

Distribucija teških metala u zemljištu industrijskih zona Sever i Jug u Novom Sadu

Koncentracije teških metala (Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) su određene u zemljištu na 16 lokacija u okolini najvećih fabrika industrijskih zona Sever i Jug (Radne zone Sever I i Sever II) u Novom Sadu. Stepen zagađenja zemljišta procenjen je na osnovu ukupne količine teških metala, faktora obogaćenja (EF), geo-akumulacionog indeksa (Igeo), faktora kontaminacije (CF) i indeksa kontaminacije (PLI). Na osnovu rezultata može se zaključiti da je na istraživanom prostoru slabo obogaćenje zemljišta metalima. Uočeno je da je prisustvo teških metala u zemljištu, najvećim delom, prirodnog porekla. Od teških metala, povišen sadržaj, preko graničnih vrednosti, utvrđen je za Cu i Zn. Dobijeni rezultati pokazuju da se prisutne koncentracije detektovane u ovom istraživanju mogu označiti kao „istorijsko zagađenje” zemljišta.

Uvod

Nagli industrijski i urbani razvoj ljudskog društva, pored brojnih prednosti i dobrobiti, ima za posledicu i sve intenzivnije zagađivanje čovekove okoline. Zagađujuće materije mogu biti neorganskog (teški metali) i organskog porekla. Zagađenost zemljišta teškim metalima dovodi do narušavanja prirodnih geohemijskih ciklusa i ravnoteže ekosistema. U teške metale čija je emisija iz prirodnih i/ili antropogenih izvora značajna spadaju živa, kadmijum, kobalt, hrom, olovo, nikl, mangan, gvožđe, bakar, cink i dr. Za više organizme Zn i Cu su esencijalni elementi. Njihovo prisustvo je neophodno pri niskim kon-

centracijama, dok u većim količinama mogu imati toksičan efekat. Glavni prirodni izvor teških metala je Zemljina kora. U antropogene izvore metala spadaju rudnici i topionice, različiti industrijski procesi, sagorevanje fosilnih goriva, izduvni gasovi motornih vozila i dr. Antropogena emisija polutanata znatno je povećana u industrijskoj eri. Veoma važno je da se utvrdi kakva je prostorna raspodela koncentracija metala na području oko izvora zagađenja.

U savremenim istraživanjima čiji je interes prostorna analiza podataka, značajnu ulogu ima GIS tehnologija (GIS – Geografski informacioni sistem). GIS predstavlja softver za prikupljanje, obradu, analizu i vizuelizaciju podataka zasnovanih na prostornoj raspodeli.

U poslednjih nekoliko decenija u celom svetu posvećuje se velika pažnja problemu zagađenja životne sredine različitim polutantima, među kojima su i teški metali. U Srbiji, kao i drugde u svetu, uveden je niz uredbi koje, između ostalog, propisuju nivo na kome je dostignut održiv kvalitet zemljišta (granične) i vrednosti koje ukazuju da su osnovne funkcije zemljišta ugrožene ili ozbiljno narušene i zahtevaju remedijacione, sanacione i ostale mere.

Cilj istraživanja je bio da se odrede koncentracije teških metala (Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) u industrijskom području industrijskih zona Sever i Jug (Radne zone Sever I i Sever II). Stepen zagađenja zemljišta procenjen je na osnovu ukupne količine teških metala, faktora obogaćivanja (EF) i geo-akumulacionog indeksa (Igeo), faktora kontaminacije (CF) i indeksa kontaminacije (PLI).

Elena Tadić (1998), Sremska Kamenica, Lole Ribara 11, učenica 3. razreda, Gimnazija „Svetozar Marković” u Novom Sadu

MENTORI:

Dr Minučer Mesaroš, dipl. geograf, docent na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu

Dr Jordana Ninkov, dipl. biolog, viši naučni saradnik na Institutu za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu

Materijal i metode

Istraživanje se odvijalo u tri faze: uzorkovanje, laboratorijska ispitivanja i statistička obrada rezultata.

Uzorkovanjem je obuhvaćeno 16 tačaka u industrijskim zonama Sever i Jug na teritoriji grada Novog Sada (slika 1A). Zemljište je uzorkovano agrohemijском sondom u površinskom sloju debljine 0–10 cm (IAEA 2004). Uzorci su zatim pripremljeni metodom mokre digestije, a koncentracije određene metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije. Da bi se odredio stepen zagađenja zemljišta teškim metalima, izračunati su pokazatelji zagađenja zemljišta metalima (efekat obogaćenja, geo-akumulacioni indeks, faktor kontaminacije i indeks kontaminacije).

