

Conference Paper / Professional Paper

ONEČIŠĆENJE ZRAKA U PODRUČJU ODLAGALIŠTA OTPADA JAKUŠEVEC I U OKOLNIM NASELJIMA

Vladimira VAĐIĆ

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Primljeno u svibnju 2006.

Prihvaćeno u lipnju 2006.

Prva ciljana mjerenja kakvoće zraka u zoni utjecaja odlagališta otpada Jakuševac započela su u naseljima Jakuševac i Mičevac u ljetu 1995. godine prije početka sanacijskih radova i nastavljena su do kraja 2004. godine. Rezultati mjerenja tijekom godina pokazali su znatne sezonske varijacije mjerenih onečišćenja te su koncentracije hlapljivih spojeva, osobito vodikova sulfida, merkaptana, amonijaka, žive i plinovitih fluorida bile znatno više ljeti negoli zimi. Tijekom sanacijskih radova povremeno su koncentracije onečišćenja bile jako visoke. Izmjereni rezultati komentirani su na osnovi naših zakonskih propisa. Tijekom godina mjerenja u kojima je provedena sanacija, koncentracije H₂S, merkaptana i plinovitih fluorida bile su na razini onečišćenog zraka III. kategorije kakvoće. Razine žive kretale su se na razini umjerene onečišćenosti, odnosno II. kategorije kakvoće. Kod ostalih mjerenih polutanata razine koncentracija bile su nešto niže.

KLJUČNE RIJEČI: *kategorizacija zraka, lebdeće čestice, neugodni mirisi, plinovita onečišćenja*

Onečišćenje zraka ne oštećuje jednako sva tkiva, odnosno sve stanice ljudskog organizma. Učinak ovisi o koncentraciji i trajanju djelovanja onečišćenja, njegovim fizikalno-kemijskim svojstvima, mjestu djelovanja i zdravstvenom stanju organizma.

Onečišćujuće tvari iz zraka ulaze u organizam kroz dišni sustav, kožu i probavni sustav. Mnoge organske tekućine, plinovite pa i čvrste tvari mogu proći kroz neoštećenu kožu. Čvrste tvari raspršene kao prašina i dimovi mogu se apsorbirati kroz pluća, ali se mogu i prenijeti s ruku na hranu i ući u probavni sustav. Sluznica dišnog sustava s alveolarnom površinom pluća koju čini 15 m² nježne i ranjive opne između krvi i zraka, najizloženija je i najosjetljivija, tako da onečišćenje zraka djeluje najviše preko dišnog sustava.

Čovječji organizam različito reagira na štetne tvari. Neke tvari izazivaju akutni učinak već pri prvoj izloženosti, druge pokazuju toksični učinak nakon nekoliko dana ili tjedana ili nakon dugotrajnog i ponavljano izlaganja.

UZORAK I METODA

Prva ciljana mjerenja kakvoće zraka u zoni utjecaja odlagališta otpada Jakuševac započela su u naseljima Jakuševac i Mičevac u ljetu 1995. godine prije početka sanacijskih radova na prvom dijelu plohe odlagališta (oko 1/3).

Tijekom jeseni kada su započeli sanacijski radovi, ciljana su mjerenja ponovljena također tijekom mjesec dana.

Na obje mjerne postaje, tijekom obaju promatranih razdoblja skupljeni su i analizirani 24-satni uzorci ukupnih lebdećih čestica, olova i kadmija u ukupnim lebdećim česticama, sumporova dioksida, dušikova dioksida, amonijaka, vodikova sulfida i merkaptana.

Mjerenja su se počela ponovno provoditi 1997. godine prije puštanja u rad pogona za termičku obradu tehnološkog otpada (PUTO). Mjerenja su provedena na jednoj mjerenoj postaji smještenoj na nogometnom igralištu NK "Sava" u Jakuševcu od 1997. do 2000. godine. Osim već spomenutih onečišćenja, započelo se i s određivanjem ukupne žive te ukupne taložne

tvori i metala olova, kadmija i talija u njoj. Također se započelo s određivanjem plinovitih fluorida i klorida.

Tijekom 2001. godine započeta je sanacija drugog većeg dijela plohe (oko 2/3) odlagališta otpada, a sanacija je trajala do kraja 2004. godine.

