



## Sofinanciranje EU projekta

### URBSOIL

# »Urban Soils as a Source and Sink for Pollution: Towards a Common European Methodology for the Evaluation of their Environmental Quality as a Tool for Sustainable Resource Management«

## Končno poročilo



Center za pedologijo  
in varstvo okolja



Projekt URBSOIL  
EVK4-CT-2001-00053



Evropska komisija  
5 okvirni program



Mestna občina Ljubljana  
Zavod za varstvo okolja

Ljubljana, februar 2005



Univerza  
v Ljubljani

*Biotehniška*  
fakulteta  
Oddelek za agronomijo

**Center za pedologijo  
in varstvo okolja**

Jamnikarjeva 101  
1000 Ljubljana

Tel.: 01 423 11 61  
Fax: 01 423 10 88  
Davčna št.: 94761795  
Matična št.: 1626914  
[www.bf.uni-lj.si](http://www.bf.uni-lj.si)



**1 NAROČNIK:**

Mestna občina Ljubljana, Mestna uprava, Zavod za varstvo okolja  
Linhartova 13, 1000 Ljubljana

**2 IZVAJALEC:**

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo  
Center za pedologijo in varstvo okolja  
Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

**3 NASLOV:**

**Sofinanciranje EU projekta z naslovom URBSOIL »Urban Soils as a Source and Sink for Pollution: Towards a Common European Methodology for the Evaluation of their Environmental Quality as a Tool for Sustainable Resource Management«**

**4 ŠT. POGODBE:**

ZVO 6/2004

**5 ŠT. IZVODOV:**

Izvajalec: 2 izvoda  
Naročnik: 3 izvode

IZVOD 3/5

**6 ODGOVORNI VODJA:**

doc. dr. Helena GRČMAN, univ. dipl. ing. agr.

**7 SODELAVCI:**

doc. dr. Helena GRČMAN, univ. dipl. ing. agr.  
prof. dr. Franc LOBNIK, univ. dipl. ing. agr.  
mag. Marko ZUPAN, univ. dipl. ing. agr.  
Borut VRŠČAJ, univ. dipl. ing. agr.  
Tomaž KRALJ, univ. dipl. ing. agr.  
Tatjana PAČNIK, ing. agr.  
Spec. Janez RUPREHT, univ. dipl. ing. agr.  
Andreja HODNIK, univ. dipl. ing. agr.

Svetlana GOGIČ  
Bernarda MOHORVIČ  
Rozalija ILC  
Vili ŠIJANEC  
Jože GLAD  
Klemen ZAVRŠNIK

**8 DATUM**

25. februar 2005

Odgovorni vodja:  
doc. dr. Helena GRČMAN

Predstojnik Centra za pedologijo  
in varstvo okolja:  
prof. dr. Franc LOBNIK

Prodekan Oddelka za agronomijo:  
prof. dr. Franci ŠTAMPAR

Dekan Biotehniške fakultete:  
prof. dr. Jože OSTERC



## KAZALO VSEBINE

1. PROJEKT URBSOIL .....	8
1.1. URBSOIL v Mestni občini Ljubljana.....	8
2. TLA .....	9
2.1. Težke kovine v tleh .....	9
2.2. Policiklični aromatski ogljikovodiki v tleh .....	11
3. ZASNOVA STRATEGIJE VZORČENJA .....	13
4. IZBOR VZORČNIH LOKACIJ .....	15
5. VZORČENJE IN PRIPRAVA TAL ZA ANALIZE.....	19
6. ANALITSKI POSTOPKI.....	20
7. REZULTATI IN KOMENTAR .....	22
7.1. Osnovne pedološke lastnosti vzorčnih lokacij .....	22
7.2. Skupna vsebnost težkih kovin: Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Mn, Fe ter Cd v tleh MOL .	26
7.3. Vsebnost policikličnih organskih ogljikovodikov (PAO) v izbranih talnih vzorcih	29
7.4. STANJE KAKOVOSTI TAL PO POSAMEZNIH KATEGORIJAH RABE TAL	31
7.4.1. Parki.....	31
7.4.2. Igrišča ob vrtcih.....	33
7.4.3. Igrišča ob osnovnih šolah .....	34
7.4.4. Zelene površine ob cestah in križiščih.....	35
7.4.5. Brežine rek.....	36
7.4.6. Vrtilčki (Zelenjavni vrtovi) .....	37
7.4.7. PRIMERJAVA STANJA KAKOVOSTI TAL v MO LJUBLJANA Z	
LETOM 1991 .....	38
8. POVZETEK .....	41
8.1. Razširjeni povzetek v slovenskem jeziku.....	41
8.2. Povzetek v angleškem jeziku.....	43
9. Literatura .....	45

## **KAZALO SLIK**

Slika 1: Razdelitev MOL v kvadrante z mrežo 100 krat 100m.....	14
Slika 2: Kodiranje vzorčnih mest. ....	14
Slika 3: Vzorčna dokumentacija: vpisni formular.....	14
Slika 4: Vzorčna dokumentacija: etikete za označevanje vzorcev.....	14
Slika 5: Načrt območja MOL z označenimi vzorčnimi lokacijami (Načrt MOL je podatkovna baza MOL).....	18
Slika 6: Orodje za vzorčenje.....	19
Slika 7: Vzorec vzorčenja.....	19
Slika 8: Talni vzorec v sondi.....	19
Slika 9: Talni vzorec v sondi.....	19
Slika 10 : Osnovne pedološke lastnosti v odvisnosti od rabe tal.....	24
Slika 11: Osnovne pedološke lastnosti v odvisnosti od globine.....	25
Slika 12 : Vsebnost težkih kovin v tleh glede na različno rabo tal.....	27
Slika 13: Vsebnost težkih kovin v tleh glede na različno globino tal.....	28

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam vzorčnih točk glede na rabo tal.....	15
Preglednica 2: Povprečja, mediane, minimalne ter maksimalne vrednosti osnovnih talnih lastnosti v MOL.....	23
Preglednica 3: Vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov v izbranih talnih vzorcih. (n=28).....	29
Preglednica 4: Mejna, opozorilna in kritična imisijska vrednost za izbrane težke kovine, vsoto PAO in DDT v tleh (mg/kg) (Ur.l. RS št. 68/96).....	31
Preglednica 5: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za parke v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).....	32
Preglednica 6: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine (mg/kg) v tleh za igrišča ob vrteih MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).....	33
Preglednica 7: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za igrišča ob šolah v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).....	34
Preglednica 8: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za zelene površine ob cestah in križiščih v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96). 35	35
Preglednica 9: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za brežine rek v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).....	36
Preglednica 10: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost izmerjenih nevarnih snovi v tleh (mg/kg) za vrtilčke v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68 /96). .....	37
Preglednica 11: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne kovine v tleh (mg/kg) v letu 1991; lokacija 'deponija Barje' je podana posebej (Lobnik in sod. 1992). Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68/96). .....	38
Preglednica 12: Primerjava povprečnih vrednosti izmerjenih težkih kovin v tleh leta 1991 in 2002.....	39
Preglednica 13: Primerjava povprečnih vsebnosti nekaterih organskih nevarnih snovi v tleh leta 1991 in 2002 .....	40

## 1. PROJEKT URBSOIL

URBSOIL je akronim projekta 5. okvirnega evropskega programa, ki ga financira Evropska komisija z naslovom: "Urban Soils As a Source and Sink for Pollution: Towards a Common European Methodology for the Evaluation of their Environmental Quality as a Tool for Sustainable Resource Management". V njem sodeluje 7 partnerjev:

- Università di Torino DI.VA.P.RA; Chimica Agraria, Via Leonardo da Vinci, 44 10095 Grugliasco (Torino), Italy.
- University of Paisley Department of Chemistry and Chemical Engineering. PA1 2BE PAISLEY Scotland, UK;
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Apartado 1052, 41080 Sevilla Spain;
- Universidade de Aveiro Department of Chemistry, 3810-193 Aveiro PORTUGAL.
- Swedish Agricultural University, Department of Soil Science, Ulls väg 17, P.O. Box 7014, 75007 Uppsala, SWEDEN;
- University of Strathclyde, Pure and Applied Chemistry, 295 Cathedral Street, Glasgow, G1 1XL, UK;
- Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja, Jamnikarjeva 101 1000 Ljubljana Slovenija.

Delo na projektu je organizirano v 6 delovnih sklopih. Glavni cilji projekta so:

- Razvoj in uskladitev metod za ugotavljanje kakovosti urbanih tal;
- Razvoj in vzpostavitev metodologije vzorčenja;
- Uskladitev analitskih postopkov za določanje onesnaženosti tal in ostalih talnih lastnosti;
- Razvoj in validacija GIS postopkov za vrednotenje rezultatov onesnaženja tal;
- Zasnova orodja za uporabo podatkov o tleh in drugih okoljskih parametrih.

### 1.1. URBSOIL v Mestni občini Ljubljana

Kot modelno mesto smo izbrali Ljubljano. Z namenom, da bi pridobili podatke, ki bi v največji meri koristili lokalni skupnosti, smo projekt razširili z vsebinami, ki smo jih dogovorili z Zavodom za varstvo okolja MU MOL. Končno poročilo razširitve projekta URBSOIL zajema:

- Osnovni opis talnih parametrov, ki so bili zajeti v raziskavi;
- Opis strategije vzorčenja;
- Opis analitskim metod;
- Pregled stanja tal v MOL po kategorijah rabe tal;
- Primerjavo stanja tal glede na leto 1990;
- Standardiziran izpis za vsako vzorčno lokacijo posebej, s kratkim komentarjem onesnaženosti.



## 2. TLA

Tla so površinski del zemeljske skorje, ki je pod vplivom litosfere, atmosfere in hidrosfere dobil novo kakovostno lastnost – rodovitnost. Tla se nahajajo med geološko podlago in rastlinsko odejo. V naravi omogočajo prenose snovi in energije med živo in neživo naravo. Imajo značilne načine nastajanja, ki so praviloma dolgotrajni (tisoči let). Človeku omogočajo bivanje tako z možnostjo pridelave hrane, energetskih in drugih surovin, kakor tudi s fizičnim prostorom-zemljiščem. So ponor številnih snovi, ki obremenjujejo okolje, kot so ogljikov dioksid, dušične spojine, težke kovine, kemični pripravki za različne namene in drugo. Od tal so odvisni tudi drugi naravni viri, najbolj podtalnica kot vir pitne vode.

Urbana tla se od nurbanih tal (kmetijskih, gozdnih, ...) razlikujejo v sestavi in rabi. Najpogosteje zasledimo odsotnost naravnih horizontov (plasti), material je premešan, pogosto najdemo ostanke gradbenega ali drugih materialov. Ker se tla v urbanem okolju pogosto razvijejo na materialih ki so neavtohtonega izvora, npr. material navožen od drugod, so pogosto zelo heterogena (De Kimpe in Morel, 2000). Navožen material je lahko tudi onesnažen, navadno je grobo zrnat (gradbeni material) in bolj podvržen izpiranju gline (Robertson in sod., 2003). Urbana tla so lahko bolj zbita kot kmetijska tla. Zbitost je rezultat uporabe težke mehanizacije pri gradnji. K zbitosti prispeva tudi hoja po tleh. Zbitost tal škoduje občutljivim rastlinskim vrstam in povzroča erozijo (Plaster, 1992). Urbana in suburbana tla uporabljamo v številne različne namene (parki, otroška igrišča, rekreacijske površine). Pogosto se pozidana ali popločena zemljišča izmenjujejo z manjšimi površinami zelenic, zaradi česar je ugotavljanje kakovosti tal v urbanih predelih povezano s težavami pri sistematičnem vzorčenju in z večjimi stroški. To je tudi razlog, zakaj urbana tla v preteklih obdobjih niso bila tako pogosto vključena v raziskave in monitoringe.

Večja gostota prebivalstva in prometa ter različna industrija so vzrok emisij, ki onesnažujejo zrak, vode in tla. Številni avtorji navajajo obremenjenost urbanih tal z različnimi onesnažili. Težke kovine, kot so Cd, Pb, Zn, Cu in Ni, so pogosti polutanti v urbanih tleh (Dudka in sod., 1996). Promet, izpušni plini avtomobilov in avtomobilske pnevmatike, preperevanje, korozija gradbenih materialov so poleg težke industrije glavni viri Pb, Zn in Cd v mestnem okolju (Akhter in Madany, 1993; De Miguel in sod., 1997; Li in sod., 2001). Pri prometu so posebej obremenjena križišča in glavne prometnice (Kelly in Thornton, 1996; Li in sod., 2004). Ker so urbana tla pogosto premešana in navožena, koncentracije onesnažil v zgornjih slojih tal niso vedno odvisne od bližine industrijskih obratov. Akumulacija in povečana koncentracija težkih kovin v vrhnjem sloju tal pričata o antropogenem izvoru onesnaženja (Imperato in sod. 2003). Pri tem gre najpogosteje za atmosferske depozite (Haygarth in Jones, 1992). Sežiganje je aktivnost, ki povzroča znatno povečanje naravnih emisij težkih kovin v atmosferi. Atmosferski transport kovin je odvisen od njihovih kemičnih lastnosti. Hlapljive kovine (Hg, Se) se lahko prenašajo v obliki plinov ali preko delcev v zraku (aerosolov), ostale pa zlasti preko aerosolov (Cd, Pb in Zn). De Miguel in sod. (1997) poročajo o pomembnosti delcev prahu, kot vektorjev Pb v okolju in sicer predvsem manjših od 100  $\mu\text{m}$ , ki lahko lebdi v zraku in na ta način prepotujejo velike razdalje, preden se odložijo v tla (Haygarth in Jones, 1992). Koncentracije Pb in Fe so povečane v mestnih središčih v primerjavi z obrobjem (Robertson in sod., 2003) in v mestih v primerjavi z nurbanimi lokacijami. Izpostavljena so predvsem stara mestna središča (Madrid in sod., 2002).

### 2.1. Težke kovine v tleh

Naravna vsebnost kovin v tleh je odvisna predvsem od matične podlage. V splošnem je njihova vsebnost večja v kamninah vulkanskega kot sedimentnega izvora. Poleg naravnega

izvora kovin, poznamo številne antropogene izvore, ki jih imenujemo tudi viri onesnaževanja. Onesnaževanje je lahko razpršeno (posledica imisij, požarov, ...), točkovno (deponije in odlagališča, izlivi ob nesrečah,...) ali pa linijsko, ki ga zaznamo ob prometnih povezavah (Leštan in sod., 1997). V evropskem merilu je s težkimi kovinami onesnaženih nekaj milijonov ha kmetijskih površin (Flathman in Lanza, 1998). V Sloveniji so tla sorazmerno neonesnažena s težkimi kovinami, vendar imamo nekaj žarišč: s Cd in Zn onesnaženo območje Celja (Lobnik in sod., 1994), s Pb, Ni in Cr onesnaženo območje Jesenic (Zupan, 1999), s Pb, Zn in Cd obremenjeno Mežiško dolino (Prpić-Majić in sod., 1996; Kerin, 1974; Souvent, 1992), ter onesnažena območja ob prometnicah (Vidic in sod., 1997).

Težke kovine so lahko za rastline, živali in človeka toksične. Toksičnost za rastline se kaže v inaktivaciji encimov, blokiranju funkcionalnih skupin biološko pomembnih molekul in poškodbah biomembran (Ross, 1994). To vodi do zmanjšanega sprejema mineralnih hranil in zmanjšane rasti ter pogosto tudi do nespecifičnih znamenj, kot so kloroze (Bergmann, 1992). Težke kovine lahko motijo elektronski transport pri procesih dihanja in fotosinteze (Larcher, 1995). Zanimivo je, da so mnoge težke kovine mikrohranila, torej v majhnih količinah za življenje nujno potrebne (esencialne). Ljudje in živali lahko sprejemajo težke kovine preko rastlin (prehranjevalna veriga) ter direktno z vdihovanjem s težkimi kovinami bogatih prašnih delcev in zaužitjem onesnaženih talnih delcev (iz rok v usta, geofagija).

Toksične učinke svinca so poznali že v stari Grčiji. Sorazmerno neovirano prehaja skozi placento. Ker otroci še nimajo popolnoma razvite bariere med krvjo in možgani, prehaja v možgane in jih poškoduje (hiperaktivnost, izpad motoričnih funkcij, encefalopatije, zaostalost). Glavna pot vnosa Pb v telo je zaužitje onesnaženih tal in vdihavanje s Pb bogatih prašnih delcev (veterna erozija tal). Po podatkih WHO (1996b) je nevarno, če zaužijemo ali kako drugače sprejmemo več kot  $500 \mu\text{g dan}^{-1}$  Pb. Posebno ogrožena skupina so otroci. Po podatkih (Culbard in sod., 1988) otroci 50% Pb zaužijejo direktno iz onesnaženih tal. 40 do 50% sprejetega Pb tudi zadržijo. Odrasli zadržijo 10-50% sprejetega Pb. Pb povzroča tudi metabolne, krvne in ledvične bolezni, ovira vezavo Fe na protoporfirin in povzroča anemije (WHO, 1996b), pri odraslih pa tudi hipertenzijo.

