom uporabom. Nadalje ostaje rješavanje problema neuređenih odlagališta otpada, što je posljedica dugotrajnog zanemarivanja zaštite okoliša. Prema Nacionalnoj strategiji zaštite okoliša i Nacionalnom planu djelovanja za okoliš iz 2002. godine

neodgovarajuće gospodarenje otpadom identificirano je kao najveći problem zaštite okoliša u Republici Hrvat-skoj. Putem zakonske regulative potrebno je nametnuti striktno provođenje propisa, postupno povećati financij-sko opterećenje proizvođača otpada, tako da zbrinjavanje otpada prestane biti subvencionirana djelatnost, te poticajnim i drugim mjerama nametati modernu hijerarhiju postupanja s otpadom. U svezi sa zaštitom i očuvanjem okoliša ciljevi su: materijalno i energetske vrednovanje otpada, izbjegavanje nastanka otpada, odlaganje samo ostatnoga otpada, te primjena ekonomskih mjera kroz uspostavu sustava gospodarenja otpadom.

## 5. LITERATURA – References

- Ahel, M., S. Terzić, N. Tepić, 2006: Organska onečišćenja u odlagalištu otpada Jakuševac i njih-ov utjecaj na podzemne vode, Arh Hig Rada Toksikol, 57: 307–315., Zagreb.
- Barčić, D., Ž. Španjol, V. Vujančić, R. Rosa-vec, 2005: Problematika zaštite voda i mora u Republici Hrvatskoj, Šum. list, 129 (11–12): 611–622, Zagreb.
- Defregger, F., 2004: Bavarski koncept cjelovitog go-spodarenja otpadom, U: Z. Milanović (ur.), VIII. Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom, Gospodarstvo i okoliš d.o.o., 33–45, Zagreb.
- Fundurulja, D., M. Mužinić, 2004: Stanje odla-gališta otpada u Republici Hrvatskoj (srpanj 2004. godine), U: Z. Milanović (ur.), VIII. Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom, Gos-podarstvo i okoliš d.o.o., 47–59, Zagreb.
- Golubić, S., 2006: Perspektive i mogućnosti odlaga-nja otpada na području Međimurske županije na primjeru odlagališta "Totovec", Šum. list, 130 (1–2): 21–30, Zagreb.
- Gradski zavod za prostorno uređenje, 2006: Izvješće o stanju okoliša grada Zagreba.
- Milanović, Z., 1992: Deponij – trajno odlaganje ot-pada, JP "Zbrinjavanje gradskog otpada", 199 str., Zagreb
- Milanović, Z., S. Radović, V. Vučić, 2002: Ot-pad nije smeće, Gospodarstvo i okoliš, Mtg-top-ograf, 144 str., Velika Gorica
- Nacionalna strategija zaštite okoliša (*Narodne Novine* 46/02).
- Nacionalni plan djelovanja za okoliš (*Narodne Novine* 46/02).
- Nakić, Z., M. Prce, K. Posavec, 2007: Utjecaj od-lagališta otpada Jakuševac-Prudinec na kakvoću podzemne vode, Rudarsko-geološki naftni zbor-nik, 19:35–45, Zagreb.
- Plan gospodarenja otpadom 2007–2015 (*Narodne No-vine* 85/07).
- Plan gospodarenja otpadom u Gradu Zagrebu za razdo-blje do 2015. godine, 2009.
- Potočnik, V., 1997: Obrada komunalnog otpada – svjetska iskustva, MTG Consulting, ZGO d.o.o., Državna uprava za zaštitu okoliša, 99 str., Zagreb.
- Radović, S., R. Nujić, 2003: Strategija gospodare-nja otpadom za Republiku Hrvatsku, Gospodar-stvo i okoliš, 60: 37., Velika Gorica.
- Simončić, V., 2001: Zbrinjavanje otpada, Ekološki leksikon, "Barbat" i Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja RH, 143–159, Zagreb.
- Simončić, V., 2008: Da li je potrebno promijeniti dosadašnju praksu postupanja s otpadom i dosa-dašnju praksu sanacije starih odlagališta? U: Z. Milanović (ur.), X. Međunarodni simpozij gos-podarenje otpadom, Gospodarstvo i okoliš d.o.o., 77–100, Zagreb.
- Schaller, A., D. Subašić, 2004: Odlaganje i stanje odlagališta otpada u Republici Hrvatskoj – poka-zatelji brige lokalne zajednice za okoliš, U: Z. Milanović (ur.), VIII. Međunarodni simpozij go-spodarenje otpadom, Gospodarstvo i okoliš d.o.o., 19–32, Zagreb.
- Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (*Narodne Novine* 130/05).
- Waste Management in Bavaria, Balances, 2002: Bava-rian Agency for Environmental Protection, Augsburg.
- ZGO, poduzeće za zaštitu okoliša i gospodarenje ot-padom: Uređenje smetlišta Jakuševac, Elektropro-jekt inženjering d.d., Zagreb.
- Zakon o fondu za zaštitu okoliša i energetske učinkovi-tost (*Narodne Novine* 107/03).
- Zakon o otpadu (*Narodne Novine* 178/04).
- Zakon o prostornom uređenju (*Narodne Novine* 30/94).
- Zakon o prostornom uređenju i gradnji (*Narodne No-vine* 76/07).
- Zakon o zaštiti okoliša (*Narodne Novine* 110/07).
- Zakon o zaštiti zraka (*Narodne Novine* 178/04).