Praćenje kakvoće zraka u tom vremenskom razdoblju provodilo se na tri mjerne postaje. Prva mjerna postaja bila je smještena na nogometnom igralištu NK "Sava" u selu Jakuševac na istoj lokaciji na kojoj su se provodila mjerenja od 1995. godine. Druga postaja bila je smještena na zapadnom, a treća na istočnom rubu odlagališta.

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada provodio je do 2001. godine sva ciljana mjerenja, a od 2001. godine kontinuirani monitoring metala olova, kadmija i mangana u ukupnim lebdećim česticama, ukupne taložne tvari, ukupne žive i plinovitih fluorida i klorida.

Za praćenje plinovitih onečišćenja sumporova dioksida, dušikova dioksida, amonijaka, vodikova sulfida i merkaptana nabavljeni su automatski analizatori i taj dio praćenja kakvoće zraka provodila je Ecoina koja je bila koordinator praćenja i svih ostalih dijelova ekosustava (tlo, voda, vegetacija).

Vodikov sulfid

Uzorci vodikova sulfida skupljani su na filter-papir Whatman No. 41 impregniran živinim(II) kloridom uz dodatak ureje kao antioksidansa. Koncentracija vodikova sulfida određivana je spektrofotometrijskom metodom molibdenskog plavila (1, 2).

Merkaptani

Kod skupljanja i određivanja merkaptana vodikov sulfid interferira, pa se mora prethodno ukloniti. Zbog toga su impregnirani filter-papiri u držaču uvijek bili spojeni u seriju, i to tako da je u prvom držaču bio impregniran filter-papir za skupljanje vodikova sulfida, a u drugom za skupljanje merkaptana.

Merkaptani su skupljani na filter-papiru Whatman No. 41 impregniranim živinim(II) acetatom uz dodatak octene kiseline. Koncentracija merkaptana određivana je spektrofotometrijski s pomoću N,N-dimetil-p-fenilendiamin-hidroklorida i Reissnerova reagensa (3). Ovom metodom određuju se ukupni merkaptani, a rezultati su izraženi kao merkaptanski sumpor R-SH.

Ukupne lebdeće čestice i metali olovo i kadmij

Ukupne lebdeće čestice skupljane su prosisavanjem oko 200 m³ zraka tijekom 24 sata na membranski

filter-papir i analizirane su gravimetrijski (4). U uzorcima lebdećih čestica spektrometrijom atomske apsorpcije određeni su olovo i kadmij.

Živa

Uzorci za određivanje žive u zraku skupljani su prostrujavanjem zraka kroz membranski filter veličine pora 8 μm (Sartorius), promjera 37 mm (aerosoli žive) i plinsku ispiralicu s apsorpcijskom otopinom (žive pare). Apсорpcijska otopina je smjesa 1 %-tne otopine kalijeva permanganata i 1 mol L⁻¹ sumporne kiseline u omjeru 1:1. Živa se u apсорpcijskoj otopini oksidira do živina(II) iona. Višak permanganata reducira se hidrosilaminom. Živini(II) ioni se reduciraju kositrovim(II) kloridom do elementarne žive koja se odvodi u ćeliju AAS-a i mjeri apсорbancija kod 253,7 μm.

Uzorci su analizirani metodom besplamene spektrometrije atomske apсорpcije oslobođenih živinih para. Upotrijebljen je instrument PYE UNICAM SP 9. Slijepe probe priređene su i analizirane istodobno i na isti način kao i uzorci, a kod svake analize mjereni su i standardi (5-7).

Plinoviti fluoridi

Uzorkovanje plinovitih fluorida provedeno je prosisavanjem poznate količine zraka tijekom 24 sata kroz plinske ispiralice s 0,1 mol L⁻¹ NaOH kao apсорpcijskom otopinom. Koncentracija plinovitih fluorida odredila se potenciometrijski (ISE) (8, 9).

Kloridi

Uzorci su skupljani prostrujavanjem zraka kroz plinsku ispiralicu s destiliranom vodom, a na sadržaj klorida analizirani su ion-selektivnom elektrodom (10).

Položaj mjernih postaja, na kojima su se skupljali uzorci, prikazan je na slici 1.