Za kadmij je značilno, da ga največji delež sprejmemo predvsem s hrano. Po izračunih kar 50% iz žit (Oliver, 1997). Po priporočilih WHO (1996a) je največja še sprejemljiva količina zaužitega Cd  $70 \mu\text{g dan}^{-1}$ . Otroci naj ne bi zaužili več kot  $2-25 \mu\text{g Cd dan}^{-1}$ , odrasli pa 15 do  $50 \mu\text{g dan}^{-1}$  (WHO, 1996a). Cd je kumulativni strup in se kopiči v ledvični skorji. Pri koncentracijah večjih od  $200 \mu\text{g kg}^{-1}$  sveže mase povzroča motnje v delovanju ledvic. Obsežno epidemiološko študijo so izvedli na Japonskem, kjer je v pokrajini Toyama kar 9,5% tal onesnaženih s Cd. Cd vpliva na metabolizem Ca in vitamina D in povzroča kostne bolezni in deformacije skeleta (bolezen itai-itai), težave pri reprodukciji, kardiovaskularne bolezni, hipertenzijo in je rakotvoren (Oliver, 1997).

Z razliko od kadmija in svinca je cink mikrohranilo. Sodeluje v metabolnih procesih sinteze in razgradnje ogljikovih hidratov, lipidov, proteinov in nukleinskih kislin. Pogosto ga v hrani in v tleh celo primanjkuje (Kiekens, 1995). Po priporočilih WHO (1996c) naj bo dnevna zaužita količina Zn 15 do 22 mg. Količine večje od  $150 \text{mg dan}^{-1}$  povzročajo oslabitev imunskega sistema in pomanjkanje Cu v telesu, količine večje od  $440 \text{mg dan}^{-1}$  Zn lahko povzročijo želodčne razjede.

Tudi baker prištevamo h kovinam, ki se v večjih količinah pojavljajo v okolju zaradi človekove aktivnosti in lahko delujejo toksično na rastline, živali in človeka. Veliko bakra pride v tla iz zraka v obliki aerosolov (skupaj z Ni, Cd in Pb), ki nastanejo v okolici železarn in rudnikov. Za najbolj onesnažena pa veljajo kmetijska zemljišča, kjer so dolga leta uporabljali fitofarmacevtske pripravke na osnovi bakra. Stritar in Pavlovič (1988) sta ugotovila, da vsebujejo vinogradi, ki so jih sto let škropili s bakrenimi sredstvi v povprečju 72

mg/kg izmenljivega bakra v zgornjem sloju tal, 20 let stari vinogradi 17.5 mg/kg, medtem, ko gozdna rjava tla vsebujejo le 0.8 mg/kg izmenljivega bakra v zgornjem sloju tal. Baker je mikrohranilo. Če ga v hrani primanjkuje, se pri ljudeh pojavi anemija, nevtropenija in demineralizacija kosti. Glavni vir Cu za človeka je hrana. V prevelikih količinah je toksičen. Povzroča akutne gastrointestinalne in metabolične motnje, poškodbe jeter, drisko in bruhanje. Po podatkih WHO je zgornja, še dopustna dneva količina zaužitega Cu 2-3 mg/kg.

Količina niklja v tleh je povezana predvsem z matično podlago. Vsebnosti Ni so najvišje v ultramafičnih kamninah globočinah (peridotit ali serpentinit), saj vsebujejo celo do 2000 mg/kg Ni. Tla vsebujejo od 0,01 do 2,6 mg/kg kislinsko dostopnega niklja, v tleh na serpentinitu so koncentracije višje (3 do 70 mg/kg), kar lahko predstavlja toksično mejo za nekatere rastline. Nikelj spada med elemente, katerih esencialnost kljub trditvam nekaterih avtorjev še ni popolnoma jasna. Motnje v prehrani ter poškodbe rastlin se pokažejo pri vsebnosti niklja 12 mg/kg pri peščenih tleh, 25 mg/kg pri težkih tleh in nad 500 mg/kg pri šotnih tleh (Bergmann, 1992). Za človeka je Ni lahko toksičen. Po podatkih WHO (2004) nikljevi oksidi in sulfidi povzročajo pljučnega raka, raka na grlu, kronično vnetje zgornjih dihal, pri občutljivih ljudeh sproži kontaktni dermatitis. Sprejemljivi dnevni vnos Ni v človeški organizem je 11 µg/kg telesne teže. Sprejem s hrano ni nevaren, nevaren je sprejem preko kože in z vdihovanjem. V zraku se pojavlja v bližini tovarn in sežigalnic trdnih odpadkov.

Naravne vrednosti kroma v tleh so močno povezane z matično kamnino. Visoke vsebnosti kroma so značilne za tla nastala na magmatskih kamninah, vendar je koncentracijsko območje povezano tudi z vrsto kamnin. Največ Cr je v ultramafičnih kamninah (1600 - 3400 mg/kg), manj pa v kisljih magmatskih kamninah (4 - 25 mg/kg). (Kabata-Pendias, Pendias, 1986). V procesu preperevanja oksidira Cr iz tri-valentnega v šest-valentno stanje in tvori kromatni ion ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ), ki je topen v bazičnih okoljih z visokim oksidacijskim potencialom. Reakcija tal, delež organske snovi v tleh, redoks potencial tal in tekstura tal so dejavniki, ki vplivajo na šest-valentno obliko kroma v tleh. Tri-valentna oblika kroma je v tleh bolj pogosta, vendar manj topna in manj mobilna, ker se krom (III) veže v različno topne organske komplekse. S tem je imobiliziran. V sistemu tla - rastlina se le majhen delež oksidira v Cr (VI) (Cary, 1982). Bolj toksična oblika za rastline in človeka je šestvalentna oblika. Trivalentni krom je esencialen, za delovanje inzulina. Človek ga največ dobi ga s hrano in vodo. Šestvalentni krom je toksičen za jetra in ledvice, povzroča krvavenje iz nosu, kronična vnetja dihal in sinusov, je pa tudi dokazan pljučni kancerogen in povzroča alergije na koži. Šestvalentni krom se v okolju hitro spremeni v trivalentnega, zaradi česar je najbolj nevaren v neposredni bližini virov.

## 2.2. Policiklični aromatski ogljikovodiki v tleh

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAO) so spojine, ki se v okolju pojavljajo predvsem zaradi naravnih procesov (požari in vulkanski izbruhi), v urbanih in industrijskih predelih pa predvsem zaradi antropogenih dejavnikov. Največ se jih sprošča pri predelavi nafte, zgorevanju fosilnih goriv, pri nekontroliranem zgorevanju gum, zgorevanju cigaret, in podobno (Edwards, 1983). So redne sestavine dima, adsorbirani na trdnih delcih, torej nastajajo zlasti pri nepopolnem zgorevanju, tj. pri pomanjkanju kisika. PAO so srednje hlapne organske spojine, ki se odlagajo na površino rastlin in s tem posredno ogrožajo človekovo zdravje, saj so nekatere od spojin iz skupine PAO kancerogene ali mutagene (Bakker et al., 2000). Koncentracije PAO v tleh so v bližini industrijskih objektov, cest in točkovnih virov onesnaženja za faktor 2 do 10 krat večje kot v tleh ruralnega območja.

Eikman in Kloke (1991) navajata vsebnost 1 mg/kg kot mejno koncentracijo s katero opredelimo multifunkcionalnost tal, pri čemer izpostavljata predvsem obliko benzo-a-pyren in ne vsoto vseh poliaromatskih ogljikovodikov (PAO). Nekatere države, ki imajo več izhodiščnih podatkov o vsebnosti PAO v tleh poleg vsote PAO navajajo in podajajo normativne vrednosti tudi za posamezne komponente PAO, med katerimi je obvezno naveden benzo-a-pyren. Tudi v t.i. 'Berliner liste' iz leta 1996 (Praxisratgeber Altlastensanierung, 1997) zasledimo mejne vsebnosti posebej za benzo-a-pyren in skupno koncentracijo PAO. Najstrožje omejitve veljajo za tla, ki so namenjena otroškim igriščem: 0.1 mg/kg za benzo-a-pyren oziroma 1 mg/kg za vsoto PAO. Površine bivalnih sosek, kjer se tla uporabljajo tudi kot vrtovi za pridelavo hrane naj bi po omenjeni listi predstavljale tveganje za človeka v kolikor je koncentracija benzo-a-pyrena 5 mg/kg oziroma vsota PAO 50 mg/kg tal. Mejna vrednost v slovenski zakonodaji je 1 mg/kg tal; opozorilna vrednost pri kateri smatramo tla onesnažena s PAO pa znaša 20 mg PAO/kg tal (Ur. l. RS 68/96).

### 3. ZASNOVA STRATEGIJE VZORČENJA

Ugotavljanje kakovosti tal v času in prostoru imenujemo monitoring tal. Sistem monitoringa tal mora zadostiti trem glavnim zahtevam: objektivnosti, reprezentativnosti in ponovljivosti. Za sledenje kakovosti tal na državnem nivoju, je bilo razvito sistematično vzorčenje v mreži  $2 \times 2$  km (Gaus-Kruger projekcija), ki je podrobno opisan v poročilih Centra za pedologijo in varstvo okolja naročniku projekta ROTS, Ministrstvu za okolje, prostor in energijo. Sistem, ki je namenjen za evidentiranje in sledenje (ne)onesnaženosti tal za celo Slovenijo je primeren in prilagojen predvsem za kmetijska zemljišča in gozd. Zaradi posebnosti urbanega prostora pa ni primeren za urbane površine, zato urbana območja tudi niso vključena v ROTS. Za urbane površine velja, da je heterogenost tal izjemno velika. Tla so zelo pogosto premešana in prepeljana od drugod in vsebujejo primesi, ki so posledica človekove dejavnosti. Največkrat so to ostanki gradbenih materialov ter snovi, ki izvirajo iz industrijske in drugih dejavnosti v urbanem prostoru. Tla so torej močno antropogenizirana, redko najdemo predele, ki še premorejo dokaj velike vključke semi-naravnih zemljišč. Drug zelo pomemben dejavnik je raba zemljišč. Velik del mest je gosto pozidan, zemljišča so močno razdrobljena tudi z vidika rabe tal. Variabilnost urbanih tal je velika in odvisna od rabe tal. Pogosto je variabilnost talnih lastnosti (onesnaženje) velika že na majhni površini, v okviru ene vrste rabe zemljišča.

Obstoječi sistem za državni monitoring je neprimeren za urbane površine zaradi:

- obstoječa mreža  $2 \times 2$  km oziroma tudi zgoščena na  $1 \times 1$  km je pregroba;
- vzorčno mesto, ki je predvideno za neurbano območje (krog premera 100 m s središčem v presečišču mreže) je preveliko;
- pogosto se zgodi, da je vnaprej določeno vzorčno mesto je pozidano;
- sistematično vzorčenje, ki je primerno za državni monitoring tudi ne dovoljuje namenskega vzorčenja izbranih kategorij rabe tal (otroška igrišča ob šolah in vrtcih, parkovne površine) in strokovne presoje.

V okviru projekta URBSOIL smo na Centru za pedologijo in varstvo okolja začeli razvijati strategijo vzorčenja namenjeno urbanih površinam. Izhodiščne zahteve so bile:

- sistem mora zagotavljati objektivnost, reprezentativnost in ponovljivost;
- zagotovljena mora biti QC/QA (kontrola kakovosti) na vseh nivojih, tudi na nivoju vzorčenja;
- omogočen mora biti izbor posameznih kategorij rabe prostora (zelenice, površine ob cestah, igrišča, parkovne površine, industrijska območja....) in strokovna presoja, kjer je to potrebno;
- sistem mora biti kompatibilen (metodologija vzorčenja, analitski postopki, geokodiranje) z obstoječim državnim monitoringom;
- omogočeno mora biti enoznačno kodiranje vzorčnih lokacij;
- omogočena naj bi bila vključitev vzorčnih lokacij iz predhodnih raziskav v skupno bazo z enostavnim rekodiranjem;
- omogočeno naj bi bilo kodiranje vzorčnih mest vnaprej, kar bi omogočilo pripravo materialov, ki zagotavljajo kakovostno vzorčenje (vpisni formularji, nalepke za označevanje vzorcev skozi ves postopek od terenskega vzorčenja do laboratorija,...

Odločili smo se, da celotno območje MOL razdelimo v kvadrante  $100 \times 100$  m (Slika 1). Središča kvadrantov so presečišča mreže  $100 \times 100$  m, ki je zgostitev obstoječe mreže za državni monitoring  $2 \times 2$  km. Kvadranti so zaporedno oštevilčeni (Slika 2) in vse vzorčne lokacije znotraj enega kvadranta pridobijo šifro kvadranta z možnimi dodatnimi oznakami, če



#### 4. IZBOR VZORČNIH LOKACIJ

Z opisano strategijo vzorčenja smo izbrali 130 lokacij z različno rabo tal (Slika 5). Kriteriji za izbor so bili: vnaprej določena raba tal, vzorčne lokacije naj bi čimbolj enakomerno pokrile celotno urbano površino MOL, upoštevali smo strokovno presojo in interes lokalnih oblasti (Zavod za varstvo okolja pri MOL), s katerimi smo sodelovali od začetka projekta. Seznam vzorčnih točk je podan v preglednici 1.

**Preglednica 1: Seznam vzorčnih točk glede na rabo tal.**

Zap	Oznaka	Opis lokacije
<b>IGRIŠČA OB VRTCIH</b>		
1.	MOL02808	VRTEC ČRNUČE, ENOTA GMAJNA, CESTA V PEČALE 1
2.	MOL04704	VRTEC CICIBAN, ENOTA PASTIRČKI, GLINŠKOVA PLOŠČAD 11A
3.	MOL06913	VRTEC MIŠKOLIN, ENOTA SNEBERJE, ŠMARTINSKA CESTA 246A
4.	MOL07559	VRTEC JELKA, ENOTA JELKA, GLAVARJEVA ULICA 28 A
5.	MOL07953	VRTEC MOJCA, ENOTA MOJCA, LEVIČNIKOVA ULICA 11
6.	MOL10282	VRTEC MLADI ROD, ENOTA KOSTANJČKOV VRTEC, PERIČEVA 6
7.	MOL10778	VRTEC MLADI ROD, ENOTA VETRNICI, ČRTOMIROVA 14
8.	MOL10783	VRTEC MLADI ROD, ENOTA MAVRICA, SAVSKA CESTA 1
9.	MOL10789	VRTEC JARŠE, ENOTA ROŽLE, POKOPALIŠKA 30
10.	MOL12921	VRTEC LEDINA, ČUFARJEVA ULICA 14
11.	MOL13132	VRTEC ROŽNA DOLINA, CESTA 27. APRILA
12.	MOL13595	VRTEC Dr. FRANCE PREŠEREN, ENOTA, PREŠERNOVA CESTA 29
13.	MOL13672	VRTEC KAŠELJ, OB STUDENCU 11A
14.	MOL14275	VRTEC POD GRADOM, ENOTA POLJANE, STROSSMAYERJEVA ULICA 3
15.	MOL14674	VRTEC VRHOVCI, ENOTA BRDO, STANTETOVA ULICA 1A
16.	MOL15145	VRTEC VRHOVCI, ENOTA ROŽNIK, CESTA NA BRDO 30
17.	MOL16090	VRTEC TRNOVO, KOLEZIJSKA ULICA 11
18.	MOL16997	VRTEC VIŠKI GAJ, ENOTA ZARJA, REŠKA ULICA 31
19.	MOL17498	VRTEC GALJEVICA, ENOTA ORLOVA, OB DOLENJSKI ŽELEZNICI 10
20.	MOL18150	VRTEC VIŠKI GAJ, ENOTA KOZARJE, HACETOVA ULICA 13
<b>PARKI</b>		
1.	MOL03984	ZELENICA MED CESTO 24 JUNIJA IN KOROŠKEGA BATALJONA, V BLIŽINI VRTCA
2.	MOL04979	GLINŠKOVA PLOŠČAD
3.	MOL06266	ZELENICA MED REBOLJEVO, MAROLTOVO IN ULICO AKTIVISTOV
4.	MOL06379	ZELENICA V BLOKOVSKEM NASELJU ULICA 28.MAJA
5.	MOL06547	SREDNJA FRIZERSKA ŠOLA, LITOSTROJSKA CESTA 53
6.	MOL07344	ZELENICA MED BLOKOVSKIM NASELJEM, MED UL.ZATIŠJE IN GOTSKA ULICA
7.	MOL07741	MED ADAMIČEVO IN PODGORNIKOVO ULICO
8.	MOL08194	KETEJEVA ULICA ,ULICA M.VRHOVNIKOVE
9.	MOL08206	ZELENICA MED JAMBERGERJEVO, TRIGLAVSKO TER ULICO POSAVSKEGA
10.	MOL08232	ULICA HERMANA POTOČNIKA, JARŠKO CESTO IN ULICO GRADNIKOVE BRIGADE
11.	MOL08883	CELOVŠKA CESTA, OBČINA ŠIŠKA, PTT ŠIŠKA
12.	MOL09124	ZELENICA OB OSNOVNI ŠOLI VITA KRAJGERJA IN STANIČEVO ULICO
13.	MOL10054	ZELENICA MED RONDOJEM, LINHARTOVO IN SAVSKO CESTO
14.	MOL10299	V TRIKOTNIKU MED KAVČIČEVO ROŽIČEVO IN KAJUHOVO ULICO
15.	MOL10748	OTROŠKO IGRIŠČE MOSTEC