Laboratorijska ispitivanja

Uzorci prikupljeni na terenu su najpre vazdušno sušeni, a zatim samleveni u mlinu za zemljište do veličine čestica 2 mm (SRPS/ISO 11464 2004). Za određivanje ukupnog sadržaja teških metala, uzorci su pripremljeni metodom mikrotalasne digestije, u rastvoru cHNO_3 i H_2O_2 ($5\text{HNO}_3 : 1\text{H}_2\text{O}_2$), u odnosu 1:12 čvrsta materija : rastvor za digestiju, sa postepenim zagrevanjem do 180°C u ukupnom trajanju od 55 min. Priprema uzoraka je urađena u Laboratoriji za zemljište i agroekologiju Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu. Uzorci su dalje analizirani u IS Petnica, metodom atomske apsorpcione spektrofotometrije.

Statistička obrada podataka

1. Faktor obogaćivanja (EF)

Da bi se odredio stepen zagađenja zemljišta teškim metalima izračunati su faktori obogaćivanja u odnosu na srednje vrednosti koncentracije teških metala u nezagađenom zemljištu Evrope (Salminen *et al.* 2005) koristeći jednačinu (Zoller *et al.* 1974):

$$\text{EFM} = ([\text{M}]/[\text{Fe}]_{\text{zp}}) / ([\text{M}]/[\text{Fe}]_{\text{Eur}})$$

gde je $[\text{M}]$ koncentracija ispitivanog metala, $[\text{Fe}]$ je koncentracija gvožđa, a indeksi „zp“ i „Eur“ odnose se na zagađeni prostor i vrednosti za Evropu, redom. Gvožđe se koristi kao referentni element za geohemijsku normalizaciju s obzi-

rom da je geohemija Fe slična teškim metalima, a prirodne koncentracije Fe su ujednačene (Das-kalakis i O'Connor 1995).

Na osnovu vrednosti EF, razlikuju se sledeće kategorije obogaćenja: $\text{EF} = 2$ (izostanak i/ili slabo obogaćenje), $\text{EF} = 2\text{--}5$ (umereno obogaćenje), $\text{EF} = 5\text{--}20$ (značajno obogaćenje), $\text{EF} = 20\text{--}40$ (veoma visoko obogaćenje) i $\text{EF} = 40$ (ekstremno visoko obogaćenje). Kad EF ima vrednost između 0.5 i 1.5 ispitivani metal ima prirodno poreklo, ukoliko je EF veći od 1.5 tada je njegovo poreklo antropogeno (Sezgin *et al.* 2004; Duzgoren-Aydin *et al.* 2006).

2. Geo-akumulacioni indeks (Igeo)

Geo-akumulacioni indeks korišćen je da bi se procenio stepen zagađenja zemljišta teškim metalima na ispitivanom prostoru. Izračunat je na osnovu jednačine (Müller 1979):

$$\text{Igeo} = \log_2 ([\text{M}]_{\text{zp}} / k [\text{M}]_{\text{Eur}})$$

gde je $k = 1.5$ faktor korekcije osnove matriksa koji služi za eliminisanje mogućih razlika u vrednostima osnove usled efekata litosfere. Na osnovu sedam klasa geo-akumulacionog faktora određuje se stepen zagađenja: klasa 0 (bez zagađenja): $\text{Igeo} < 0$; klasa 1 (bez zagađenja do umerenog zagađenja): $0 < \text{Igeo} < 1$; klasa 2 (umereno zagađenje): $1 < \text{Igeo} < 2$; klasa 3 (umereno do teško zagađenje): $2 < \text{Igeo} < 3$; klasa 4 (teško zagađenje): $3 < \text{Igeo} < 4$; klasa 5 (teško do ekstremno zagađenje): $4 < \text{Igeo} < 5$; klasa 6 (ekstremno zagađenje): $5 < \text{Igeo}$. Klasa 6 je otvorena klasa i obuhvata sve vrednosti indeksa veće od indeksa klase 5. Vrednosti koncentracija metala čiji Igeo pripada klasi 6 i do 100 puta su veće od koncentracije metala u osnovi (Müller 1981; Bhuiyan *et al.* 2010).