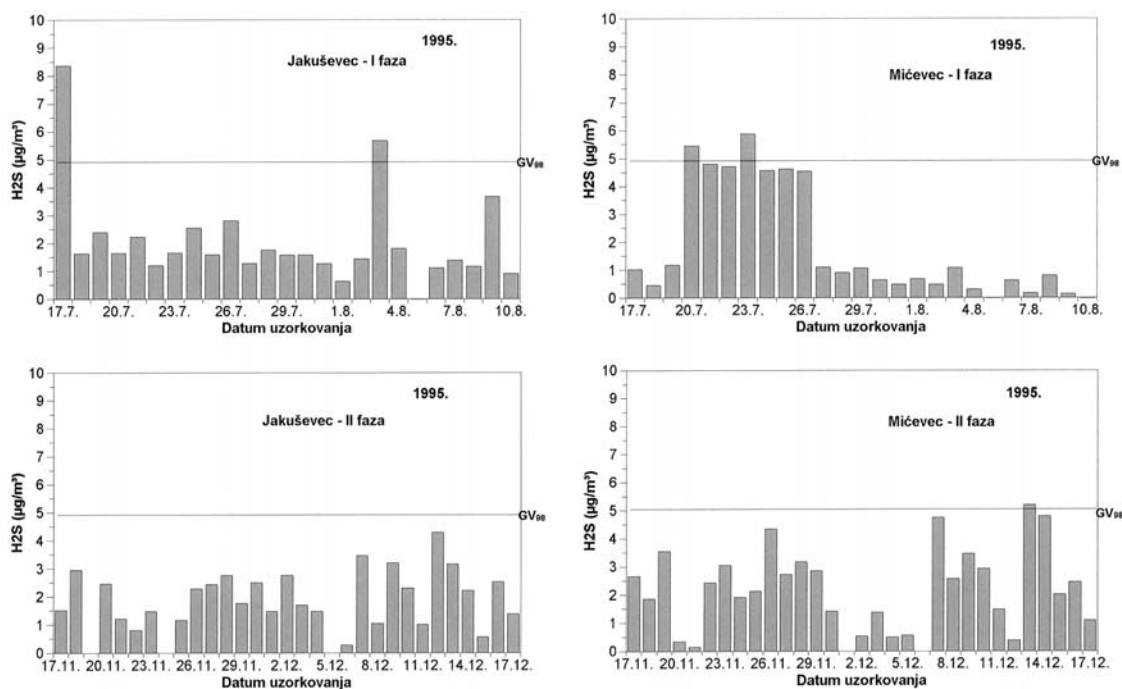
Slika 1 Položaj mjernih postaja

REZULTATI I RASPRAVA

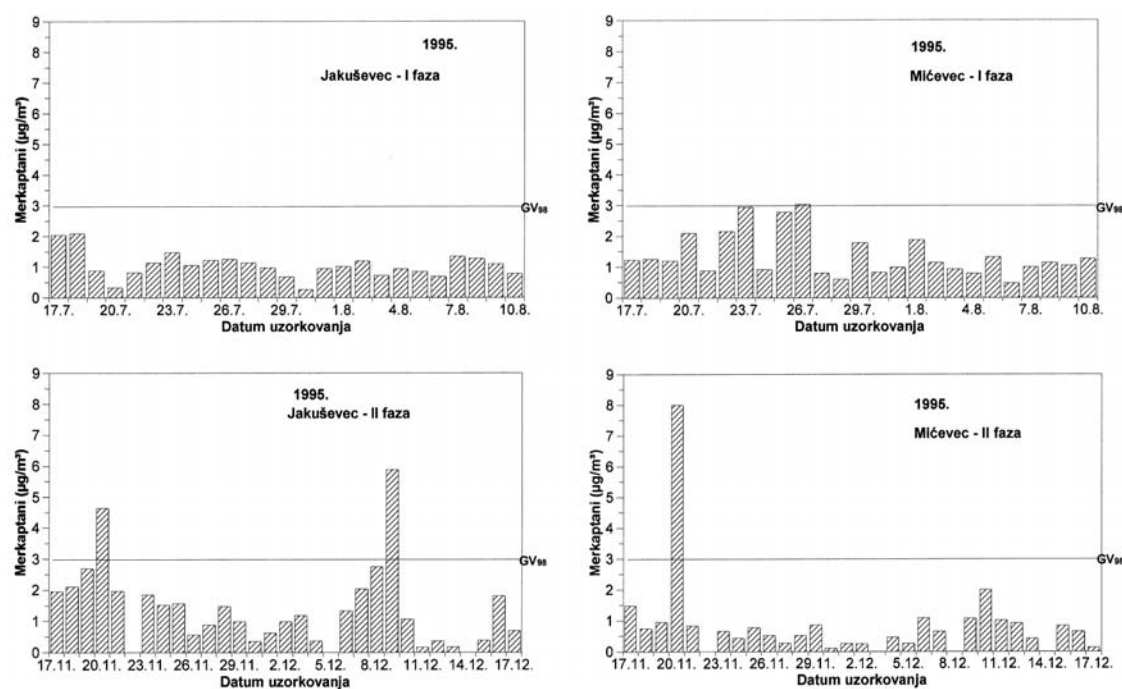
Na slici 2 prikazane su srednje dnevne koncentracije vodikova sulfida izmjerene na mjernim postajama u Jakuševcu i Mičevcu tijekom 30 dana u ljeti i 30 dana u jesen 1995. godine.