16. MOL11097 ZELENICA MED AGROKOMBINATSKO CESTO, CERUTOVO CESTO IN POTJO V
17. MOL11968 PÄRK TIVOLI MED IGRIŠČEM ZA GOLF IN ASFALTNIM IGRIŠČEM
18. MOL12912 PARK TIVOLI, MED TIVOLSKO CESTO IN ŽELEZNICO
19. MOL12915 ARGENTINSKI PARK
20. MOL13149 MIKLOŠIČEV PARK
21. MOL13156 LJ-TABOR
22. MOL13187 ZELENICA MED GAŠPERIČEVO IN ULICO MIRE MIHELICEVE
23. MOL13367 PARK TIVOLI, OTROŠKO IGRIŠČE BLIZU KOMUNALNEGA PODJETJA RAST
24. MOL13385 HRVATSKI TRG
25. MOL13592 TIVOLI, V NEPOSREDNI BLIŽINI KOMUNALNEGA PODJETJA RAST
26. MOL14036 ZELENICA , ŠTUDENTSKI DOMOVI ( ROŽNA DOLINA )
27. MOL14047 PARK ZVEZDA
28. MOL14048 PARK ZVEZDA
29. MOL14947 LJUBLJANSKI GRAD
30. MOL14710 PREHOD MED AŠKRČEVO IN RIMSKO CESTO, OB FF
31. MOL15165 OB GROHARJEVI CESTI, PRI PIRAMIDI
32. MOL15604 MED VANOŠKO ULICO IN ULICO IGA GRUDNA
33. MOL15617 PARK ARTURO TOSCANINI
34. MOL16084 ZELENICA MED GRADAŠČICO IN HAJDRIHOVA ULICO, OB KOLEZIJI
35. MOL17476 ZELENICA MED ŠTUDENTSKIMI DOMOVI IN CESTO V MESTNI LOG

#### **BREŽINE REK**

1. MOL01620 TACEN, BLIŽINA VADBIŠČA ZA KAJAK
2. MOL03019 SAVA LJUBLJANA ČRNUČE, PRVA OBREČNA TERASA
3. MOL04097 POD AVTOKAMPOM JEŽICA
4. MOL06310 BREG SAVE JUŽNO OD ŠENTJAKOBA
5. MOL06441 JARŠKI PROD
6. MOL09778 BREŽINA KOSEŠKEGA BAJERJA
7. MOL10614 DESNI BREG LJUBLJANICE, CESTA V KRESNICE
8. MOL12946 BREG LJUBLJANICE, MED ŠTEPANJSKIM NASELJEM IN ULICO MIRE MIHELICEVE
9. MOL14086 NOVE FUŽINE , ZAHODNI DEL TOTRE
10. MOL15013 BREG LJUBLJANICE, VZHODNO OD PAPIRNICE
11. MOL16795 VZHODNA BREG SOTOČJA LJUBLJANICE IN GRUBARJEVEGA PREKOPA
12. MOL17258 STOČJE MALEGA GRABNA IN LJUBLJANICE, SEVERNI BREG
13. MOL18650 SIBIRIJA , V BLIŽINI AVTOODPADA

#### **ZELENE POVRŠINE OB CESTAH IN KRIŽIŠČIH**

1. MOL03043 ČRNUČE OB OBVOZNICI
2. MOL05120 ZELENICA MED DUNAJSKO, ULICA 7. SEPTEMBRA IN ČERINOVO
3. MOL06084 KRIŽIŠČE CELOVŠKE IN KORENČANOVE ULICE
4. MOL06111 NABREŽINA OBVOZNICE, IZVOZ BEŽIGRAD, SMER LJ-MB
5. MOL06997 LJ-ŠIŠKA MED OBVOZNICO IN IZVOZOM, KRIŽIŠČE S CELOVŠKO, SMER LJ-MB
6. MOL07963 LJUBLJANA-ŠIŠKA KRIŽIŠČE CELOVŠKA - LPP
7. MOL07766 KRIŽIŠČE DUNAJSKE IN BARAGOVE CESTE
8. MOL08928 KRIŽIŠČE ŠMARTINSKE CESTE IN UL.GRADNIKOVE BRIGADE
9. MOL09569 KRIŽIŠČE DRENIKOVE IN CELOVŠKE CESTE
10. MOL09355 ZELENICA MED TOPNIŠKO ULICO, MARIBORSKO ULICO, PTUJSKO ULICO IN
11. MOL11027 V TRIKOTNIKU MED ŠMARTINSKO IN SAVSKO CESTO, OB BENCINSKI ČRPALKI
12. MOL11975 KRIŽIŠČE DUNAJSKE IN MASARYKOVE ULICE



13. MOL12447 KRIŽIŠČE TIVOLSKE CESTE, CELOVŠKE CESTE, KOPALIŠČE TIVOLI
14. MOL12711 KRIŽIŠČE KAJUHOVE CESTE, ZALOŠKE CESTE, LJUBLJANICA
15. MOL13611 HRVATSKI TRG
16. MOL14502 KRIŽIŠČE ROŠKE IN POLJANSKE CESTE
17. MOL14707 TRG MLADINSKIH DELOVNIH BRIGAD
18. MOL14744 KRIŽIŠČE LITIJSKE IN HRUŠEVŠKE CESTE
19. MOL15158 ZELENICA OB TRŽAŠKI CESTI, OB FAKULTETI ZA ELEKTROTEHNIKO
20. MOL15171 KRIŽIŠČE KARLOVŠKE CESTE IN GRUDNOVEGA NABREŽJA
21. MOL15865 KRIŽIČE ROŠKE IN DOLENJSKE CESTE
22. MOL16301 KRIŽIŠČE FAJFARJEVE IN TBILISIJSKE ULICE
23. MOL17458 DOLGI MOST, STARO OBRAČALIŠČE MESTNEGA AVTOBUSA
24. MOL17737 DOLENJSKA CESTA, RAKOVNIK
25. MOL21172 MED SEMENARNO IN DOLENJSKO CESTO

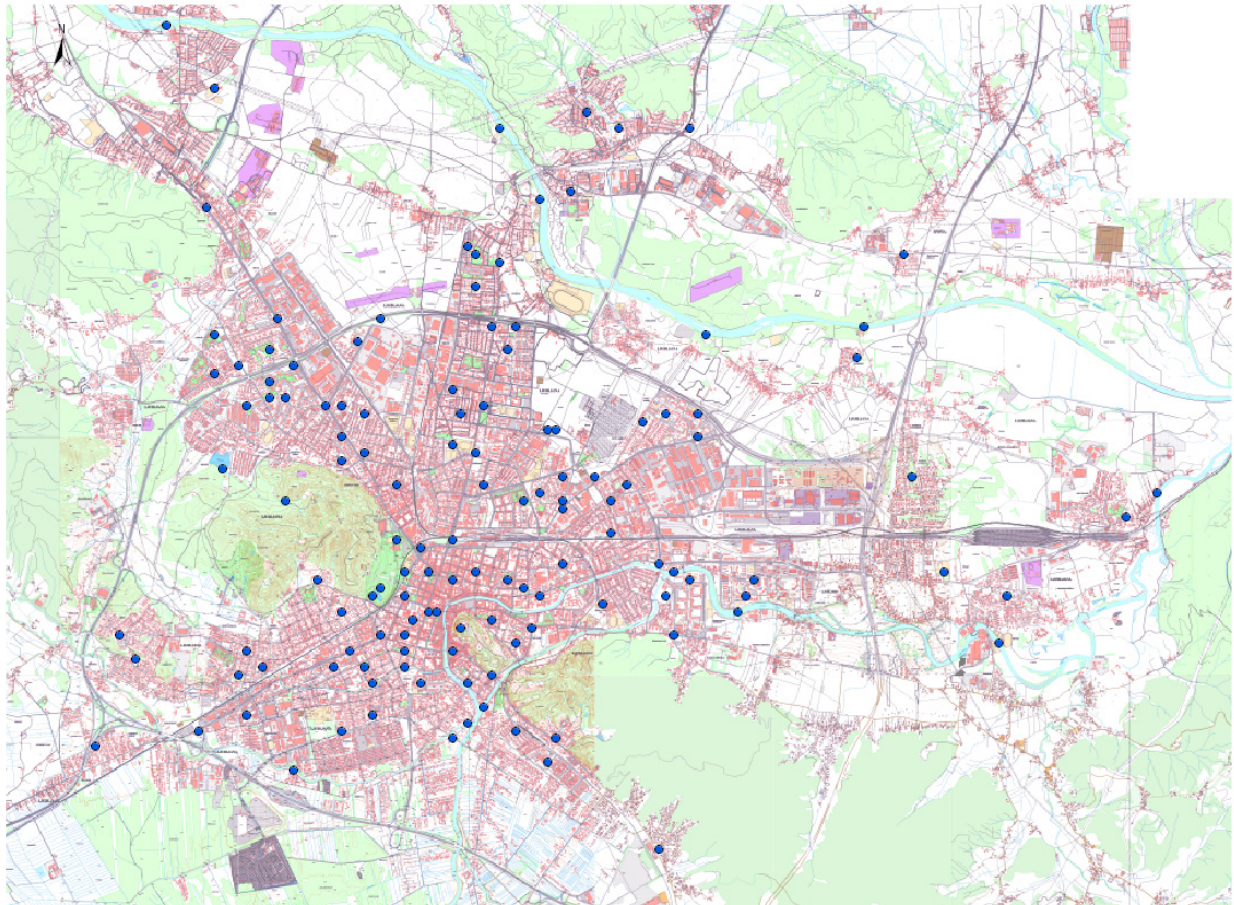
#### **IGRIŠČA OB OSNOVNIH ŠOLAH**

1. MOL02437 OSNOVNA ŠOLA VIŽMARJE - BROD, NA GAJU 2
2. MOL03147 OSNOVNA ŠOLA MAKSA PEČARA, ČRNUŠKA CESTA 9
3. MOL04172 OSNOVNA ŠOLA FRANCA ROZMANA - STANETA, PRUŠNIKOVA 85
4. MOL05032 OSNOVNA ŠOLA ŠENTJAKOB OB SAVI, ZAJČEVA POT 34
5. MOL05536 OSNOVNA ŠOLA DANILE KUMAR, GODEŽEVA 11
6. MOL06687 OSNOVNA ŠOLA DRAVLJE, KLOPČIČEVA 1
7. MOL06717 OSNOVNA ŠOLA MILANA ŠUŠTARŠIČA, ŠTEMBALOVA ULICA 2A
8. MOL06986 OSNOVNA ŠOLA MIŠKA KRANJCA, KAMNOGORIŠKA 35
9. MOL07740 OSNOVNA ŠOLA VALENTINA VODNIKA, VODNIKOVA CESTA 162
10. MOL07965 OSNOVNA ŠOLA HINKA SMREKARJA, GORAZDOVA 16
11. MOL08236 OSNOVNA ŠOLA NOVE JARŠE , CLEVELANDSKA 11
12. MOL08460 OSNOVNA ŠOLA JOŽETA MOŠKRIČA, JARŠKA CESTA 34
13. MOL08679 OSNOVNA ŠOLA JANEZA LEVCA, DEČKOVA ULICA 1B
14. MOL09566 OSNOVNA ŠOLA RIHARDA JAKOPIČA, DERČEVA ULICA 1
15. MOL10098 OSNOVNA ŠOLA ZADOBROVA, ZADOBROVŠKA CESTA 35
16. MOL10271 OSNOVNA ŠOLA SPODNJA ŠIŠKA, GASILSKA 17
17. MOL10536 OSNOVAN ŠOLA SAVSKO NASELJE, MATJAŽEVA 4
18. MOL11996 OSNOVNA ŠOLA VIDE PREGARC, BAZOVIŠKA ULICA 1
19. MOL12699 OSNOVNA ŠOLA VODMAT, POTRČEVA ULICA 1
20. MOL12980 OSNOVNA ŠOLA POLJE, POLJE 358
21. MOL12948 OSNOVNA ŠOLA KARLA DESTOVNIK - KAJUH, JAKČEVA ULICA 42
22. MOL13641 OSNOVNA ŠOLA MARTINA KRPAHA, GAŠPERŠIČEVA 10
23. MOL13847 OSNOVNA ŠOLA KETTEJA IN MURNA, KOŠIRJEVA ULICA 2
24. MOL14265 OSNOVNA ŠOLA MAJDE VRHOVNIK, GREGORČIČEVA ULICA 16
25. MOL14952 OSNOVNA ŠOL A POLJANE, ZEMLJEMERSKA 7
26. MOL15359 OSNOVNA ŠOL A VRHOVCI, CESTA NA BOKALCE 1
27. MOL15833 OSNOVNA ŠOL A VIČ, ABRAMOVA 26
28. MOL16096 OSNOVNA ŠOLA PRULE, PRULE 13
29. MOL17013 OSNOVNA ŠOLA KOLEZIJA, CESTA V MESTNI LOG 46
30. MOL18206 OSNOVNA ŠOLA OSKARJA KOVAČIČA, OB DOLENJSKI ŽELEZNICI 48

#### **VRTIČKI**

1. MOL06097 VRTOVI MED OBVOZNICO IN LITOSTROJEM, SEVERNO OD LITOSTROJA
2. MOL06990 VRTIČKI V PODUTIKU, OB OBVOZNICI

3. MOL08680 VRTIČKI MED KOŽELJEVO IN KRANJČEVO ULICO
4. MOL10058 VRTIČKI OB ŠMARTINSKI CESTI IN POKOPALIŠKO ULICO
5. MOL13629 VRTIČKI V ŠTEPANJSKEM NASELJU OB GRUBARJEVEM PREKOPU
6. MOL15622 VRTIČKI OB GRADAŠČICI IN GROHARJEVI CESTI
7. MOL17724 MED MALIM GRABNOM, CESTO NA MESARICO IN HLADNIKOVO CESTO



**Slika 5: Načrt območja MOL z označenimi vzorčnimi lokacijami (Načrt MOL je podatkovna baza MOL).**



## 5. VZORČENJE IN PRIPRAVA TAL ZA ANALIZE

Vzorčenje je potekalo novembra 2002 ter marca in aprila 2003. Talne vzorce smo odvzeli s sondo iz nerjavečega jekla (dolžine ~ 40 cm in notranjega premera ~ 5 cm). Za povprečni talni vzorec je bilo potrebnih približno 20 vbodov sonde na površini 10 m<sup>2</sup>. Posebej smo shranili vzorce iz globine 0-10 cm in 10-20 cm. Vzorčili smo dve globini: 0-10 cm in 10-20 cm. Vrečke za shranjevanje vzorcev so bile iz PE. Pri vzorčenju smo upoštevali vse elemente kontrole kakovosti: vse vrečke za shranjevanje vzorcev so bile vnaprej označene s šifro vzorčne lokacije, pri vzorčenju je ekipa izpolnila vzorčni formular s podrobnejšim opisom vzorčne lokacije, vzeti so bili kontrolni vzorci.



Slika 6: Orodje za vzorčenje.



Slika 7: Vzorčenje.



Slika 8: Talni vzorec v sondi.



Slika 9: Talni vzorec v sondi.

## 6. ANALITSKI POSTOPKI

V laboratoriju smo vzorce najprej ročno zdrobili, homogenizirali, premestili v papirnate vrečke in jih sušili pri 26°C 3-4 dni. Suhe talne vzorce smo strli v keramični terlnici, presejali skozi 2 mm sito in shranili v papirnatih škatlicah za analize.

**Kislost** smo določali elektrometrično v suspenziji 10 mL talnega vzorca in 50 mL 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  (SIST ISO 10390, 1996).

**Slanost** tal smo določali z merjenjem elektrokonduktivnosti talne raztopine po ekstrakciji z deionizirano vodo v razmerju 1:5 s konduktometrom Iskra MA 5966.

**Skupni dušik v tleh** smo določili s Kjeldahlovim postopkom (SIST ISO 11261, 1996). V bučko za razklop smo natehtali 1 g talnega vzorca, dodali 4 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96%), premešali ter pustili nekaj ur. Dodali smo 0,5 g natrijevega tiosulfata, 1.1 g mešanice katalizatorja (200 g  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 6 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  in 6 g  $\text{TiO}_2$ ) in segrevali 2 uri pri temperaturi do 400°C. Po končanem razklopu smo bučke ohladili, dodali 20 mL vode, premešali in vsebino prenesli v bučko Kjeldahlovega destilacijskega aparata. Dodali smo 20 mL NaOH (10 mol  $\text{L}^{-1}$ ) in destilirali. Destilat smo lovili v erlenmajerico s 5 mL (20 g/l)  $\text{H}_3\text{BO}_3$  in nekaj kapljic indikatorske mešanice (0.1 g bromkrezol zeleno in 0.02 g metilrdeče v 100 mL etanola). Po končani destilaciji (40 mL kondenzata), smo destilat titrirali z 0,01 mol  $\text{L}^{-1}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  do preskoka v vijolično barvo.

**Organsko snov** v tleh smo določili po Walkley-Black metodi (SIST ISO 14235, 1999). V 200 mL bučko smo natehtali talni vzorec (0,5-2,0 g), ga prelili z 10 mL  $\text{K}_2\text{CrO}_7$  (0,166 mol  $\text{L}^{-1}$ ), rahlo premešali in dodali 20 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96%). Po 20-30 minutah smo bučko dopolnili z deionizirano vodo. V erlenmajerico smo odpipetirali alikvot 20 mL, dodali 10 kapljic  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%), 0,2 g NaF in 3 kapljice indikatorja difenilamina (0,5 g indikatorja raztopimo v 20 mL deionizirane vode in dodamo 100 mL koncentrirane  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ter titrirali z raztopino  $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  (0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ ) do preskoka barve v smaragdno zeleno. Iz razlike med slepo vrednostjo in vzorcem smo izračunali vsebnost organske snovi v vzorcu.