3. Faktor kontaminacije (CF)

Faktor kontaminacije predstavlja odnos koncentracija metala na istraživanom prostoru i srednje vrednosti koncentracije teških metala u nezagađenom zemljištu Evrope (Hakanson 1980). CF je izračunat na osnovu jednačine:

$$\text{CF} = [\text{M}]_{\text{zp}} / [\text{M}]_{\text{Eur}}$$

Na osnovu vrednosti CF napravljeno je šest klasa zagađenja, pri čemu najviša klasa odgovara vrednosti koncentracije metala koja je 100 puta

veća nego što je ona u nezagađenom zemljištu (Müller 1981).

4. Indeks zagađenja (PLI)

Indeks zagađenja na lokacijama uzorkovanja određen je kao n -ti koren proizvoda n faktora kontaminacije (CF) (Bhuiyan *et al.* 2010):

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)/n$$

Na osnovu ovog indeksa može se proceniti stepen zagađenja teškim metalima. Ukoliko je PLI veći od jedinice, smatra se da je došlo do zagađenja zemljišta teškim metalima.

Rezultati i diskusija

Ukupna količina teških metala u zemljištu istraživanog područja

Ukupne koncentracije teških metala date su u tabeli 1. Budući da se radi o industrijskom zemljištu, granične (GV) i remedijacione (RV) vrednosti u zemljištu navedene su prema važećoj

Uredbi (Službeni glasnik Republike Srbije, br. 88/2010) za nepoljoprivredno zemljište. Ukupan sadržaj bakra u zemljištu industrijskih zona je iznad granične na tri lokacije (T6, T13, T14), ali ispod remedijacione vrednosti. Na još tri lokacije ovaj sadržaj je blizak GV (T2, T11, T15) (tabela 1). Ovo znači da je sadržaj bakra na tri lokacije iznad nivoa na kome je dostignut održiv kvalitet zemljišta i da ovo područje zahteva dalji monitoring, ali istovremeno ispod sadržaja koji zahteva sanacione i remedijacione mere (slika 1B).

Koncentracija ukupnog cinka varira od srednje do povišene. Na tri lokacije, T6, T13 i T14, sadržaj cinka je preko GV od 140 mg/kg, ali još uvek ispod RV (tabela 1). Na osnovu distribucije cinka (slika 1C), na dve lokacije T6 i T13 uočena je blaga kontaminacija cinkom (koncentracije su 335 i 301 mg/kg, redom).

Za vrednosti ukupnog sadržaja Mn ne postoje propisane granice. Sadržaj Mn u zemljištu veoma zavisi od pH. Kako je pH vrednost ispitivanih zemljišta industrijskih zona alkalna (sa povoljnim oksido-redukcionim potencijalom) u

Tabela 1. Ukupan sadržaj teških metala u zemljištu istraživanog području (podebljane vrednosti prelaze granične)

Tačke	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Ni (mg/kg)
T1	29.3	66.1	401.4	19.1	27.5
T2	33.9	86.3	377.2	34.0	34.4
T3	21.1	57.6	266.3	12.5	18.7
T4	31.5	89.5	363.7	30.5	31.2
T5	20.6	55.2	300.3	18.6	27.5
T6	39.7	334.6	290.3	25.9	30.7
T7	31.1	90.6	354.2	37.9	31.1
T8	28.4	65.1	286.9	26.0	23.8
T9	31.6	86.2	362.7	24.7	27.4
T10	23.3	79.8	422.6	23.8	30.4
T11	34.1	81.1	310.6	25.4	27.2
T12	18.5	57.2	191.2	24.2	20.2
T13	96.7	301.1	246.1	59.8	24.4
T14	82.4	155.6	348.2	83.0	30.9
T15	35.5	111.9	332.1	33.6	20.9
T16	24.6	82.4	334.8	30.1	28.3
Granična vr.	36.0	140.0	—	85.0	35.0
Remedijaciona vr.	190.0	720.0	—	530.0	210.0