Na slici 3 prikazane su srednje dnevne koncentracije merkaptana izmjerene tijekom 1995. godine na istim mjernim postajama, u istom razdoblju kao i za vodikov sulfid.

Izmjereni rezultati pokazuju da su kod vodikova sulfida na obje mjerne postaje izmjereni viši rezultati



Slika 2 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija vodikovog sulfida u Jakuševcu i Mičevcu tijekom ljeta i jeseni 1995. godine



Slika 3 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija merkaptana u Jakuševcu i Mičevcu tijekom ljeta i jeseni 1995. godine

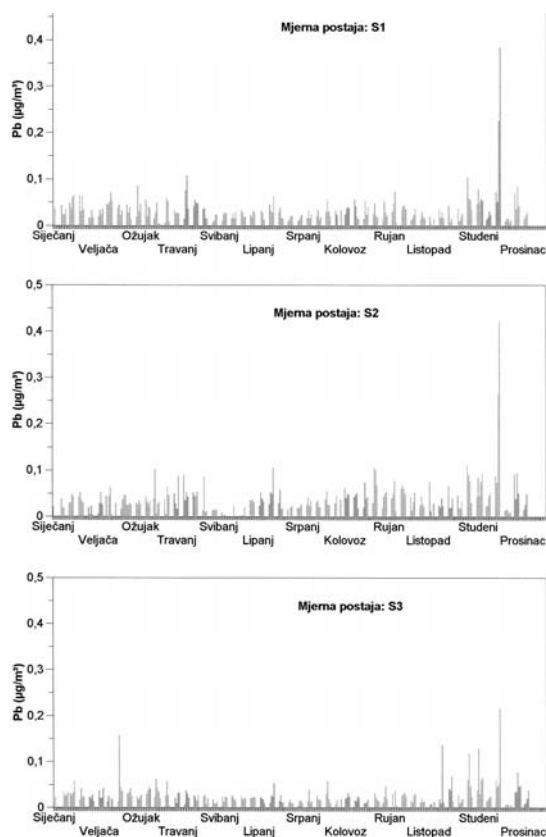
koji su povremeno prelazili GV_{98} u ljetnom razdoblju mjerenja, što se može pripisati hlapljivosti vodikova sulfida kod viših ljetnih temperatura.

Srednje dnevne koncentracije merkaptana bile su više na obje mjerne postaje u jesenskom razdoblju mjerenja kad su već započeli sanacijski radovi na odlagalištu otpada u Jakuševcu.