**Kationsko izmenjalno kapaciteto tal** smo določili kot vsoto bazično delujočih kationov ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) in izmenljive kislosti ( $\text{H}^+$ ) tal (Soil survey laboratory methods manual, 1992). Izmenljive bazične katione smo določili po ekstrakciji 10 g tal s 100 mL  $\text{NH}_4\text{OAc}$  (1 mol  $\text{L}^{-1}$ ). Na in K v ekstraktu smo določili s plamenskim emisijskim spektrometrom (FAES: plamen: butan – propan, zrak: 1,5 atm), Ca in Mg pa z atomskim absorpcijskim spektrofotometrom (AAS, Perkin Elmer 1100). Za določitev izmenljive kislosti smo natehtali 10 g tal, jih prelili s 100 mL ekstrakcijske raztopine ( $\text{BaCl}_2$  in trietanolamin), premešali, stresali 1 uro in prefiltrirali. Filtratu (20 mL) smo dodali 2 kapljici indikatorja in titrirali z 0,1M HCl do rahlo vijoličaste barve (preskok pri pH=5). Iz razlike med slepo vrednostjo in vzorcem smo izračunali izmenljivo kislost tal.

**Teksturo** smo določili s sedimentacijsko pipetno metodo (Janitzky, 1986; Soil survey manual, 1993). V platenko smo natehtali 10 g tal, jih prelili s 25 mL Na-pirofosfata (0,4 mol  $\text{L}^{-1}$ ) in stresali na stresalniku 4 ure. Suspenzijo smo prenesli na sito s premerom odprtina 0,2 mm in z mokrim sejanjem izločili delce grobega peska. Suspenzijo, ki je šla skozi sito, smo prenesli v valj z volumnom 1000 mL in dolili deionizirano vodo do oznake. Valj smo zamašili, stresali 3 minute in postavili na podlago, da so se delci začeli usedati. Po 44 sekundah smo odpipetirali 10 mL suspenzije iz globine 10 cm in s tem zajeli delce, ki so manjši od 0,05 mm (grobi in fini melj, glina). Maso odpipetirane suspenzije smo določili po izparevanju na pečeni kopeli in sušenju pri 105°C. Valj smo ponovno stresali 3 minute in na enak način po 4 minutah in 27 sekundah določili delce, ki so manjši od 0,02 mm (fini melj in glina). Valj smo ponovno stresali 3 minute in na enak način po 7 urah in 35 minutah določili

delce, ki so manjši od 0,002 mm (glina). Teksturni razred smo določili po ameriški teksturni klasifikaciji.

**Skupno vsebnost težkih kovin** v talnih vzorcih smo določili po razkroju z zlatotopko (ISO 11466, 1995; ISO/DIS 11047, 1995). Talne vzorce (<2 mm) smo dodatno strli v ahatni terilnici in presejali skozi plastično sito (150 µm). V reakcijsko posodo smo natehtali 3 g vzorca, navlažili s približno 0.5-1 mL vode in dodali 21 mL HCl in 7 mL HNO<sub>3</sub>. Reakcijske posode smo opremili s povratnimi hladilniki in pustili 16 ur pri sobni temperaturi ter nato segrevali 2 uri. Po končanem razklopu smo ekstrakte prefiltrirali v 100 mL bučke in dopolnili z deionizirano vodo. V ekstraktih smo pomerili posamezne elemente z metodo plamenske emisijske spektrometrije (ICP-MS). Meritev kovin je bila opravljena v analitskem laboratoriju Kemijskega inštituta v Ljubljani. Kontrolo analitskih postopkov smo zagotovili s slepimi vzorci in standardnim referenčnim materialom (BCR 141R, Community Bureau of Reference, WEPAL).

**Policiklične aromatske ogljikovodike so analizirali na** Inštitutu za naravne resurse in agrobiologijo v Sevilli (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiologia, Sevilla, Spain);

**Ostanke fitofarmaceutskih sredstev** v tleh vrtničkov so analizirali na Zavodu za zdravstveno varstvo Maribor.

## 7. REZULTATI IN KOMENTAR

### 7.1. Osnovne pedološke lastnosti vzorčnih lokacij

V 250 vzorcih iz 130 lokacij smo analizirali pH, vsebnost organske snovi, skupno vsebnosti dušika, kationsko izmenjalno kapaciteto ter delež bazičnih in kislo delujočih kationov ter teksturo. Rezultati analiz so pokazali, da so si vzorci podobni v pedoloških lastnostih: pH, kationska izmenjalna kapaciteta, delež bazičnih kationov in tekstura. To kaže na dejstvo, da so tla nastala na podobni matični podlagi. Matična podlaga je za večino vzorčnih lokacij pretežno karbonatni prod reke Save, le nekaj lokacij leži na permkarbonskih skrilavih glinovcih in peščenjakih. Glede na to, da je večina urbanih tal premešan material, kar so potrdile tudi ugotovitve ob vzorčenju, bi lahko sklepali, da so tla premeščali samo znotraj MOL, niso pa tal vozili tudi od drugod. Nekatere osnovne lastnosti tal so podane v Preglednici 2. Kot vidimo na Sliki 10 ni bistvenih razlik med kategorijami rabe tal. Izjema je vsebnost organske snovi in gline ter s tem posledično tudi vrednost kationske izmenjalne kapacitete v kategoriji rečne brežine. Razlog za to je verjetno odnašanja materiala, vzorčne lokacije so v vplivnem območju rek.

Kislost je v zgornjem sloju tal od 6,2 do 7,4, v spodnjem sloju tal od 6,5 do 7,7. Povprečna vrednost in mediana sta v zgornjem sloju 7,1 in v spodnjem sloju 7,2, kar kaže, da prevladujejo nevtralna tla. To potrjuje tudi delež bazičnih kationov na sorptivnem delu tal, ki je visok, od 67,3 do 98,8 % s povprečjem 87,7% v zgornjem sloju tal, ter od 65,6% do 99,1% s povprečjem 88,6% v spodnjem sloju tal. Tla na vseh lokacijah so evtrična. Bistvenih odstopanj v pH vrednosti in deležu bazičnih kationov v tleh med zgornjim in spodnjim slojem ni (Slika 11). Rahlo naraščanje deleža bazičnih kationov in rahel dvig pH vrednosti z globino potrjuje vpliv matične podlage.

Delež organske snovi je visok, v zgornjem sloju je od 1,3 do 15,4% s povprečjem 8,5% ter v spodnjem sloju od 1,2 do 12,4% s povprečjem 6,4%. Veliko vsebnost organske snovi v tleh, v obeh slojih, lahko pripišemo zatavljenosti večine vzorčenih površin ter dejstvu, da v mestih pogosto na javnih zelenicah pokošeno travo pustijo na mestu. Zaradi zmanjševanja prekoreninjenosti z globino vpada tudi vsebnost organske snovi v tleh (Slika 11).

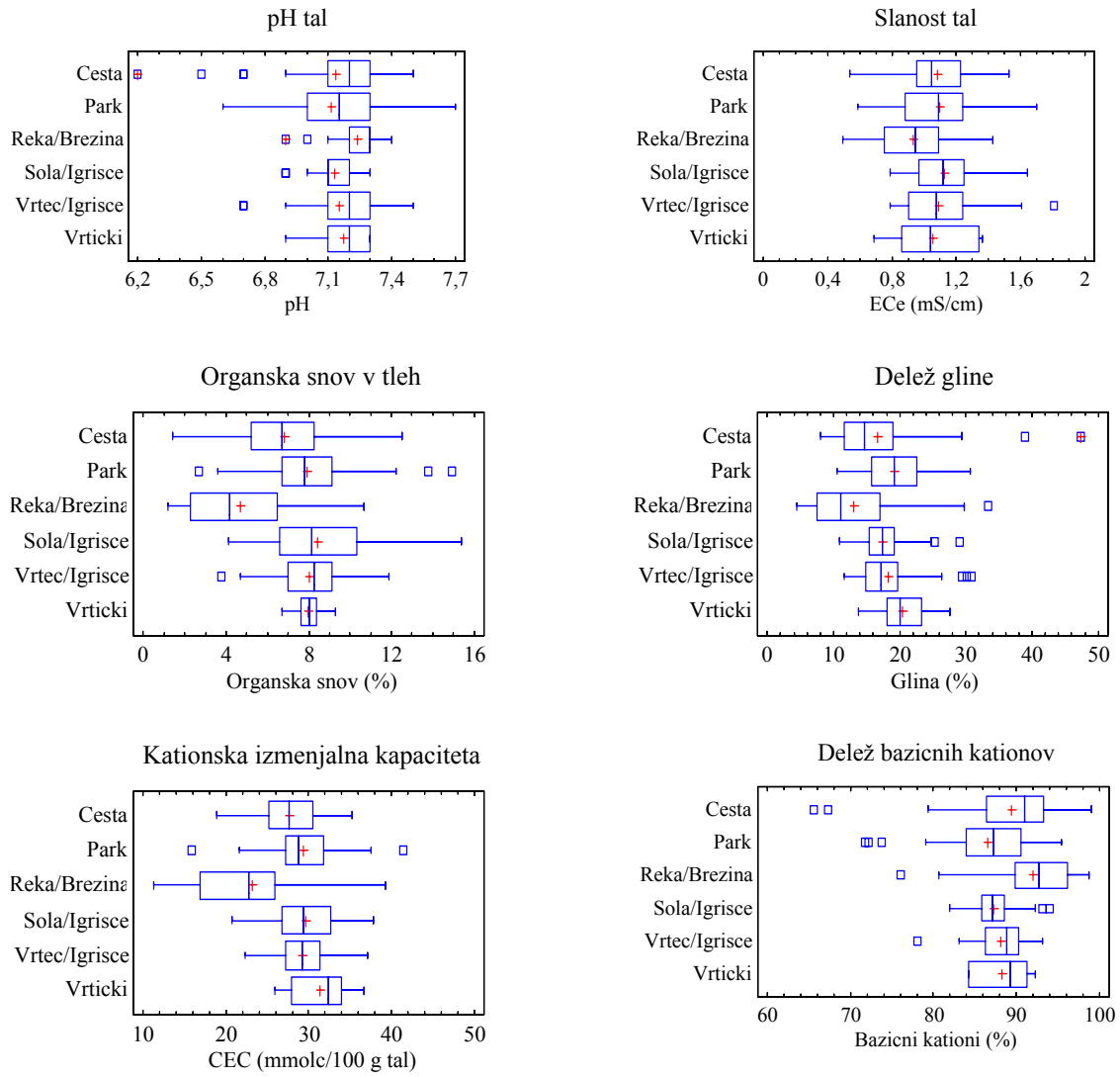
Kationska izmenjalna kapaciteta je v zgornjem sloju tal od 11,3 do 39,2 mmol<sub>c</sub>/100 g tal, s povprečno vrednostjo 29,3 mmol<sub>c</sub>/100g tal ter v spodnjem sloju tal od 11,2 do 41,4 mmol<sub>c</sub>/100g tal, s povprečno vrednostjo 27,6 mmol<sub>c</sub>/100g tal. Tako kot pri pH in deležu baz, ni velikih razlik med zgornjim in spodnjim slojem tal, nekoliko večjo povprečno vrednost v zgornjem sloju lahko pripišemo večjemu deležu organske snovi.

Teksturno so si vsi vzorci precej podobni. Prevladuje ilovnata tekstura. Delež gline je v zgornjem sloju tal od 4,6 do 39 % in v spodnjem sloju tal od 4,4 do 47,3%.

Zanimalo nas je, ali je zaradi uporabe slanih posipov za preprečevanje posledic snega in ledu na cestiščih, povečana slanost tal. V vseh vzorcih smo izmerili elektrokonduktivnost (EC<sub>e</sub>) in ugotovili, da je EC<sub>e</sub> vrednost v vseh vzorcih pod vrednostjo 2 mS/cm, ki pomeni mejo za slana tla. Povprečna vrednost EC<sub>e</sub> vseh 130 vzorcev je nekoliko večja v globini 0-10 cm in je 1,2 mS/cm. V globini 10-20 cm, je EC<sub>e</sub> 1,0 mS/cm. Zanimivo je, da ni bistvenih odstopanj v elektrokonduktivnosti med lokacijami z različno rabo tal. Menimo, da zaradi velike količine padavin slanost tal v MOL zaenkrat ne predstavlja bistvenega problema, vendar bi bilo za točen odgovor potrebno preveriti občutljive lokacije (drevoredi ob zelo prometnih cestah...).

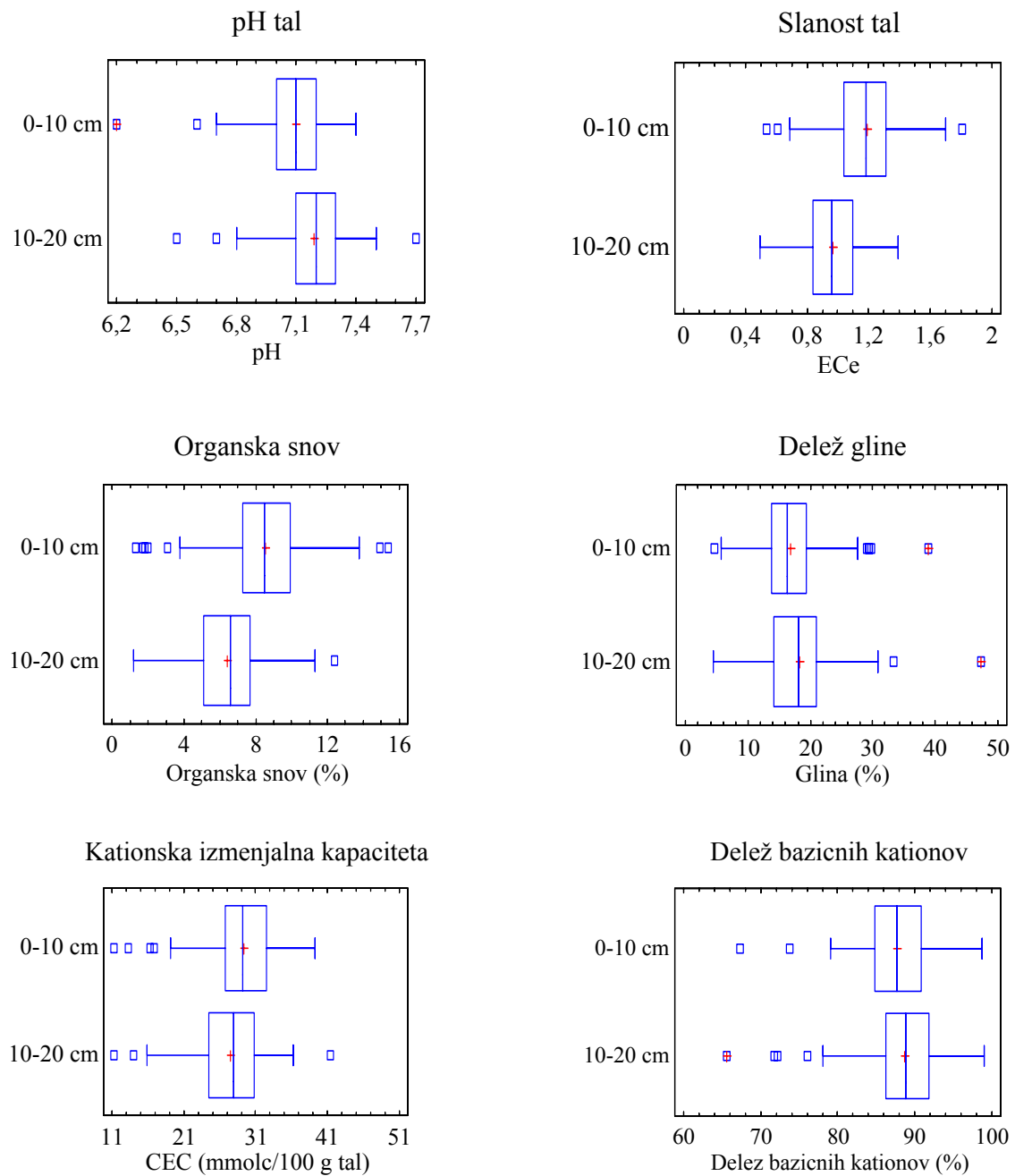
**Preglednica 2: Povprečja, mediane, minimalne ter maksimalne vrednosti osnovnih talnih lastnosti v MOL.**

	pH v CaCl <sub>2</sub>	ECe (mS/cm)	Organska snov (%)	Skupni N (%)	Pesek (%)	Melj (%)	Glina (%)
<b>ZGORNJI SLOJ</b>							
<b>povprečje</b>	7,1	1,19	8,5	0,37	36,0	47,2	16,9
<b>mediana</b>	7,1	1,19	8,5	0,38	34,5	47,5	16,2
<b>maksimum</b>	7,4	1,81	15,4	0,58	88,5	72,5	39,0
<b>minimum</b>	6,2	0,54	1,3	0,07	3,9	6,9	4,6
<b>SPODNJI SLOJ</b>							
<b>povprečje</b>	7,2	0,97	6,4	0,28	35,9	45,8	18,2
<b>mediana</b>	7,2	0,96	6,6	0,29	34,9	45,4	18,1
<b>maksimum</b>	7,7	1,39	12,4	0,44	89,8	69,8	47,3
<b>minimum</b>	6,5	0,49	1,2	0,05	4,4	5,8	4,4
	Izmenljiv Na	Izmenljiv K	Izmenljiv Mg	Izmenljiv Ca	Izmenljiva kislost	CEC	Delež bazičnih kationov %
<b>(mmol<sub>c</sub>/100g tal)</b>							
<b>ZGORNJI SLOJ</b>							
<b>povprečje</b>	0,08	0,35	2,9	22,3	3,62	29,3	87,7
<b>mediana</b>	0,07	0,31	2,5	22,2	3,60	29,3	87,8
<b>maksimum</b>	0,22	0,97	6,9	30,7	8,10	39,2	98,8
<b>minimum</b>	0,01	0,08	0,5	10,1	0,20	11,3	67,3
<b>SPODNJI SLOJ</b>							
<b>povprečje</b>	0,07	0,19	2,27	21,9	3,07	27,6	88,6
<b>mediana</b>	0,07	0,17	2,05	22,2	3,05	27,9	88,8
<b>maksimum</b>	0,2	0,68	6,41	32,4	6,65	41,4	99,1
<b>minimum</b>	0,01	0,06	0,42	8,9	0,20	11,2	65,6



**Slika 10 : Osnovne pedološke lastnosti v odvisnosti od rabe tal**





Slika 11: Osnovne pedološke lastnosti v odvisnosti od globine

## 7.2. Skupna vsebnost težkih kovin: Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, Mn, Fe ter Cd v tleh MOL

Rezultati analiz o vsebnosti izbranih težkih kovin v tleh so pokazali, da so tla največkrat onesnažena s Pb. Mejna imisijska vrednost za Pb je v zgornjem sloju tal, glede na slovensko zakonodajo, presežena kar na 52 lokacijah. Od teh lokacij je 10 igrišč ob vrtcih, 10 igrišč ob osnovnih šolah, 14 parkov, 14 površin ob cestah in križiščih in 4 vrtički. Pojavljanje povečanih koncentracij Pb v tleh ne glede na rabo tal in bolj ali manj enakomerna porazdelitev povečanih koncentracij Pb v tleh v središčnem delu Ljubljane kaže na razpršeno onesnaževanje. Opozorilna vrednost za Pb je presežena na 44 lokacijah. Od teh lokacij je 7 igrišč ob vrtcih, 8 igrišč ob šolah, 12 parkov, 14 površin ob cestah in križiščih ter 3 vrtički. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Pb je bila izmerjena v enem od parkov in je 387,5 mg/kg.