Tabela 2. Vrednosti pokazatelja zagađenja zemljišta

Metal	EF			Igeo			CF			PLI
	min	max	sr. vr.	min	max	sr. vr.	min	max	sr. vr.	
Pb	0.69	5.68	2.5	-1.44	1.29	-0.24	0.55	3.67	1.41	1.27
Zn	1.38	14.02	3.97	-0.5	2.1	0.28	1.1	6.43	2.16	1.83
Cu	2.03	14.65	5.01	-0.08	2.31	0.73	1.42	7.44	2.8	2.50
Mn	0.51	1.4	0.88	-2.35	-1.21	-1.61	0.29	0.65	0.5	0.49
Ni	1.3	4.19	2.7	-0.53	0.35	-0.01	1.04	1.91	1.51	1.49

ispitivanom zemljištu nije ni bio očekivan povećan sadržaj Mn, a prema prostornoj distribuciji sadržaj Mn je ujednačen na čitavom posmatranom području (tabela 1, slika 1D).

Prema dobijenim rezultatima koncentracija olova ne prelazi propisane granice, ali na lokaciji T14 ovaj sadržaj je blizak graničnoj vrednosti (tabela 1, slika 1E)

Ukupan sadržaj Ni u svim uzorcima je ispod granice GV, dok je na lokaciji T2 prisutan sadržaj blizak GV (tabela 1). Prema prostornoj distribuciji, sadržaj Ni je relativno uniforman na čitavom istraživanom području (slika 1F).

Pojedinačno posmatrano, lokacije T6, T13 i T14 su opterećene povišenim sadržajem bakra i cinka preko granične vrednosti.

Pokazatelji zagađenja zemljišta teškim metalima

1. Faktor obogaćenja

Na osnovu srednjih vrednosti EF (tabela 2) na istraživanom prostoru postoji umereno obogaćenje Pb, Zn i Ni, za Mn je konstatovano slabo, dok je za Cu određeno značajno obogaćenje. Obogaćenje metalima u zemljištu na istraživanom prostoru ima sledeći redosled: Cu > Zn > Ni > Pb > Mn.

2. Geo-akumulacioni indeks

Srednje vrednosti Igeo predstavljene su u tabeli 2. Dobijeni opseg vrednosti Igeo za analizirane teške metale u zemljištu iznosi: za Pb (-1.44 do 1.29), Zn (-0.5 do 2.1), za Cu (-0.08 do 2.31), Mn (-2.35 do -1.21) i za Ni (-0.53 do 0.35). Na osnovu dobijenih vrednosti na istraživanom prostoru nije konstatovano zagađenje

niklom, manganom i olovom, a prisutno je umereno zagađenje cinkom i bakrom.