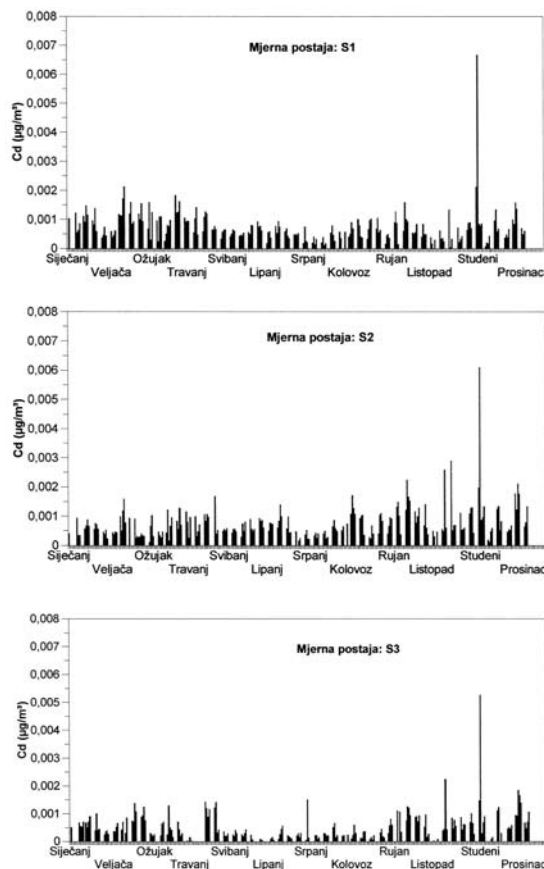
Od 2001. do 2004. godine, za vrijeme sanacije drugoga većeg dijela plohe, mjerenja su provedena na tri mjerne postaje. Razine koncentracija pojedinih onečišćenja bile su tijekom četiri godine sanacijskih radova slične, pa su rezultati mjerenja srednjih dnevnih koncentracija prikazani za mjernu godinu 2003. Na slici 4 prikazani su rezultati za olovo, na slici 5 za kadmij, a na slici 6 za živu.

Koncentracije plinovitih fluorida i klorida pratile su se tijekom sve četiri mjerne godine po mjesec dana u svakoj sezoni, pa je na slici 7 prikazano kretanje srednjih dnevnih koncentracija fluorida, a na slici 8 klorida, na sve tri mjerne postaje tijekom zime, proljeća, ljeta i jeseni 2003. godine.

Dobiveni rezultati pokazuju da su koncentracije olova i kadmija u ukupnim lebdećim česticama bile



Slika 4 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija olova izmjenjenih na postajama S1, S2 i S3 tijekom 2003. godine



Slika 5 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija kadmija izmjenjenih na postajama S1, S2 i S3 tijekom 2003. godine

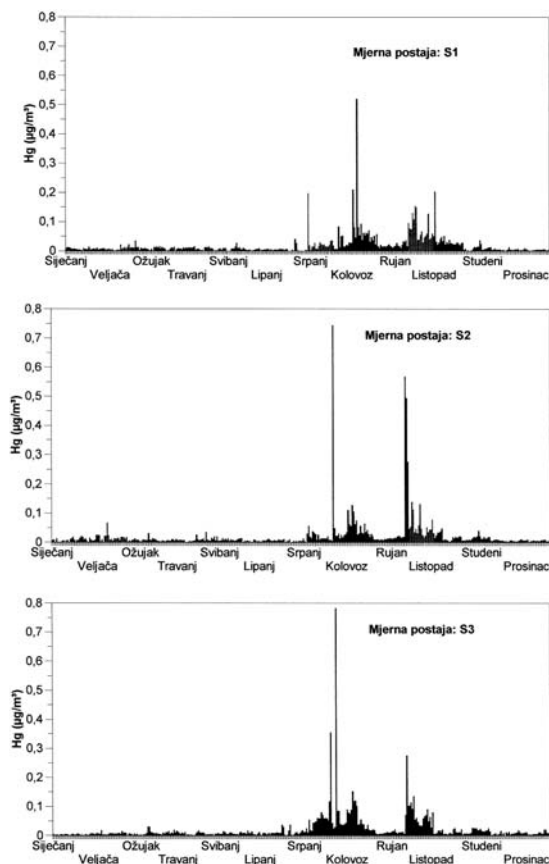
niske. Koncentracije žive bile su znatno više u ljetu i u jesen od onih izmjenjenih u zimi i proljeću.

Koncentracije plinovitih klorida bile su relativno niske tijekom godine mjerenja, a najviše vrijednosti izmjerene su u proljeće. Za razliku od klorida, koncentracije fluorida bile su relativno visoke i povremeno su prelazile GV_{98} . Najviše vrijednosti fluorida izmjerene su u jesen i u ljetu na sve tri mjerne postaje.