Skupna vsebnost Zn v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Zn na 22 lokacijah. Od teh lokacij so 4 igrišča ob vrtcih, 6 igrišč ob šolah, 6 parkov, 2 zeleni površini ob cestah in križiščih, 3 vrtički in 1 brežina rek. Opozorilna imisijska vrednost je presežena na 5 lokacijah: 1 igrišče ob vrtcu, 1 igrišče ob šoli, 1 park, 1 brežina rek in 1 vrtiček. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Zn je bila izmerjena na eni izmed brežin reke in je 445,7 mg/kg.

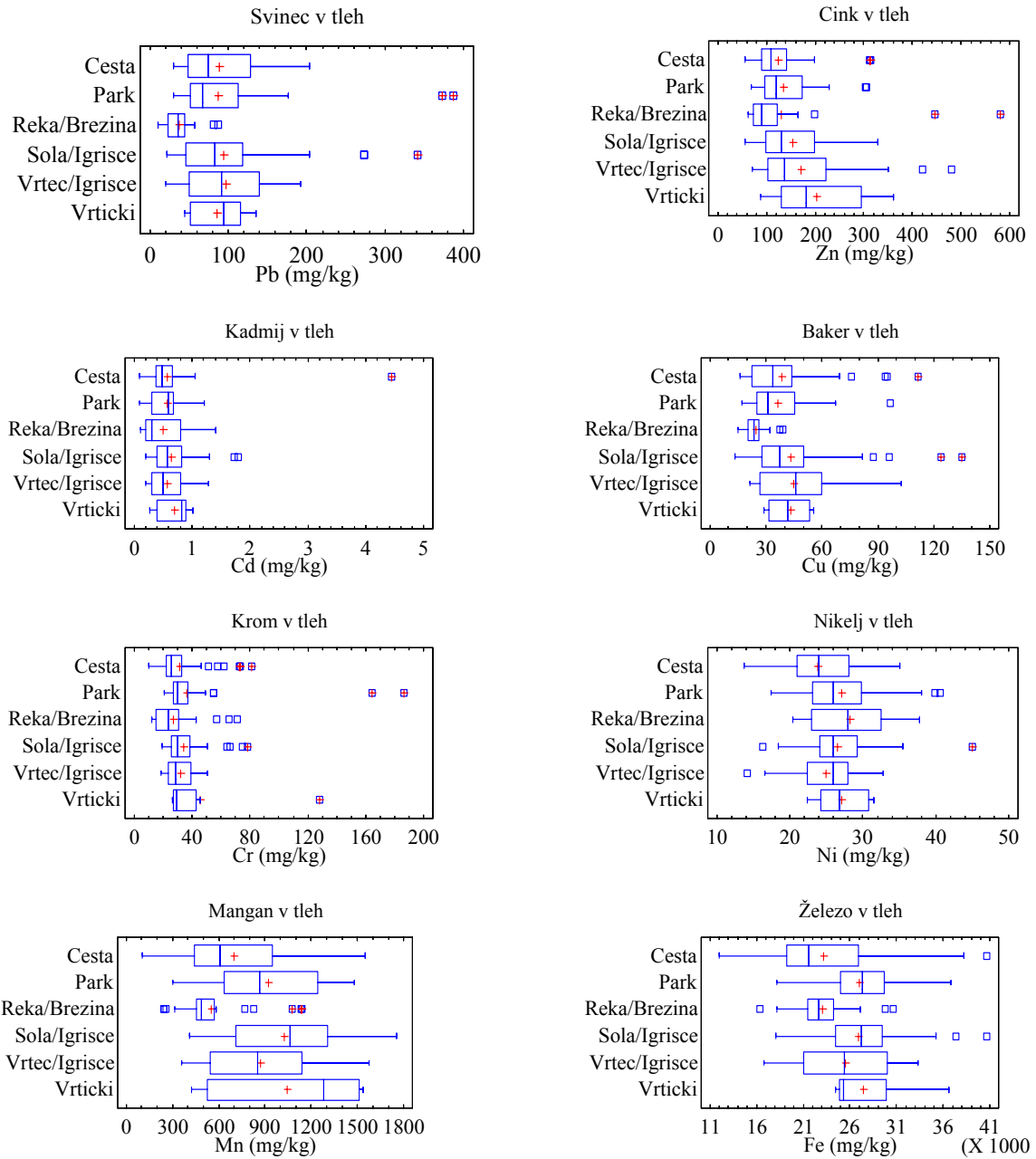
Skupna vsebnost Cu v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Cu na 17 lokacijah. Od teh lokacij so 4 igrišča ob vrtcih, 5 igrišč ob šolah, 5 parkov ter 3 zelene površine ob cestah in križiščih. Opozorilna imisijska vrednost je presežena na 2 lokacijah: 1 igrišče ob vrtcu in 1 igrišče ob šoli. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Cu je bila izmerjena na enem izmed igrišč ob osnovni šoli in je 123,5 mg/kg.

Skupna vsebnost Cd v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Cd na 13 lokacijah. Od teh lokacij je 5 igrišč ob šolah, 1 park, 3 zelene površine ob cestah in križiščih, 2 brežini rek ter 2 vrtička. Opozorilna imisijska vrednost je presežena na 1 lokaciji in sicer je to eno igrišče ob vrtcu. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Cd je bila izmerjena na zeleni površini ob cesti in je 4,45 mg/kg.

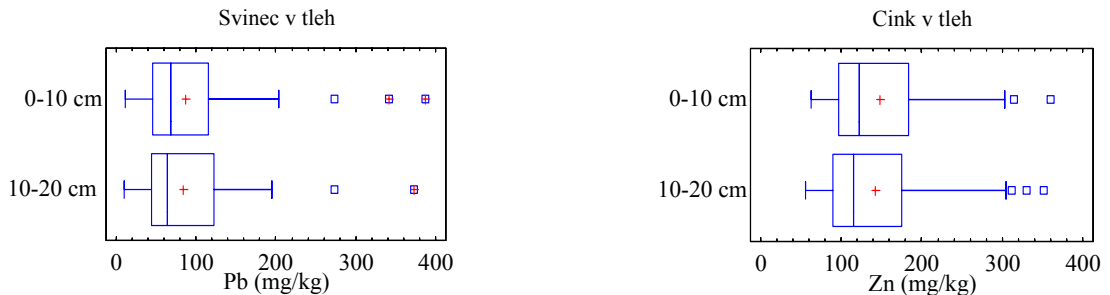
Skupna vsebnost Cr v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Cr na 2 lokacijah: 1 park in 1 vrtiček. Opozorilna imisijska vrednost je presežena samo na eni lokaciji - v parku. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Cr je bila izmerjena v parku in je 164,6 mg/kg.

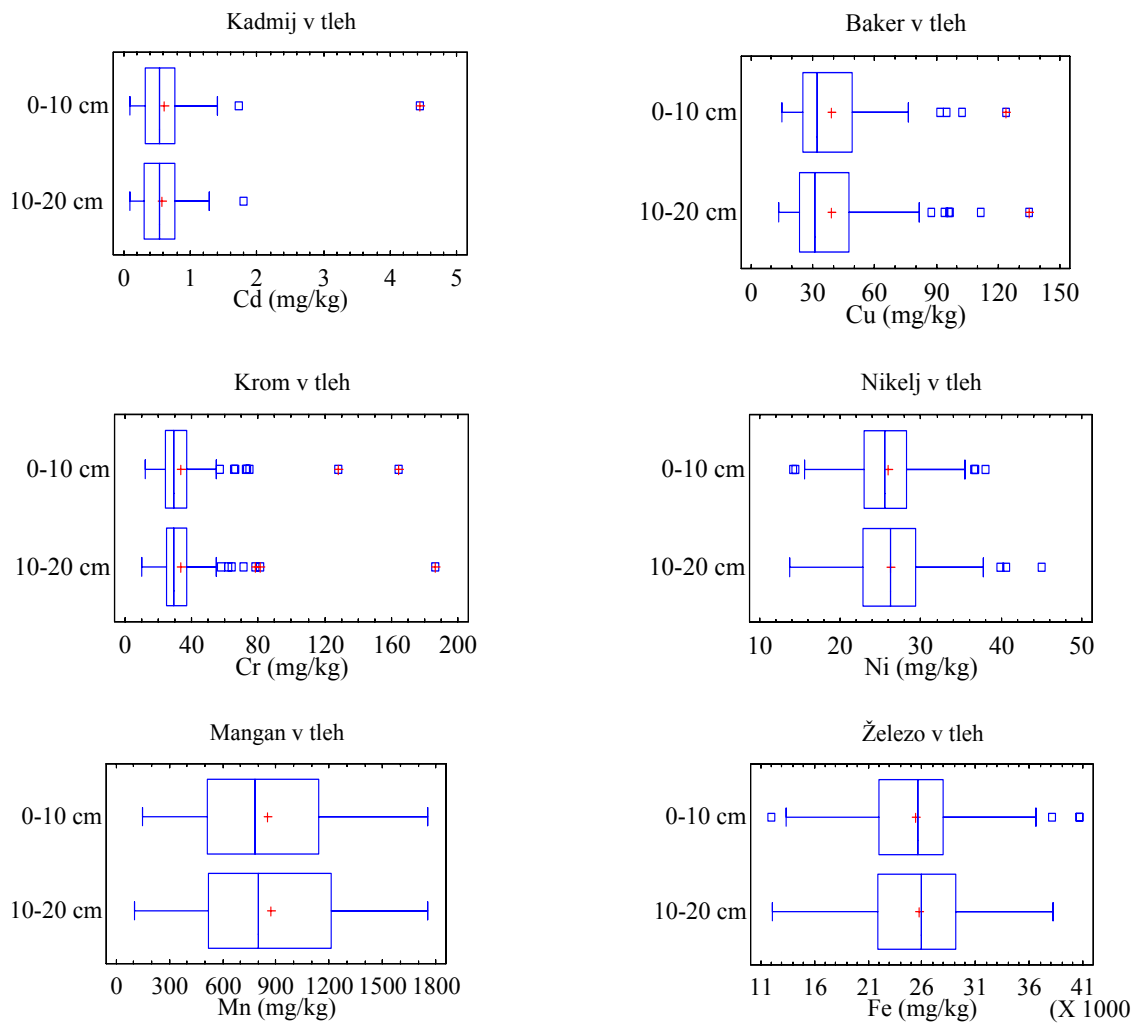
Na nobeni lokaciji ni bila presežena mejna imisijska vrednost za Ni.

Kot kaže Slika 12, ni bistvenih razlik v vsebnosti težkih kovin po posameznih kategorijah rabe tal, izjema so brežine rek, kjer je vsebnost večine merjenih težkih kovin manjša. Razlog za to je verjetno odnašanja materiala, vzorčne lokacije so v vplivnem območju rek. Prav tako ni bistvenih razlik v vsebnosti organske snovi med globinama (slika 13)



**Slika 12 : Vsebnost težkih kovin v tleh glede na različno rabo tal**





**Slika 13: Vsebnost težkih kovin v tleh glede na različno globino tal**

### 7.3. Vsebnost policikličnih organskih ogljikovodikov (PAO) v izbranih talnih vzorcih

V 28 izbranih talnih vzorcih (globina 0-10 cm oziroma 0-20 na vrtovih) smo izmerili vsebnost petnajstih policikličnih aromatskih ogljikovodikov, med katerimi je devet kancerogenih spojin. Kancerogeni ogljikovodiki so označeni z zvezdico. Glede na slovensko zakonodajo, je na 10 lokacijah presežena mejna vrednost za vsoto PAO (1 mg/kg tal).

**Preglednica 3: Vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov v izbranih talnih vzorcih. (n=28)**

Koda MOL	Raba tal	*Naftalen	Acenaften	Fluoren	*Fenantren	*Antracen	*Fluoranten	Piren	*Benzo(a)antracen	*Križen Benzo(b)fluoranten	Benzo(k)fluoranten*	Benzo(a)piren	Dibenzo(a,h)antracen	Benzo(ghi)perilen	*Indeno(1,2,3-cd)piren	Vsota PAH (mg/kg)	PAH*	
mg/kg																		
10282	Vrtec	0,029	0,010	0,011	0,050	0,010	0,040	0,053	0,028	0,032	0,027	0,026	0,039	0,011	0,022	0,066	<b>0,455</b>	<b>0,321</b>
10778	Vrtec	0,019	0,005	0,007	0,044	0,008	0,044	0,077	0,035	0,058	0,051	0,031	0,062	0,008	0,033	0,050	<b>0,533</b>	<b>0,352</b>
10789	Vrtec	0,022	0,009	0,007	0,084	0,009	0,160	0,140	0,063	0,098	0,089	0,038	0,071	0,012	0,057	0,079	<b>0,939</b>	<b>0,625</b>
13595	Vrtec	0,032	0,009	0,010	0,110	0,020	0,249	0,248	0,158	0,209	0,204	0,091	0,186	0,025	0,160	0,185	<b>1,896</b>	<b>1,240</b>
14275	Vrtec	0,033	0,010	0,011	0,119	0,023	0,186	0,206	0,135	0,153	0,103	0,073	0,137	0,018	0,118	0,153	<b>1,480</b>	<b>1,013</b>
06547	Park	0,039	0,008	0,013	0,074	0,008	0,029	0,024	0,017	0,020	0,016	0,016	0,025	0,007	0,016	0,044	<b>0,356</b>	<b>0,271</b>
10299	Park	0,030	0,020	0,054	2,776	0,031	0,872	0,036	0,072	0,072	0,101	0,045	0,092	0,017	0,187	0,082	<b>4,488</b>	<b>4,072</b>
13367	Park	0,028	0,015	0,008	0,060	0,009	0,057	0,036	0,031	0,038	0,018	0,021	0,038	0,008	0,037	0,060	<b>0,464</b>	<b>0,342</b>
14047	Park	0,029	0,009	0,011	0,094	0,012	0,053	0,095	0,052	0,062	0,048	0,033	0,060	0,011	0,071	0,085	<b>0,724</b>	<b>0,479</b>
14710	Park	0,022	0,000	0,009	0,109	0,009	0,038	0,049	0,030	0,038	0,034	0,024	0,041	0,008	0,021	0,000	<b>0,433</b>	<b>0,312</b>
15165	Park	0,023	0,017	0,014	0,065	0,015	0,140	0,161	0,077	0,102	0,087	0,048	0,098	0,011	0,031	0,055	<b>0,944</b>	<b>0,623</b>
06084	Cesta	0,023	0,006	0,007	0,031	0,007	0,054	0,063	0,034	0,042	0,033	0,022	0,055	0,007	0,016	0,047	<b>0,447</b>	<b>0,316</b>
11027	Cesta	0,030	0,011	0,011	0,105	0,015	0,102	0,113	0,084	0,118	0,076	0,035	0,118	0,021	0,110	0,134	<b>1,081</b>	<b>0,741</b>
11975	Cesta	0,026	0,008	0,009	0,127	0,012	0,101	0,124	0,071	0,089	0,056	0,040	0,084	0,012	0,084	0,098	<b>0,941</b>	<b>0,647</b>
14707	Cesta	0,029	0,011	0,011	0,093	0,019	0,113	0,114	0,092	0,093	0,109	0,051	0,095	0,015	0,086	0,107	<b>1,039</b>	<b>0,691</b>
15171	Cesta	0,018	0,007	0,007	0,022	0,007	0,030	0,031	0,022	0,028	0,023	0,019	0,031	0,008	0,017	0,000	<b>0,270</b>	<b>0,176</b>
17737	Cesta	0,033	0,015	0,011	0,131	0,028	0,171	0,193	0,112	0,124	0,096	0,060	0,123	0,015	0,124	0,127	<b>1,363</b>	<b>0,910</b>
11996	Šola	0,054	0,007	0,022	0,183	0,017	0,236	0,235	0,114	0,166	0,157	0,077	0,141	0,013	0,124	0,145	<b>1,688</b>	<b>1,132</b>
12699	Šola	0,029	0,006	0,007	0,033	0,006	0,016	0,016	0,012	0,015	0,034	0,013	0,018	0,006	0,016	0,000	<b>0,227</b>	<b>0,142</b>
14265	Šola	0,020	0,010	0,008	0,058	0,007	0,019	0,015	0,011	0,013	0,005	0,014	0,019	0,006	0,013	0,000	<b>0,218</b>	<b>0,160</b>
16096	Šola	0,027	0,006	0,012	0,024	0,016	0,130	0,162	0,046	0,092	0,079	0,037	0,079	0,010	0,023	0,049	<b>0,791</b>	<b>0,500</b>
6097	Vrt	[0,01]	<0,01	0,013	0,12	0,031	0,15	0,13	0,08	0,08	0,09	0,05	0,09	0,01	0,06	0,07	<b>0,974</b>	<b>0,733</b>
6990	Vrt	[0,01]	[0,005]	[0,00	0,02	[0,00	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	<0,01	0,04	0,04	<b>0,339</b>	<b>0,261</b>
8680	Vrt	0,019	<0,01	0,014	0,08	0,01	0,07	0,06	0,04	0,05	0,06	0,03	0,05	0,01	0,06	0,07	<b>0,627</b>	<b>0,477</b>
10058	Vrt	[0,01]	[0,005]	<0,01	0,1	0,012	0,2	0,19	0,11	0,14	0,18	0,08	0,13	0,02	0,11	0,13	<b>1,4</b>	<b>1,01</b>
13629	Vrt	[0,01]	[0,005]	[0,00	0,02	[0,00	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	<0,01	0,03	0,03	<b>0,33</b>	<b>0,247</b>
15622	Vrt	[0,01]	[0,005]	[0,00	0,04	<0,01	0,16	0,16	0,14	0,15	0,2	0,07	0,19	0,03	0,14	0,16	<b>1,441</b>	<b>1,048</b>
17724	Vrt	[0,01]	[0,005]	[0,00	0,04	<0,01	0,18	0,16	0,11	0,11	0,14	0,07	0,14	0,02	0,09	0,11	<b>1,17</b>	<b>0,85</b>