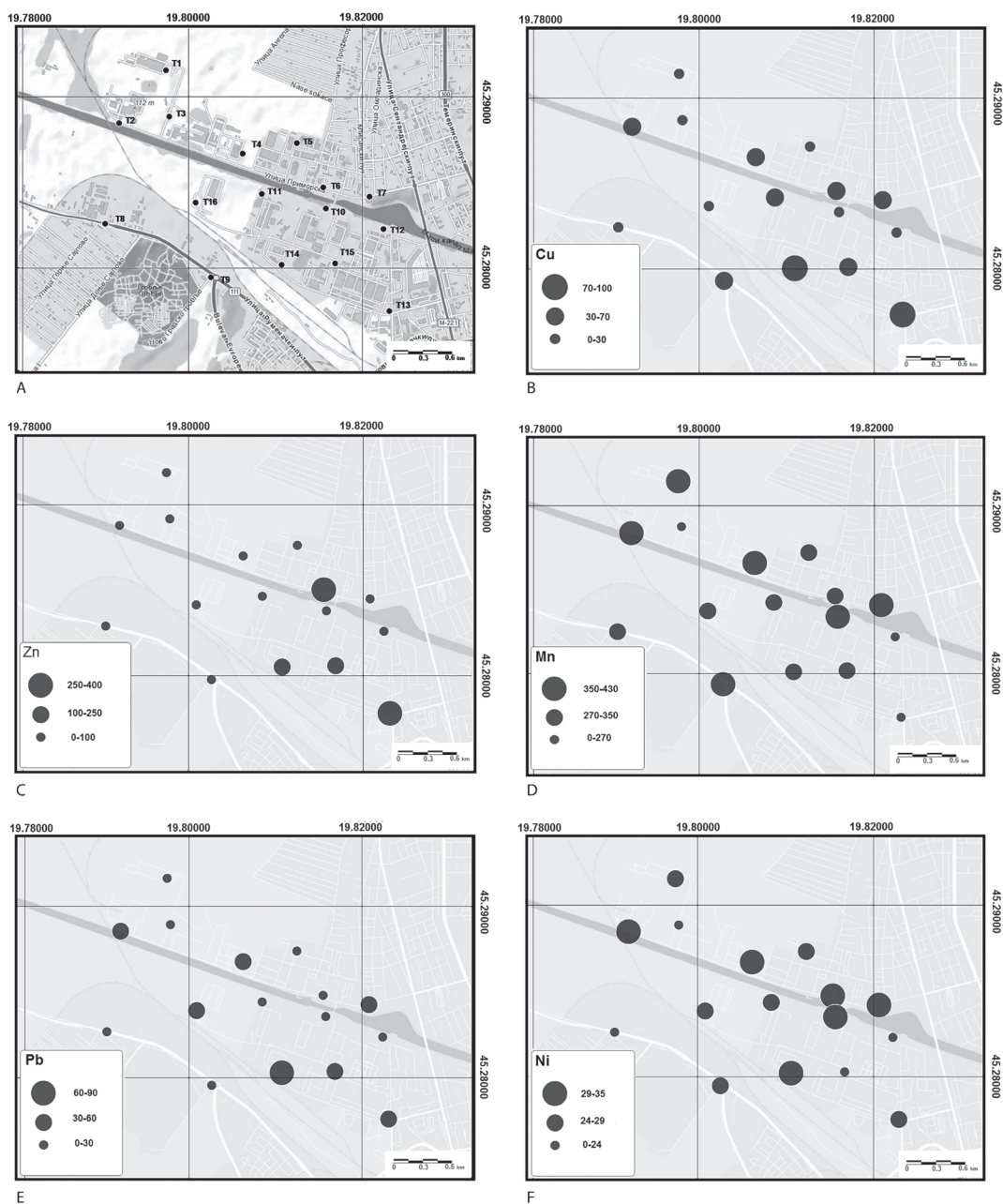
3. Faktor kontaminacije

Srednje vrednosti CF za teške metale predstavljene su u tabeli 2. Opsezi CF-a u zemljištu iznose: Pb (0.55–3.67), Zn (1.1–6.43), Cu (1.42–7.44), Mn (0.29–0.65), Ni (1.04–1.91). Za sve ispitivane elemente, izuzev mangana, srednja vrednost CF veća je od jedinice, što ukazuje da u zemljištu istraživanog prostora postoji antropogeni uticaj i zagađenje teškim metalima na pojedinim lokacijama.

4. Indeks zagađenja

Izračunate vrednosti PLI teškim metalima na istraživanom prostoru nalaze se u opsegu 0–2.5. Srednja vrednost ovog indeksa iznosi 1.51 i na osnovu srednje vrednosti zemljište istraživanog prostora je slabo zagađeno teškim metalima.

Emisije iz industrijskih postrojenja su bile glavni uzrok zagađenja životne sredine. Donošenjem niza zakonodavnih propisa, prvenstveno uvođenje obaveze monitoringa emisija u vazduh, vodu i zemljište i uvođenjem graničnih vrednosti, ovaj uticaj je smanjen. Drugi razlog, za smanjenje zagađenja životne sredine u gradu Novom Sadu je značajno smanjenje industrijske proizvodnje, usled privredne krize i prestanka rada pojedinih fabrika u posmatranim industrijskim zonama. Prema tome, prisutne koncentracije detektovane u ovom istraživanju, mogu se označiti kao „istorijsko zagađenje” zemljišta, tj. zagađenje životne sredine usled dejstva prirodnih procesa i ljudskih aktivnosti koje je nastalo u dužem vremenskom periodu usled proizvodnih i drugih aktivnosti.