Na temelju usporedbe rezultata mjerenja tijekom najmanje godine dana s PV i GV prema članku 21. Zakona o zaštiti zraka (11) i Uredbi o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka (12) područja se po stupnju onečišćenosti zraka mogu svrstati u tri kategorije:

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

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



Slika 6 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija žive izmjerenih na postajama S1, S2 i S3 tijekom 2003. godine

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

Na tablici 1 prikazana je kategorizacija područja u okolici odlagališta otpada Jakuševac tijekom svih godina mjerenja s obzirom na stupanj onečišćenja zraka svim mjerenim onečišćenjima.

Dobiveni rezultati pokazuju da su se koncentracije vodikova sulfida i merkaptana kretale na razinama umjerene onečišćenosti i prekomjerne onečišćenosti, odnosno II. i III. kategorije kakvoće.

Tijekom sanacijskih radova na odlagalištu otpada Jakuševac okolno stanovništvo bilo je često izloženo prekomjernom dodijavanju neugodnim mirisima vodikova sulfida i merkaptana.

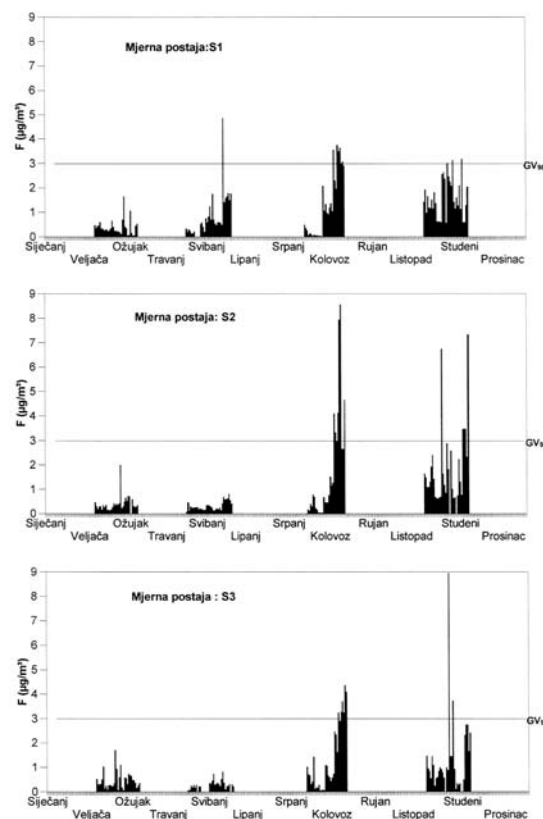
Ukupne lebdeće čestice bile su uglavnom na razinama umjerene onečišćenosti, odnosno II. kategorije kakvoće. Na mjestnoj postaji S3 2001. i 2002. godine te 2003. i 2004. godine na mjestnoj postaji S2, koncentracije ukupnih lebdećih čestica bile su na razini III. kategorije kakvoće zbog radova

na sanaciji odlagališta i velikog broja kamiona koji su prevozili potreban materijal. Na mjestnoj postaji S1, na nogometnom igralištu u selu Jakuševac, od 2001. do 2004. godine koncentracije ukupnih lebdećih čestica bile su na razini I. kategorije kakvoće.

Koncentracije olova i kadmija u ukupnim lebdećim česticama bile su tijekom svih godina mjerenja i na svim mjestnim postajama niske, a okolni je zrak s obzirom na olovo i kadmij u ukupnim lebdećim česticama bio I. kategorije kakvoće.

Koncentracije žive bile su od početka mjerenja 1998. godine pa do 2003. godine na razini umjerene onečišćenosti, odnosno II. kategorije kakvoće. U 2004. godini te su se koncentracije osjetno snizile te je na sve tri mjestne postaje okolni zrak bio na razini I. kategorije kakvoće, odnosno neznatno onečišćen.

Koncentracije plinovitih fluorida mjerene su 1999. i 2000. godine samo na mjestnoj postaji S1, na nogometnom igralištu u selu Jakuševac i bile su niske, na razini I. kategorije kakvoće. U 2001. godini mjerenja su se počela provoditi na tri mjestne postaje i na sve tri postaje koncentracije plinovitih fluorida prelazile su GV te je okolni zrak bio III. kategorije kakvoće.