Največjo vsebnost smo izmerili v parku MOL10299, kjer je mejna vrednost za vsoto PAO presežena štirikrat. Mejno vrednost presegajo vrednosti tudi v treh vzorcih tal iz zelenjadnih vrtičkov. V preglednici 3 so prikazane vrednosti za posamezne spojine in vsota (vsota PAO) ter vsota kancerogenih spojin (PAO\*).

Iz navedenega lahko povzamemo, da izmerjene koncentracije PAO v Ljubljani nakazujejo vpliv uporabe fosilnih goriv oziroma emisije iz industrijskih in drugih kurišč, vendar koncentracije ne predstavljajo tveganja za človeka, razen v primerih nekaterih otroških igrišč. Od skupaj 50 preiskanih otroških igrišč v okolici vrtcev in šol, smo jih 9 analizirali tudi na vsebnost PAO: na štirih lokacijah je presežena tako mejna vrednost skupnih PAO (1 mg/kg tal) kot tudi vrednost za benzo-a-pyren (0.1 mg/kg), kar je glede na nemške izkušnje (Berliner liste) neprimerno za otroško igrišče.

#### 7.4. STANJE KAKOVOSTI TAL PO POSAMEZNIH KATEGORIJAH RABE TAL

V preglednicah 5-10 so zbrane minimalne in maksimalne vrednosti ter povprečja in mediane za vsebnost težkih kovin v tleh po posameznih kategorijah rabe tal, ločeno za zgornji sloj (0-10 cm) in spodnji sloj tal (10-20 cm). Prav tako je podano število lokacij s preseženo mejno, opozorilno in kritično imisijsko vrednostjo v tleh, kot jih predpisuje slovenska zakonodaja. Mejne, opozorilne in kritične imisijske vrednosti za težke kovine, policiklične aromatske ogljikovodike (PAO) in DDT ter njegovih derivatov v tleh so prikazane v preglednici 4.

**Preglednica 4: Mejna, opozorilna in kritična imisijska vrednost za izbrane težke kovine, vsoto PAO in DDT v tleh (mg/kg) (Ur.l. RS št. 68/96).**

	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	PAO* (mg/kg)	DDT** (mg/kg)
<b>Mejna vrednost</b>	1	85	200	60	50	100	1	0,1
<b>Opozorilna vrednost</b>	2	100	300	100	70	150	20	2
<b>Kritična vrednost</b>	12	530	720	300	210	380	40	4

Slovenska zakonodaja določa mejno, opozorilno in kritično vrednost za izbrana onesnažila v tleh, vendar pri tem ne upošteva rabe tal. V interpretaciji je zajeta samo pridelava hrane in krme ter funkcija tal za filtriranje pitne vode. Zato na osnovi slovenske zakonodaje ne moremo predpisati ukrepov za urbane površine v primeru, če kateri izmed parametrov presega opozorilno ali celo kritično vrednost. Poseben problem pri interpretaciji predstavljajo površine, kjer se dlje časa zadržujejo otroci, kot so igrišča ob šolah in vrtcih ter parki, kjer so postavljena igrala.

Na osnovi literaturnih podatkov vemo, da je možen prehod težkih kovin v organizem tudi z vdihovanjem prašnih (talnih) delcev in z zaužitjem onesnaženih tal (iz rok v usta). Slednji način je najpogostejši pri otrocih, ker se dlje časa zadržujejo v parkih in igriščih, ker se s tlemi tudi igrajo in ker talne delce z rokami prenašajo v usta. Na osnovi študije ne moremo izračunati dejanskega tveganja za zdravje otrok in odraslih. Zato v primerih, ko je presežena opozorilna vrednost svetujemo, da so površine zatravljene, ker s tem zmanjšamo erozijo in prenašanje talnih delcev z vetrom ter s tem možnost inhalacije talnih delcev. Če so površine, kjer se dlje časa aktivno zadržujejo otroci, kot so to igrišča ob šolah in vrtcih, onesnažene preko opozorilne vrednosti z več onesnažili, svetujemo, da se preprečujejo take aktivnosti otrok, ki vključujejo igranje na golih (nezatravljenih) površinah. Alternativna možnost je zamenjava zgornjega sloja tal oz. navoz novega materiala.

##### 7.4.1. Parki

Izmed merjenih težkih kovin, je na največ lokacijah povečana vsebnost Pb. V zgornjem sloju je na 14 lokacijah presežena mejna in na 12 lokacijah (od teh) opozorilna vrednost. V spodnjem sloju je mejna vrednost povečana na 13 lokacijah, na 11 od teh tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost Pb je bila izmerjena na lokaciji MOL15165 in sicer 387,5 mg/kg v zgornjem sloju in 372 mg/kg v spodnjem sloju. Vsebnost Zn v zgornjem sloju presega mejno vrednost na 6 lokacijah, v spodnjem sloju pa na 4 lokacijah. Od teh je v zgornjem sloju na eni in v spodnjem sloju na dveh lokacijah presežena tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost Zn v zgornjem sloju tal je bila izmerjena na lokaciji MOL10299 in sicer 302 mg/kg, v spodnjem sloju tal pa na lokaciji MOL13156 in sicer 330 mg/kg. Mejna vrednost za Cu je

presežena na petih lokacijah, mejna vrednost za Cd na eni lokaciji, vsebnost Cr pa na eni lokaciji (MOL10299) presega opozorilno vrednost (164,6 mg/kg).

Izmed 6 lokacij, kjer smo določili vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov, je bila mejna vrednost (1 mg/kg suhih tal) presežena na 1 lokaciji (MOL10299) in sicer štirikrat (Preglednica 3).

**Preglednica 5: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za parke v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68/96).**

	PARKI (n=35)							
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
<b>ZGORNJI SLOJ</b>								
<b>povprečje</b>	0,57	97,5	148,2	38,2	26,3	35,3	921	26099
<b>mediana</b>	0,57	75,0	130,0	33,0	25,4	30,0	872	27226
<b>minimum</b>	0,10	35,4	79,1	18,0	18,9	20,6	344	18153
<b>maksimum</b>	1,21	387,5	302,4	68,3	38,0	164,6	1425	32667
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	1	14	6	5	0	1		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	12	1	0	0	1		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		
<b>SPODNJI SLOJ</b>								
<b>povprečje</b>	0,57	99,4	141,7	40,3	26,8	36,1	935	26980
<b>mediana</b>	0,61	68,7	126,8	35,4	26,6	29,5	844	26831
<b>minimum</b>	0,10	33,1	69,3	17,2	16,8	16,9	309	13610
<b>maksimum</b>	1,01	372,1	329,7	96,6	39,9	186,1	1479	36797
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	1	13	4	5	0	1		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	11	2	0	0	1		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		



#### 7.4.2. Igrišča ob vrtcih

Izmed merjenih težkih kovin, je na največ lokacijah povečana vsebnost Pb. Mejna vrednost je presežena na 10 lokacijah, od tega na sedmih lokacijah tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost 192 mg/kg je bila izmerjena v zgornjem sloju na lokaciji MOL10282. Vsebnost Zn v zgornjem sloju tal presega mejno vrednost na štirih lokacijah, v spodnjem sloju tal pa na šestih lokacijah. Na eni lokaciji v zgornjem sloju in na dveh lokacijah v spodnjem sloju je presežena tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost Zn v obeh globinah je bila prav tako izmerjena na lokaciji MOL10282 in sicer v zgornjem sloju 421 mg/kg tal in v spodnjem sloju tal 479,5 mg/kg. Vsebnost Cu presega mejno vrednost na štirih lokacijah, od teh je na eni lokaciji (MOL14275) presežena tudi opozorilna vrednost (102,4 mg/kg).

Izmed petih lokacij, kjer smo določili vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov, je bila mejna vrednost (1 mg/kg suhih tal) nekoliko presežena na dveh lokacijah (MOL13595 in MOL14275).

**Preglednica 6: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine (mg/kg) v tleh za igrišča ob vrtcih MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).**

	IGRIŠČA OB VRTCIIH (n=20)							
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
	ZGORNJI SLOJ							
<b>povprečje</b>	0,50	85,7	161,5	44,6	24,3	32,6	764	25114
<b>mediana</b>	0,4	61,51	123	30,89	24,1	31,8	673	25391
<b>minimum</b>	0,2	20,07	71,7	19,22	14,2	18,8	363	16814
<b>maksimum</b>	0,95	192,1	421	102,4	32,7	50,3	1392	31847
<b>n&gt;mejne vrednosti</b>	0	10	4	4	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	7	1	1	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		
	SPODNJI SLOJ							
<b>povprečje</b>	0,48	87,2	167,6	40,6	25,3	33,3	814	26398
<b>mediana</b>	0,44	73,6	122,4	31,7	27,4	29,2	706	26307
<b>minimum</b>	0,1	20,1	71,2	18,4	16,9	20,8	300	19230
<b>maksimum</b>	0,87	189,8	479,5	71,6	32,0	49,6	1445	33300
<b>n&gt;mejne vrednosti</b>	0	10	6	4	0	0	21	21
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	8	2	0	0	0	20	20
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0	19	19

### 7.4.3. Igrišča ob osnovnih šolah

Izmed merjenih težkih kovin, je na največ lokacijah povečana vsebnost Pb. V zgornjem sloju je na 10 lokacijah presežena mejna in na 8 lokacijah (od teh) opozorilna vrednost. V spodnjem sloju je mejna vrednost povečana na 11 lokacijah, na 8 od teh tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost Pb je bila izmerjena na lokaciji MOL14265 in sicer 342 mg/kg v zgornjem sloju in 274 mg/kg v spodnjem sloju. Vsebnost Zn v zgornjem sloju presega mejno vrednost na 6 lokacijah, v spodnjem sloju pa na 5 lokacijah. Od teh je v zgornjem in v spodnjem sloju na eni lokaciji presežena tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost Zn v obeh slojih tal je bila izmerjena na lokaciji MOL11996 in sicer 314 mg/kg v zgornjem in 312 mg/kg v spodnjem sloju tal. Mejna vrednost za Cu je presežena na petih lokacijah. Opozorilna vrednost za Cu je v zgornjem sloju presežena ena eni lokaciji in v spodnjem sloju na dveh lokacijah. Največja vsebnost Cu je bila izmerjena na lokaciji MOL14265 in sicer v zgornjem sloju 123,5 mg/kg in spodnjem sloju tal 134,9 mg/kg. Vsebnost Cd presega mejno vrednost na petih lokacijah, največja vsebnost je bila izmerjena na lokaciji MOL18206 in sicer 1,72 mg/kg v zgornjem in 1,80 mg/kg v spodnjem sloju tal.

Izmed štirih lokacij, kjer smo določili vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov, je bila mejna vrednost (1 mg/kg suhih tal) presežena na 1 lokaciji (MOL11996) (Preglednica 3).

**Preglednica 7: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za igrišča ob šolah v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).**

	IGRIŠČA OB ŠOLAH (n=30)							
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
	ZGORNJI SLOJ							
<b>povprečje</b>	0,66	80,3	150,9	40,6	26,4	34,6	1022	26553
<b>mediana</b>	0,58	65,4	130,2	31,6	25,9	29,5	1080	26128
<b>minimum</b>	0,28	25,6	63,0	15,3	15,6	22,6	425	18838
<b>maksimum</b>	1,72	341,9	313,7	123,5	35,5	74,5	1752	38045
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	5	10	6	5	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	8	1	1	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		
	SPODNJI SLOJ							
<b>povprečje</b>	0,66	79,5	142,0	42,3	27,3	34,5	1098	27554
<b>mediana</b>	0,57	61,4	115,9	29,8	26,3	30,1	1077	27570
<b>minimum</b>	0,27	22,3	56,8	13,6	18,4	19,3	450	18036
<b>maksimum</b>	1,8	273,6	311,7	134,9	45,0	78,6	1756	38243
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	5	11	5	5	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	8	1	2	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		

#### 7.4.4. Zelene površine ob cestah in križiščih

Izmed merjenih težkih kovin, je na največ lokacijah povečana vsebnost Pb. V zgornjem sloju je na 14 lokacijah presežena mejna in opozorilna vrednost. V spodnjem sloju je mejna vrednost povečana na 13 lokacijah, na 10 od teh tudi opozorilna vrednost. Največja vsebnost Pb v zgornjem sloju tal je bila izmerjena na lokaciji MOL09569 in sicer 273 mg/kg, v spodnjem sloju pa na lokaciji MOL14707 (182 mg/kg). Vsebnost Zn presega mejno vrednost na 2 lokacijah. Največja vsebnost Zn v obeh slojih tal je bila izmerjena na lokaciji MOL14707 in sicer 231 mg/kg v zgornjem in 222 mg/kg v spodnjem sloju tal. Mejna vrednost za Cu je v zgornjem sloju tal presežena na treh lokacijah, v spodnjem sloju tal pa na štirih lokacijah. Največja vsebnost Cu je bila v zgornjem sloju tal izmerjena na lokaciji MOL13611 (69,3 mg/kg), v spodnjem sloju pa na lokaciji MOL17737 (93,9 mg/kg). Vsebnost Cd v zgornjem sloju tal presega mejno vrednost na treh lokacijah, od teh na eni presega opozorilno vrednost. Vsebnost Cd v spodnjem sloju presega mejno vrednost na dveh lokacijah. Največja vsebnost Cd je bila izmerjena na lokaciji MOL21172 v zgornjem sloju tal in sicer 4,45 mg/kg.

Izmed šestih lokacij, kjer smo določili vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov, je bila mejna vrednost (1 mg/kg suhih tal) presežena na 3 lokacijah (Preglednica 3).

**Preglednica 8: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za zelene površine ob cestah in križiščih v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).**

ZELENE POVRŠINE OB CESTAH IN KRIŽIŠČIH (n=25)								
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
ZGORNJI SLOJ								
<b>povprečje</b>	0,68	108,4	132,2	39,6	24,3	30,8	722	23725
<b>mediana</b>	0,48	114,2	119,4	37,8	24,6	28,0	653	22802
<b>minimum</b>	0,19	33,1	65,9	18,0	14,5	12,1	148	11970
<b>maksimum</b>	4,45	273,3	230,9	69,3	36,7	72,5	1496	40681
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	3	14	2	3	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	1	14	0	0	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		
SPODNJI SLOJ								
<b>povprečje</b>	0,6	92,0	124,5	38,8	24,3	31,4	721	23029
<b>mediana</b>	0,48	88,1	105,5	35,9	23,4	27,1	703	22467
<b>minimum</b>	0,1	31,5	56,4	15,9	13,7	9,8	102	12063
<b>maksimum</b>	1,15	181,6	222,5	93,9	40,6	81,0	1334	31930
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	2	13	2	4	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	10	0	0	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		

#### 7.4.5. Brežine rek

Izmed izbranih kategorij rabe tal, so brežine rek Save in Ljubljani najmanj onesnažene lokacije, ki so bile vključene v raziskavo. Vsebnost Pb malo presega mejno vrednost samo na eni brežini reke Save (MOL01620) in sicer v spodnjem sloju tal. Mejna in opozorilna vrednost za Zn sta preseženi samo na eni lokaciji in sicer na brežini reke Ljubljani (MOL15013), kjer je vsebnost Zn v zgornjem sloju tal 446 mg/kg, v spodnjem sloju pa 581 mg/kg. Mejna vrednost za Cd je presežena v zgornjem sloju na dveh brežinah Ljubljani (MOL12946 in MOL14086) ter v spodnjem sloju na eni brežini Ljubljani (MOL14086). Na brežinah Save nismo izmerili povečanih vsebnosti niti za Zn niti za Cd. Ker smo vzorčili v vplivnem območju voda, so vsebnosti v zgornjem sloju tal pogosto nižje kot v spodnjem sloju, verjetno zaradi odnašanja in odlaganja materiala.