Slika 1. Koncentracija bakra, cinka, mangana, olova i nikla na istraživanom području u mg/kg (mape urađene u programu ArcGIS)

Figure 1. Concentrations of copper, zinc, manganese, lead and nickel in the investigated area expressed in mg/kg (map made in ArcGIS program)

Zaključak

Na osnovu srednjih vrednosti efekta obogaćenja na području industrijskih zona Sever i Jug, postoji umereno obogaćenje olovom, cinkom i niklom, za mangan je određeno slabo, a za bakar značajno obogaćenje. Na osnovu dobijenih vrednosti geoakumulacionog indeksa na istraživanom prostoru ne postoji zagađenje niklom, manganom i olovom, a umereno je zagađenje cinkom i bakrom. Za sve ispitivane elemente, izuzev mangana, srednja vrednost faktora kontaminacije veća je od jedinice, što ukazuje da u zemljištu istraživanog prostora postoji antropogeni uticaj i zagađenje teškim metalima na pojedinim lokacijama. Vrednost indeksa zagađenja teškim metalima se nalazi između 0 i 2.5, na osnovu čega se može smatrati da je zemljište istraživanog prostora slabo zagađeno teškim metalima. Dobijeni rezultati hemijskih analiza pokazuju da se prisutne koncentracije detektovane u ovom istraživanju mogu označiti kao „istorijsko zagađenje” zemljišta, usled smanjene emisije štetnih materija u poslednje dve decenije.

Zahvalnost. Veliku zahvalnost dugujem svojoj mentorki Dr Jordani Ninkov, koja me je usmerila i pružila nesebičnu pomoć pri izradi rada, podršku i korisne savete. Hvala svim saradnicima u Institutu za ratarstvo i povrtarstvo i Istraživačkoj stanici Petnica koji su mi pomogli pri laboratorijskim ispitivanjima rađenim u ovom radu. Posebnu zahvalnost dugujem Dr Minučeru Mesarošu, koji mi je bio učitelj u oblasti geostatistike i primene GIS sistema.

Literatura

Bhuiyan M. A., Parvez L., Islam M. A., Dampare S. B., Suzuki S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part

of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, **173** (1-3): 384.

Daskalakis K. D., O'Connor T. P. 1995. Normalization and Elemental Sediment Contamination in the Coastal United States. *Environmental Science & Technology*, **29** (2): 470.

Duzgoren-Aydin N. S., Wong C. S., Aydin A., Song Z., You M., Li X. D. 2006. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Guangzhou, SE China. *Environmental Geochemistry and Health*, **28** (4): 375.

Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, **14** (8): 975.

IAEA (International Atomic Energy Agency) 2004. *Soil sampling for environmental contaminants; IAEA-TECDOC-1415*. Vienna: International Atomic Energy Agency.

Müller G. 1979. Schwer metalle in den sediments des Rheins-Veränderungenseit 1971. *Umschau*, **79**: 778.

Müller G. 1981. Die Schwermetallbelastung der sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemiker Zeitung*, **105**: 157.

SRPS/ISO 11464: 2004. *Kvalitet zemljišta – prethodna obrada uzoraka za fizičko-hemijske analize*. Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije

Sezgin N., Ozcan H. K., Demir G., Nemlioglu S., Bayat C. 2004. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*, **29** (7): 979.

Salminen R., Batista M. J., Bidovec M., Tarvainen T. 2005. *Geochemical Atlas of Europe*. Part 1. Background information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, ESPOO

Službeni glasnik 2010. Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa. *Službeni glasnik RS*, 88/2010

Zoller W. H., Gladney E. S., Duce R. A. 1974. Atmospheric concentrations and sources of trace metals at the South pole. *Science*, **183** (4121): 198.

Elena Tadić

Distribution of Heavy Metals in the Soil of Novi Sad's Industry Zones North and South

The rapid industrial and urban development of human society, in addition to numerous benefits, has the effect of increasing the pollution of the environment. Pollutants can be of inorganic (heavy metals) and organic origin. The aim of this research was to determine the concentration of heavy metals in the industrial ones North and South (Working zones North I and North II) in Novi Sad. Activity concentrations of heavy metals (Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) were analyzed in soil samples from 16 locations in the vicinity of the largest factories in industry zones North and

South. The pollution status was assessed using the total concentration of heavy metals, Enrichment factor (EF), Geo-accumulation index (Igeo), Contamination Factor (CF) and Pollution Load Index (PLI) in soil. Based on the median values of EF, there is moderate enrichment of lead, zinc and nickel, for manganese it is poorly defined, and for copper there is significant enrichment. Based on the obtained values of the geoaccumulation index in the investigated area, there is no pollution by nickel, manganese and lead, and moderate pollution with zinc and copper. The value of the heavy metal pollution index is between 0-2.5, which means it can be considered a poorly contaminated area. The obtained results of chemical analyses show that the present concentrations detected in this study can be termed "historical pollution" of the soil, due to the reduced emission of harmful substances in the last two decades.