Slika 7 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija fluorida tijekom zime, proljeća, ljeta i jeseni 2003. godine na postajama S1, S2 i S3

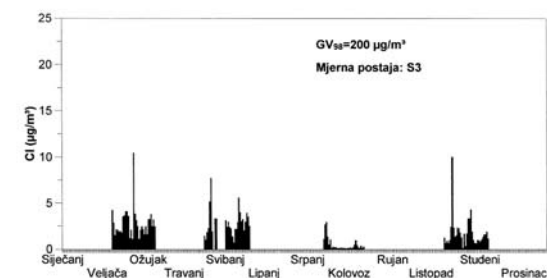
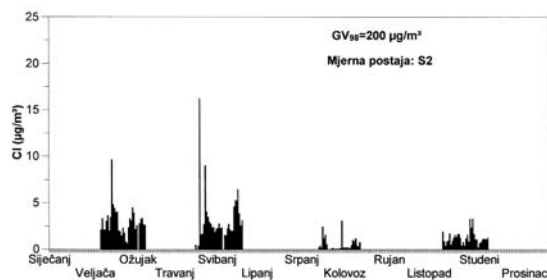
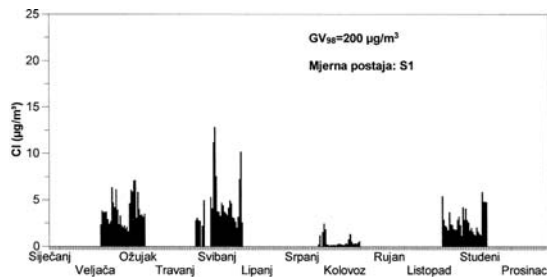
Tablica 1 Kategorizacija područja u okolici odlagališta otpada "Jakuševac" tijekom godina mjerenja s obzirom na stupanj onečišćenja zraka

Onečišćenje	Razdoblje praćenja	I kategorija C<PV	II kategorija PV<C<GV	III kategorija C>GV
Vodikov sulfid	I faza (ljeto 1995.)			▲ ■
	II faza (jesen 1995.)			▲ ■
	1997.		▲	
	1998.		▲	
	1999.		▲	
	2000.		▲	
	2001.		▲	○ ●
	2002.		▲	○ ●
	2003.		▲	○ ●
	2004.		▲	○ ●
Merkaptani	I faza (ljeto 1995.)			▲ ■
	II faza (jesen 1995.)			▲ ■
	1997.			▲
	1998.		▲	
	1999.		▲	
	2000.			▲
	2001.			▲ ○ ●
	2002.			▲ ○ ●
	2003.			▲ ○ ●
	2004.			▲ ○ ●
Ukupne lebdeće čestice	I faza (ljeto 1995.)		▲ ■	
	II faza (jesen 1995.)		▲ ■	
	1997.		▲	
	1998.		▲	
	1999.		▲	
	2000.		▲	
	2001.	▲	○	●
	2002.	▲	○	●
	2003.	▲	●	○
	2004.	▲	●	○
Olovo u ukupnim lebdećim česticama	I faza (ljeto 1995.)	▲ ■		
	II faza (jesen 1995.)	▲ ■		
	1997.	▲		
	1998.	▲		
	1999.	▲		
	2000.	▲		
	2001.	▲ ○ ●		
	2002.	▲ ○ ●		
	2003.	▲ ○ ●		
	2004.	▲ ○ ●		
Kadmij u ukupnim lebdećim česticama	I faza (ljeto 1995.)	▲ ■		
	II faza (jesen 1995.)	▲ ■		
	1997.	▲		
	1998.	▲		
	1999.	▲		
	2000.	▲		
	2001.	▲ ○ ●		
	2002.	▲ ○ ●		
	2003.	▲ ○ ●		
	2004.	▲ ○ ●		

Tablica 1 ... nastavak

Živa	1998.		▲			
	1999.		▲			
	2000.		▲			
	2001.		▲	○	●	
	2002.	▲	○	●		
	2003.		▲	○	●	
	2004.	▲	○	●		
Plinoviti fluoridi	1999.	▲				
	2000.	▲				
	2001.			▲	○	●
	2002.			○	▲	●
	2003.			●	▲	○
	2004.			▲	○	●
Plinoviti kloridi	1999.	▲				
	2000.	▲				
	2001.	▲	○	●		
	2002.	▲	○	●		
	2003.	▲	○	●		
	2004.	▲	○	●		

▲ - S1 ■ - Mićevec ○ - S2 ● - S3



Slika 8 Kretanje srednjih dnevnih koncentracija klorida tijekom zime, proljeća, ljeta i jeseni 2003. godine na postajama S1, S2 i S3

Na mjernoj postaji S2 2002. godine, 2003. godine na mjernoj postaji S3, a 2004. godine na sve tri mjerne postaje koncentracije plinovitih fluorida su se snizile, pa je okolni zrak na tim postajama bio II. kategorije kakvoće.