**Preglednica 9: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne težke kovine v tleh (mg/kg) za brežine rek v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68-5773/96).**

	BREŽINE REK (n=13)							
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
	ZGORNJI SLOJ							
<b>povprečje</b>	0,52	36,7	126,9	24,1	28,1	27,9	555	23253
<b>mediana</b>	0,30	37,1	84,7	23,7	27,2	20,2	491	22636
<b>minimum</b>	0,15	11,4	65,6	15,3	22,1	13,5	259	18203
<b>maksimum</b>	1,41	81,4	445,7	32,0	35,2	65,4	1133	29793
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	2	0	1	0	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	0	1	0	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		
	SPODNJI SLOJ							
<b>povprečje</b>	0,49	38,1	134,3	25,1	28,3	27,1	552	22803
<b>mediana</b>	0,32	33,8	92,4	22,8	28,1	25,8	489	22510
<b>minimum</b>	0,12	10,5	63,0	18,7	20,4	12,6	247	16386
<b>maksimum</b>	1,28	86,6	581,0	39,2	37,7	71,0	1142	30661
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	1	1	1	0	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	0	1	0	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0		

#### 7.4.6. Vrtniki (Zelenjavni vrtni)

Tla na vrtnikih smo vzorčili samo na eni globini in sicer 0-20 cm. Vsebnost Pb presega mejno imisijsko vrednost na štirih lokacijah, na treh od teh je presežena tudi opozorilna imisijska vrednost za tla (Ur.l. RS 68/96). Največja vsebnost Pb je bila izmerjena na lokaciji MOL10058 in sicer 135 mg/kg. Vsebnost Zn presega mejno imisijsko vrednost na treh lokacijah, na eni od teh (MOL17724) je presežena tudi opozorilna imisijska vrednost in sicer je koncentracija Zn 360 mg/kg. Vsebnost Cd presega mejno vrednost na dveh lokacijah (MOL06990 in MOL08680). Na eni lokaciji (MOL10058) je povečana vsebnost Cr v tleh. Vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov (PAO) presega mejno imisijsko vrednost na treh lokacijah (MOL15622, MOL10058, MOL17724), na prvih dveh mejno vrednost presega tudi vsota najbolj nevarnih (rakotvornih) spojin iz skupine PAO, ki jih v tabeli in na izpisih označujemo s PAO\*.

**Preglednica 10: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost izmerjenih nevarnih snovi v tleh (mg/kg) za vrtnike v MOL. Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68 /96).**

	VRTIČKI (n=7)									Σ DDT	Σ PAO	Σ PAO*
	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Mn	Fe				
	mg/kg 0-20 cm											
<b>povprečje</b>	0,81	86,3	204,7	44,0	27,6	47,2	1045	27580	0,891	0,897	0,661	
<b>mediana</b>	0,83	94,4	182,3	41,9	27,1	35,6	1280	25657	0,967	0,974	0,773	
<b>minimum</b>	0,40	45,5	102,6	31,8	22,4	26,7	414	24889	0,007	0,330	0,247	
<b>maksimum</b>	1,08	135,2	360,0	55,3	31,5	128,0	1535	36547	2,394	1,441	1,048	
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	2	4	3	0	0	1			5	3	2	
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	3	1	0	0	0			1	0	0	
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	0	0	0	0	0			0	0	0	

Zaradi velike verjetnosti, da se na vrtnikih uporabljajo sredstva za varstvo rastlin in zatiranje plevela smo v 7 povprečnih vzorcih vrtni analizirali tudi ostanke fitofarmacevtskih sredstev. Od skupaj izmerjenih 33 organoklorinih substanc smo zasledili le ostanke DDT in njegovih derivatov (na vseh sedmih lokacijah) in dieldrin na eni lokaciji. Vsebnosti detektiranih substanc so na dveh lokacijah pod mejno vrednostjo, na štirih je vsota DDT in derivatov večja od mejne imisijske vrednosti na eni lokaciji (MOL10058) pa je večja od opozorilne vrednosti.

#### 7.4.7. PRIMERJAVA STANJA KAKOVOSTI TAL V MO LJUBLJANA Z LETOM 1991

Center za pedologijo in varstvo okolja je v okviru naloge Monitoring onesnaženosti tal in vegetacije v Sloveniji v letu 1991 izvedel vzorčenje in analize tal na 26 lokacijah na območju Ljubljane (Lobnik in sod., 1992). Vzorci so bili odvzeti v vnaprej določeni mreži 2 x 2 km (metodologija državnega monitoringa tal) in so glede na rabo tal razdeljeni sledeče:

- travnik 10 lokacij,
- njiva 7 lokacij,
- zelenica 4 lokacije,
- gozd 4 lokacije,
- vrt 1 lokacija.

Meritve vsebnosti anorganskih nevarnih snovi so pokazale relativno majhno splošno onesnaženost tal. Od 11 analiziranih elementov v zgornjem sloju tal (0-5cm) pričakovano izstopa le Pb; mejno imisijsko vrednost presega na petih lokacijah (19 % vzorčnih lokacij), od tega na treh lokacijah presega opozorilno in na eni tudi kritično imisijsko vrednost (Ur. l. RS 68/96). Pri tem moramo izpostaviti lokacijo ob deponiji Barje, ki je močno kontaminirana s Pb, Cu in Zn zaradi lokalnih izvorov onesnaževanja. Na ostalih lokacijah so vsebnosti merjenih elementov (Preglednica 11).

**Preglednica 11: Povprečje, mediana, minimum in maksimum za skupno vsebnost posamezne kovine v tleh (mg/kg) v letu 1991; lokacija 'deponija Barje' je podana posebej (Lobnik in sod. 1992). Podana je tudi primerjava s slovensko zakonodajo (Ur.l. RS št. 68/96).**

	VZORČENJE 1991, globina 0 – 5 cm (n=25)							
	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
<b>povprečje</b>	<0,5	62,4	107	44,6	15,7	44,0	703	29140
<b>mediana</b>	-	57,0	110	42,9	16,3	43,8	657	30910
<b>minimum</b>	<0,5	24,1	53,5	18,1	6,9	17,2	108	16530
<b>maksimum</b>	0,8	119	152	90,9	25,1	82,2	1368	41150
<b>deponija Barje</b>	<0,5	2050	580	145	11,5	37,1	375	34100
<b>n&gt; mejne vrednosti</b>	0	5	1	3	0	0		
<b>n&gt;opozorilne vrednosti</b>	0	3	1	1	0	0		
<b>n&gt;kritične vrednosti</b>	0	1	0	0	0	0		

Primerjava z meritvami vzorcev tal odvzetih leta 2002 pokaže, da so vsebnosti večine merjenih kovin v letu 2002 nekoliko večje kot v letu 1991. Primerjava koncentracij posameznih kovin merjenih v letih 2002 s povprečjem v letu 1991 kaže na zmeren trend povečanja vsebnosti Pb v zgornjem sloju tal ter rahel trend povečanja koncentracij Zn, Cd in Ni v zgornjem sloju tal. Izjema so tla ob brežinah rek, ki so izpostavljena eroziji. Vsebnost Cr in Fe je pri večini kategorij tal manjša od povprečja v letu 1991.

Poudariti moramo, da je bilo leta 1991 vzorčenje izvedeno predvsem na kmetijskih površinah v okolici urbanega dela mesta Ljubljana (travniki, njive) in manj v bližini cest in glavnih izvorov Pb. Tudi število vzorčnih mest je bilo precej manjše od števila vzorčnih mest v letu

2002, nekatera odstopanja so delno tudi v okviru merilne negotovosti. Predvsem pa so bile lokacije vzorčenja v letu 1991 in 2002 različne, zato je bolj detajlna primerjava nemogoča. Kljub temu lahko ugotovimo, da tla v urbanih središčih vsebujejo večje količine kovin kot v 'priurbanih' oziroma ruralnih območjih in trend akumulacije tistih nevarnih snovi v tleh (predvsem Pb), ki so indikator človekove aktivnosti v prostoru (urbano in industrijsko okolje) (Preglednica 12)

**Preglednica 12: Primerjava povprečnih vrednosti izmerjenih težkih kovin v tleh leta 1991 in 2002.**

	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
<b>VZORČENJE 1991, globina 0- 5 cm</b>								
<b>1991 – vse rabe tal (n=25)</b>	<0,5	62,4	107	44,6	15,7	44,0	703	29140
<b>VZORČENJE 2002, globina 0- 10 cm</b>								
<b>2002 – brežine rek (n=13)</b>	0,52	36,7	126,9	24,1	28,1	27,9	555	23253
<b>2002 – bližina cest (n=25)</b>	0,68	108,4	132,2	39,6	24,3	30,8	722	23725
<b>2002 – šolska igrišča (n=30)</b>	0,66	80,3	150,9	40,6	26,4	34,6	1022	26553
<b>2002 – igrišča ob vrtcih (n=20)</b>	0,50	85,7	161,5	44,6	24,3	32,6	764	25114
<b>2002 – parki (n=35)</b>	0,57	97,5	148,2	38,2	26,3	35,3	921	26099
<b>VZORČENJE 2002, globina 0- 20 cm</b>								
<b>2002 – vrtički (n=7)</b>	0,81	86,3	204,7	44,0	27,6	47,2	1045	27580

Primerjava vsebnosti organskih nevarnih snovi kaže podoben trend večjih vsebnosti spojin, ki izhajajo iz urbanih emisij, kot tudi večjo vsebnost ostankov DDT in njegovih derivatov. Primerjava organskih nevarnih snovi je lahko le okvirni podatek in ne more služiti kot zaključek, saj imamo premalo meritev za večino primerjanih parametrov. V letu 1991 smo ostanke fitofarmacevstkih sredstev (FFS) analizirali v vzorcih tal njiv, zatravljenih njiv in intenzivnih travnikov (skupaj 14 lokacij), na dveh od teh smo izmerili tudi vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov. V letu 2002 je vsebnost PAO izmerjena na 28 vzorcih tal večinoma bližje neposrednim izvorom PAO (emisije iz kurišč in prometa), ostanki FFS pa so bili analizirani le na 7 vzorcih vrtičkov.

Vsebnosti PAO smo v letu 1991 izmerili le v zgornjem sloju tal na lokacijah Kleče in Hrastje. Vsota koncentracij kancerogenih spojin PAO\* in vseh izmerjenih spojin PAO je bila manjša od vsote koncentracij izmerjenih v vzorcih tal v letu 2002 (Preglednica 3 in Preglednica 13). Vzorci tal analizirani na vsebnost PAO v letu 2002 so bili odvzeti v bolj urbanem okolju, kar je lahko tudi eden od razlogov za višje vrednosti.

Analiza na vsebnost ostankov FFS v letu 1991 je pokazala prisotnost nekaterih spojin v vzorcih tal iz 14 lokacij:

- DDT in derivati (na 7 lokacijah),
- atrazin in njegovi derivati (na 2 lokacijah),
- alaklor (na 5 lokacijah),
- metolaklor (na 1 lokaciji).

V vzorcih 7 vtičkov vzorčenih leta 2002, ki jih primerjamo s stanjem na njivah in intenzivnih travnikih v letu 1991 smo zabeležili večje vsebnosti DDT in njegovih derivatov in manjše vsebnosti ostalih ostankov FFS. Primerjava ni najboljša, saj se na vrtičkih zelo malo oziroma

bolj izjemoma uporabljajo herbicidi, vendar je zanimivo, da v tleh še vedno najdemo ostanke prepovedanih insekticidov, ki so vsebovali DDT (Pregledica 10 in preglednica 13).

**Preglednica 13: Primerjava povprečnih vsebnosti nekaterih organskih nevarnih snovi v tleh leta 1991 in 2002**

	PAO (mg/kg)	PAO* (mg/kg)	DDT (mg/kg)	atrazin (mg/kg)	alaklor (mg/kg)	metolaklor (mg/kg)
<b>VZORČENJE 1991, globina 0- 5 cm</b>						
1991 – zatravljene njive (n=2)	0,165	0,12				
<hr/>						
1991 – njive, zatravljene njive in int. travniki (n=11)			0,127	0,011	0,01	0,009
<hr/>						
<b>VZORČENJE 2002, globina 0- 20 cm</b>						
2002 – otroška igrišča, parki, križišča, vrtnički (n=28)	0,97	0,70				
<hr/>						
2002 – vrtnički (n=7)			0,891	<0,003	<0,003	<0,003



## 8. POVZETEK

### 8.1. Razširjeni povzetek v slovenskem jeziku

V okviru projekta URBSOIL smo ugotavljali kakovost urbanih tal v Mestni občini Ljubljana. Poleg pedoloških lastnosti, kot so pH, vsebnost organske snovi v tleh in kationska izmenjalna kapaciteta, vplivajo na kakovost tal tudi vsebnosti anorganskih in organskih potencialno nevarnih snovi, ki so v tleh kot posledica emisij prometa, industrije in kmetijstva. Slednje lahko, če se nahajajo v prevelikih koncentracijah vplivajo na zdravje ljudi.

Zaradi posebnosti urbanega prostora, obstoječi sistem vzorčenja za državni monitoring kakovosti tal, ni primeren za urbana tla. Glavne omejitve so: obstoječa mreža (2 x 2 km oziroma 1x 1km), ki jo uporabljamo v državnem monitoringu tal, je pregroba, vzorčno mesto, ki je predvideno za neurbano območje je preveliko, pogosto se zgodi, da je vnaprej določeno vzorčno mesto pozidano, sistematično vzorčenje, ki je primerno za državni monitoring tudi ne dovoljuje namenskega vzorčenja izbranih kategorij rabe tal (otročka igrišča ob šolah in vrtcih, parkovne površine) in strokovne presoje. Zato smo v okviru projekta razvili nov sistem izbora vzorčnih mest, ki je kombinacija uporabe pravilne mreže in strokovne presoje. Celotno območje MOL smo razdelili v kvadrante 100 x 100 m in jih zaporedno oštevilčili. Posamezna vzorčna mesta/kvadrante smo izbrali na osnovi strokovne presoje, pri čemer sta bila osnova dva kriterija: enakomerna prostorska razporeditev vzorčnih mest po celotnem območju MOL in raba tal (izbrali smo kategorij rabe tal: parki, igrišča ob šolah in vrtcih, zelenice ob cestah, brežine rek in vrtički). Tudi izbor mikrolokacije vzorčenja (kje znotraj izbranega kvadranta) je bil na osnovi strokovne presoje.

Vzorčenje je potekalo novembra 2002 ter marca in aprila 2003. Talne vzorce smo odvzeli s sondo iz nerjavečega jekla (dolžine ~ 40 cm in notranjega premera ~ 5 cm). Za povprečni talni vzorec je bilo potrebnih približno 20 vbodov sonde na površini 10 m<sup>2</sup>. Vzorčili smo dve globini: 0-10 in 10-20 cm. Vzorce smo homogenizirali, posušili, zmleli v keramični terilnici in analizirali naslednje parametre: pH, elektrokonduktivnost, organsko snov, teksturo, kationsko izmenjalno kapaciteto in delež bazičnih kationov ter celokupno vsebnost izbranih težkih kovin (razkroj z zlatotopko). V izbranih površinskih vzorcih (28 lokacij) smo določili tudi vsebnost policikličnih aromatskih ogljikovodikov ter v 7 vzorcih iz vrtov ostanke fitofarmacevtskih sredstev.