*SUMMARY: Unmanaged landfills are the basic problem of environment protection on Croatia. Municipal waste and landfills such as Jakuševac incur exceptionally high costs for many towns. Their impact on the environment is highly unfavourable since they pollute water, soil and air and represent a constant threat to human health. The solution to the problem begins with remediation of unmanaged landfills. To launch a remediation programme it is necessary to adopt a new attitude to waste management. The establishment of an integral waste management system is a constituent part of all legal measures and regulations. Such a system ensures the reduction of waste and increased recycling, which provides material and energetic benefits. In today's circumstances, the implementation of the system at the level of the City of Zagreb and Croatia as a whole results in multiple benefits from both the ecological and economic aspect. The paper gives a survey of the Jakuševac landfill, a complex diffuse source of contamination which causes problems in the sense of possible harmful effect on all environmental elements. Consequently, its remediation was highly expedient. The main reasons for landfill remediation were the protection of groundwater and air. The Jakuševac-Prudinec landfill used to be a disposal site for municipal, non-hazardous and industrial waste of the City of Zagreb and its surroundings. Uncontrolled disposal of waste in the area of the current landfill began in 1965. In 1995, the size of the landfill reached 80 ha. In this period, 4.5 million m<sup>3</sup> of waste was disposed inadequately. By the year 2000, the volume of the disposed waste had reached 8 million m<sup>3</sup>. The transformation of the unmanaged waste disposal site into a managed sanitary landfill was completed at the end of 2003. In the period from 1965 to the beginning of the 1990s, almost one million m<sup>3</sup> of soil (soil material) in the Jakuševac-Prudinec landfill was contaminated, and the quality of drinking groundwater was seriously threatened. This research discusses the impact of the landfill on groundwater and the gradual spread of pollution eastwards, as confirmed by the shifting of the boundary pollution line from Jakuševac towards Mičevac, especially during changeable hydrodynamic conditions in the aquifer layer. The paper presents the results of research into the cause and effect relationship between the Jakuševac landfill and groundwater pollution (see Figures 1–5). The composition of organic pollutants in the Jakuševac landfill indicates that this was a disposal site not only for municipal waste but also for waste of industrial origin which contains numerous anthropogenic compounds that might have an adverse effect on groundwater quality. Permanent monitoring of dominant anthropogenic compounds in the disposed waste and leachate is necessary.*

*Key words: leachate, landfill gas, waste management system, City of Zagreb*