Koncentracije plinovitih klorida bile su na svim mjernim postajama, tijekom svih godina mjerenja niske i na razini I. kategorije kakvoće.

ZAKLJUČCI

Praćenje kakvoće zraka u zoni utjecaja odlagališta otpada Jakuševac na okolni zrak pokazuje da je odlagalište otpada značajno utjecalo na razine koncentracija onečišćenja u okolnom zraku. Za vrijeme sanacijskih radova na plohi odlagališta koncentracije nekih specifičnih onečišćenja u okolnom zraku su se povisile.

Dominantna onečišćenja bila su vodikov sulfid, merkaptani, ukupne lebdeće čestice i plinoviti fluoridi, pa je okolno stanovništvo bilo izloženo prekomjernom dodijavanju neugodnim mirisima i česticama.

Kako su sanacijski radovi na deponiju u Jakuševcu uglavnom završeni, može se očekivati pad razina koncentracija svih onečišćenja, što će se vjerojatno i pokazati daljnjim mjerenjima.

LITERATURA

1. Vađić V. Metoda za određivanje vodik-sulfida u atmosferi. *Zašt atm* 1982;10:116.
2. Vađić V, Gentilizza M, Hršak J, Fugaš M. Determination of hydrogen sulphide in the air. *Staub Reinhalt Luft* 1980;40:73.
3. Moore HBA, Helwig HL, Graul RJ. A Spectrophotometric method for the determination of mercaptans in air. *Am Ind Hyg Assoc J* 1960;21:466.
4. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). *Methods of Measuring Air Pollution. Report of the working party on methods of measuring air pollution and survey techniques*. Paris: OECD; 1964.
5. ISO 6978: 1992 (E). Natural gas - Determination of mercury.
6. Jakovčić T. Koncentracija žive u krvi u ovisnosti o stupnju onečišćenja zraka živom [magistarski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 1975.
7. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). *Biological significance of some metals as air pollutants. Part II: Mercury*. Washington (DC): US EPA; 1978.
8. National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). *Manual of analytical methods: fluoride in air*. Cincinnati (Ohio): US Department of health, education and welfare; 1974.
9. Kalinić N, Skender Lj. Ocjena izloženosti fluoridima u radnoj okolini. *Arh Hig Rada Toksikol* 1986;37:375-84.
10. Morris B. Jacobs. *The Chemical Analysis of Air Pollutants*. New York (NY): Interscience Publishers, Inc.; 1960.
11. Zakon o zaštiti zraka. *Narodne novine* 1995;(48):1452.
12. Uredba o preporučenim i graničnim vrijednostima kakvoće zraka. *Narodne novine* 1996;(101):4198.

Summary

AIR POLLUTION AT THE WASTE DISPOSAL FACILITY JAKUŠEVEC AND SURROUNDING POPULATED AREA

The first air quality measurements in the communities of Jakuševac and Mičevac surrounding the waste disposal facility Jakuševac started in the summer of 1995, that is, before the first section of the disposal facility underwent recovery. The continuous air monitoring was carried out at three measuring sites until the end of 2004. Over the years, air quality showed significant seasonal variations, with a tendency to have significantly higher concentrations of volatile compounds, especially hydrogen sulphite, mercaptans, mercury and gaseous fluorides in the summer than in the winter. In addition, pollution levels would rise substantially during recovery operations. The concentrations of H₂S, mercaptans and gaseous fluorides would then exceed limit values defined by the Croatian law. Mercury levels kept below the limit value, but exceeded the recommended value. The concentrations of other pollutants were somewhat lower.

KEY WORDS: *categorization, gaseous pollutants, hazardous odours, suspended particulate matter*

REQUESTS FOR REPRINTS:

Dr. sc. Vladimira Vađić, dipl. ing. kem. tehn.
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
p. p. 291, HR-10001 Zagreb
E-mail: vvadjic@imi.hr