Rezultati analiz so pokazali, da so si vzorci podobni v pedoloških lastnostih: pH, kationska izmenjalna kapaciteta, delež bazičnih kationov in tekstura. To kaže na dejstvo, da so tla nastala na podobni matični podlagi. Matična podlaga je za večino vzorčnih lokacij pretežno karbonatni prod reke Save, le nekaj lokacij leži na permkarbonskih skrilavih glinovcih in peščenjakih. Glede na to, da je večina urbanih tal premešan material, kar so potrdile tudi ugotovitve ob vzorčenju, bi lahko sklepali, da so tla premeščali samo znotraj MOL, niso pa tal vozili tudi od drugod. Med različnimi kategorijami rabe tal ni bistvenih razlik. Izjema je vsebnost organske snovi in gline ter s tem posledično tudi vrednost kationske izmenjalne kapacitete v kategoriji rečne brežine. Razlog za to je verjetno odnašanja materiala, vzorčne lokacije so v vplivnem območju rek. Kislost je v zgornjem sloju tal od 6,2 do 7,4, v spodnjem sloju tal od 6,5 do 7,7. Povprečna vrednost in mediana sta v zgornjem sloju 7,1 in v spodnjem sloju 7,2, kar kaže, da prevladujejo nevtralna tla. To potrjuje tudi delež bazičnih kationov na sorptivnem delu tal, ki je visok, od 67,3 do 98,8 % s povprečjem 87,7% v zgornjem sloju tal, ter od 65,6% do 99,1% s povprečjem 88,6% v spodnjem sloju tal. Tla na vseh lokacijah so evtrična. Delež organske snovi je visok, v zgornjem sloju je od 1,3 do 15,4% s povprečjem 8,5% ter v spodnjem sloju od 1,2 do 12,4% s povprečjem 6,4%. Veliko vsebnost organske snovi v tleh, v obeh slojih, lahko pripišemo zatavljenosti večine vzorčenih površin ter

dejstvu, da v mestih pogosto na javnih zelenicah pokošeno travo pustijo na mestu. Zaradi zmanjševanja prekoreninjenosti z globino vpada tudi vsebnost organske snovi v tleh. Kationska izmenjalna kapaciteta je v zgornjem sloju tal od 11,3 do 39,2 mmolc/100 g tal, s povprečno vrednostjo 29,3 mmolc/100g tal ter v spodnjem sloju tal od 11,2 do 41,4 mmolc/100g tal, s povprečno vrednostjo 27,6 mmolc/100g tal. Teksturno so si vsi vzorci precej podobni. Prevladuje ilovnata tekstura. Delež gline je v zgornjem sloju tal od 4,6 do 39 % in v spodnjem sloju tal od 4,4 do 47,3%. Elektrokonduktivnost je bila v vseh vzorcih pod vrednostjo 2 mS/cm, ki pomeni mejo za slana tla. Menimo, da zaradi velike količine padavin slanost tal v MOL zaenkrat ne predstavlja bistvenega problema, vendar bi bilo za točen odgovor potrebno preveriti občutljive lokacije (drevoredi ob zelo prometnih cestah...).

Rezultati analiz o vsebnosti izbranih težkih kovin v tleh so pokazali, da so tla največkrat onesnažena s Pb. Mejna imisijska vrednost za Pb je v zgornjem sloju tal, glede na slovensko zakonodajo, presežena na 52 lokacijah. Od teh lokacij je 10 igrišč ob vrtcih, 10 igrišč ob osnovnih šolah, 14 parkov, 14 površin ob cestah in križiščih in 4 vrtički. Pojavljanje povečanih koncentracij Pb v tleh ne glede na rabo tal in bolj ali manj enakomerna porazdelitev povečanih koncentracij Pb v tleh v središčnem delu Ljubljane kaže na razpršeno onesnaževanje. Opozorilna vrednost za Pb je presežena na 44 lokacijah. Od teh lokacij je 7 igrišč ob vrtcih, 8 igrišč ob šolah, 12 parkov, 14 površin ob cestah in križiščih ter 3 vrtički. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Pb je bila izmerjena v enem od parkov in je 387,5 mg/kg. Skupna vsebnost Zn v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Zn na 22 lokacijah, od teh je na 5 lokacijah presežena opozorilna imisijska: 1 igrišče ob vrtcu, 1 igrišče ob šoli, 1 park, 1 brežina rek in 1 vrtiček.. Maksimalna koncentracija Zn je bila izmerjena na eni izmed brežin reke in je 445,7 mg/kg. Skupna vsebnost Cu v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Cu na 17 lokacijah, od katerih je na dveh lokacijah (1 igrišče ob vrtcu in 1 igrišče ob šoli) bila presežena tudi opozorilna imisijska vrednost. Maksimalna koncentracija Cu je bila izmerjena na enem izmed igrišč ob osnovni šoli in je 123,5 mg/kg. Skupna vsebnost Cd v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Cd na 13 lokacijah. Od teh lokacij je 5 igrišč ob šolah, 1 park, 3 zelene površine ob cestah in križiščih, 2 brežini rek ter 2 vrtička. Opozorilna imisijska vrednost je presežena na 1 lokaciji in sicer je to eno igrišče ob vrtcu. Kritična imisijska vrednost ni presežena na nobeni lokaciji. Maksimalna koncentracija Cd je bila izmerjena na zeleni površini ob cesti in je 4,45 mg/kg. Skupna vsebnost Cr v zgornjem sloju tal presega mejno imisijsko vrednost za Cr na dveh lokacijah, na eni od teh je presežena tudi opozorilna vrednost. Maksimalna koncentracija Cr je bila izmerjena v parku in je 164,6 mg/kg. Na nobeni lokaciji ni bila presežena mejna imisijska vrednost za Ni. Na nobeni lokaciji ni bila presežena kritična imisijska vrednost za posamezne merjene težke kovine.

V 28 izbranih talnih vzorcih (globina 0-10 cm) smo izmerili vsebnost petnajstih policikličnih aromatskih ogljikovodikov, med katerimi je devet kancerogenih. Glede na slovensko zakonodajo, je na 10 lokacijah presežena mejna vrednost za vsoto PAO (1 mg/kg tal). Koncentracije ne predstavljajo tveganja za človeka, razen v primerih nekaterih otroških igrišč. Na štirih otroških igriščih je presežena tako mejna vrednost skupnih PAO (1 mg/kg tal) kot tudi vrednost za benzo-a-pyren (0.1 mg/kg), kar je glede na nemške izkušnje (Berliner liste) neprimerno za otroško igrišče.

Slovenska zakonodaja določa mejno, opozorilno in kritično vrednost za izbrana onesnažila v tleh, vendar pri tem ne upošteva rabe tal. V interpretaciji je zajeta samo pridelava hrane in krme ter funkcija tal za filtriranje pitne vode. Zato na osnovi slovenske zakonodaje ne moremo predpisati ukrepov za urbane površine v primeru, če kateri izmed parametrov presega opozorilno ali celo kritično vrednost. Poseben problem pri interpretaciji predstavljajo

površine, kjer se dlje časa zadržujejo otroci, kot so igrišča ob šolah in vrtcih ter parki, kjer so postavljena igrala.

Na osnovi literaturnih podatkov vemo, da je možen prehod težkih kovin v organizem tudi z vdihovanjem prašnih (talnih) delcev in z zaužitjem onesnaženih tal (iz rok v usta). Slednji način je najpogostejši pri otrocih, ker se dlje časa zadržujejo v parkih in igriščih, ker se s tlemi tudi igrajo in ker talne delce z rokami prenašajo v usta. Na osnovi študije ne moremo izračunati dejanskega tveganja za zdravje otrok in odraslih. Zato v primerih, ko je presežena opozorilna vrednost svetujemo, da so površine zatravljene, ker s tem zmanjšamo erozijo in prenašanje talnih delcev z vetrom ter s tem možnost inhalacije talnih delcev. Če so površine, kjer se dlje časa aktivno zadržujejo otroci, kot so to igrišča ob šolah in vrtcih, onesnažene preko opozorilne vrednosti z več onesnažili, svetujemo, da se preprečujejo take aktivnosti otrok, ki vključujejo igranje na golih (nezatravljenih) površinah. Alternativna možnost je zamenjava zgornjega sloj tal oz. navoz novega materiala.

## 8.2. Povzetek v angleškem jeziku

Environmental soil quality of the city of Ljubljana was determined by measuring selected general soil quality parameters and pseudo-total content of heavy metals (Pb, Zn, Cd, Cu, Cr, Ni) considered as potential toxic elements. Sampling locations with different land use (35 parks, 50 kindergarten and school playgrounds, 25 roadsides, 13 riverbanks and 7 urban agriculture areas) were selected with the combination of systematic and judgemental strategy. Samples from two depths (0-10 and 10-20 cm) were obtained by use of a stainless steel corer.. In all samples pH, electro conductivity, organic matter content, cation exchange capacity, particle size distribution and heavy metals content after the digestion with *aqua regia* were determined.

General soil properties of soil samples collected within the confines of the Ljubljana city do not vary considerably. This indicates that the Ljubljana urban area lies on a geologically relatively homogeneous parent material, predominantly carbonate gravels deposited by the river Sava. On many sampling locations we noticed anthropogenically mixed and carted soil material, probably as a consequence of construction work. The origin of carted soil material seems to be the same. All soil samples have evtric properties, pH is in the range 6,2 –7,4 with the median at 7,1. We did not find large differences in soil properties between different categories of land use with the exception of the riverside locations where lower amounts of organic matter and clay and as a consequence lower cation exchange capacities were detected. We assume that the erosion (or frequent deposition of new sediment) may be the cause of lower values of these parameters in riverside samples. Also, we detected slightly lower amounts of organic matter in roadside locations, which can probably be ascribed to less intensive fertilization compared to parks and playgrounds. The electro conductivity was measured to estimate the potential toxic effect of the use of de-icing salts in the city of Ljubljana. In all samples, regardless of the land use, the electro conductivity values were under the limit set for saline soils (2 mS/cm). Despite a generous use of de-icing salts in wintertime, soil salinity within the Ljubljana urban area is not a significant problem, most likely due to the high amount of precipitation in the area.

Organic matter content in soil samples is relatively high due to climatic conditions (temperate climate belt) and vegetation type (almost all areas are grasses). Organic matter content and cation exchange capacity are lower in subsurface layers. pH value and base saturation slightly increase in subsurface layer, probably due to the influence of carbonates in parent material. We did not find large differences in clay content between surface and subsurface layer.

Soils in the Ljubljana Municipality are moderately polluted mainly with lead. Lead values exceed the limit value in 52 and the warning value in 44 surface soil samples. The lead warning value is exceeded in 14 roadside, 12 park, 8 school playground, 7 kindergarten playground, and 3 urban agriculture area samples. Land use does not exert a large influence on Pb concentrations in soils. The only exception are the riverside locations, which show the lowest concentrations of Pb. The active floodplain environment (e.g., erosion or frequent deposition) can probably explain these findings. Samples taken from roadsides and crossroads show the highest median and average Pb concentrations, confirming that traffic as the main source of Pb in urban areas. The highest concentration (387 mg/kg) of lead was measured in a sample collected from a park. Concentrations of Zn in surface soil samples exceed the limit value in 22 sampling locations. Warning value is exceeded in samples from 5 sampling locations (1 park, 1 school playground, 1 kindergarten playground, 1 riverbank and 1 urban agriculture area). Again, the riverside samples show the lowest median and average soil Zn concentrations. Samples collected in urban agriculture areas have the highest median and average Zn concentrations, probably due to the use of mineral fertilizers. It is interesting that the highest concentration (446 mg/kg) of Zn was measured on riverside. Concentrations of Cu in surface soil samples exceed limit value on 17 sampling locations. Warning value is exceeded only on 2 sampling locations (1 school playground, 1 kindergarten playground). The highest concentration (123 mg/kg) of copper was measured in a sample from a school playground. Concentrations of Cd in surface soil samples exceed limit value on 13 sampling locations. Warning value is exceeded only on 1 sampling location (roadside) with the highest concentration 4,45 mg/kg. Only two locations exceed limit value for Cr in soil. The highest concentration of Cr (164,6 mg/kg) in surface soil (above warning value) was measured in a park location. According to the results of our analyses, Ni concentrations are not elevated in any sampling locations within Ljubljana.

The main problem regarding the results of this study is the preparation of recommendations for remediation of polluted soils in urban areas, especially for moderately polluted soils within kindergarten and school playgrounds. Slovenian legislation does not cover urban soils. Legislation concerning soil pollution is limited to food production and ground water quality. Scarcity of data on the health hazard represented by elevated concentrations of heavy metals in urban soils additionally hampers our ability to make remediation recommendations.

## 9. LITERATURA

- Akhter M.S., Madany I.N. 1993. Heavy metals in street and house dust in Bahrain. *Water, Air and Soil Pollution*, 66: 112-119
- Bakker M.I., Casado B., Koerselman J.W., Tolls J., Kolloeffel C., 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and plant samples from the vicinity of oil refinery. *The Science of Total Environment* 263:91-100
- Bergmann W. 1992. Nutritional disorders of plants-development, visual and analytical diagnosis. Jena, Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag, 741 str.
- Berliner liste 1996: Praxisratgeber Altlastensanierung, WEKA Praxishandbuch, 1997, Augsburg
- Culbard, E.B., Thornton I., Watt, J., Wheatley M., Moorcroft S., Thompson M. 1988. Metal contamination in British urban dusts and soils. *Journal of environmental quality*, 17: 226-234.
- De Kimpe C.R., Morel J.-L 2000. Urban soil management: a growing concern. *Soil Science*, 165: 31-40
- De Miguel E., Llamas J.F., Chacón E., Berg T., Larssen S., Røyset O., Vadset M. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, 31, 17: 2733-2740
- Dudka S., Ponce-Hernandez R., Tate G., Hutchinson T.C. 1996. Forms of Cu, Ni and Zn in soils of Sudbury, Ontario and the metal concentrations in plants. *Water, Air and Soil Pollution*, 90: 531-542
- Edwards N.T., 1983. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) in terrestrial environment – a review. *J. Environ. Qual*, 12:427-441.
- Eikmann T.H., Kloke A. 1991. Nutzungs- und schutzgutbezogene orientierungswerte fuer (schad-) stoffe in boeden. *Vdlufa-mitteilunegen*, HL: 19-26.
- Flathman P.E., Lanza G.R. 1998. Phytoremediation: current views on an emerging green technology. *Journal of soil contamination*, 7: 415-432.
- Haygarth P.M., Jones K.C. 1992. Atmospheric deposition of metals to agricultural surfaces. V: *Biogeochemistry of Trace Elements*. Adriano D.C. (ed.). Boca Raton, Florida, Lewis Publisher: 249-276
- Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. 2003. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution* 124: 247-256
- ISO/DIS 11047. Soil quality - Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc - Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods. 1995: 7 str.
- Janitzky P. 1986. Particle-size analysis. V: *Field and laboratory procedures in a soil chronosequence study*. Singer M.J., Janitzky P. (eds.). U.S. Geological survey bulletin: 11-16.
- Kelly J., Thornton I., 1996. Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Applied Geochemistry*, 11: 363-370

- Kerin Ž. 1974. Ekološki parametri kontaminacije biosfere z industrijskimi ekshalacijami aerosolov svinca v Mežiški dolini. Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za kemijo, 186. str.
- Kiekens, L. 1995. Zinc. V: Heavy metals in soils, 2<sup>nd</sup> edn. Alloway B.J. (ed.). Glasgow, Blackie Academic and Professional: 284-305.
- Larcher W. 1995. Physiological Plant Ecology, Berlin Springer- Verlag: 506 str.
- Leštan D., Zupan M., Hudnik V., Lobnik F. 1997. Kemikalije v tleh. V: Kemizacija okolja in življenja-do katere meje? Lah A. (ed.). Ljubljana, Slovensko ekološko gibanje: 187-204.
- Li X., Lee S.-L., Wong S.-C., Shi W., Thornton I 2004. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. Environmental Pollution, 129: 113-124
- Li X., Poon C.-S., Liu P.S. 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dust in Hong Kong. Applied Geochemistry, 16: 1361-1368
- Lobnik F., Zupan M., Turk I., Ruprecht J., Šporar M., Prus T., Vrščaj B., Hodnik A., Hrustel Majcen M., Hudnik V., Kozak E., Ogorevc B., Medved M., Zorko D., Lapajne S., Vidic N., Virant D., Omerza V., Andoljšek L. 1992. Monitoring onesnaženosti tal in vegetacije. Poročilo za Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 322 str.
- Lobnik F., Zupan M., Hudnik V., Vidic N.J. 1994. Soil and Plant Pollution Case Study in Industrial Areas of Slovenia, Biogeochemistry of trace elements. A special issue of Environmental geochemistry and health, 16: 287-300.
- Madrid L., Díaz-Barrientos E., Madrid F. 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. Chemosphere, 49: 1301-1308
- Oliver M.A. 1997. Soil and human health: a review. European Journal of Soil Science, 48: 573-592
- Plaster E.J. 1992. Soil science and management. 2<sup>nd</sup> edition. New York, Delmar Publishers Inc.: 514 str.
- Praxisratgeber Altlastensanierung, 1997
- Prpić-Majić D., Fugaš M., Souvent P., Sušnik J., Šarić M. 1996. Istraživanja olova, kadmija i cinka u dolini rijeke Meže. Institut za medicinska istraživanja I medicinu rada, Zagreb, 149 s.
- Robertson D.J., Taylor K.G., Hoon S.R. 2003. Geochemical and mineral magnetic characterisation of urban sediment particulates, Manchester, UK. Applied Geochemistry, 18: 269-282
- Ross S.M. 1994. Toxic Metals in Soil Plant System. New York, John Wiley and Sons: 469 str.
- SIST ISO 10390. Kakovost tal - Ugotavljanje pH. 1996: 5 str.
- SIST ISO 11261. Kakovost tal - Ugotavljanje skupnega dušika- modificirana Kjeldahlova metoda. 1996: 4 str.
- SIST ISO 11466. Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia. 1995: 6 str.
- SIST ISO 14235. Kakovost tal -Določanje organskega ogljika z oksidacijo v kromžvepleni kislini. 1999: 5 str.

- Soil survey laboratory methods manual. 1992. United states department of agriculture. Soil Conservation service, National soil survey center: 400 str.
- Souvent, P. 1992. Svinec, metalurgija svinca, okolje. Rudarsko metalurški zbornik, 39: 447-469.
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. Ur.l. RS št. 68-5773/96.
- Vidic N.J. Ivacič M., Zupan M. 1997. A case study of heavy metal pollution along roadways in Slovenia. V: Fourth International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, 23-26. junij 1997. Berkeley, California. Iskandar I.K., Hardy S.E., Chang A.C., Pierzyski (eds.). Extended abstracts: 45-46.
- WHO. 1996a. Guidelines for drinking-water quality, 2<sup>nd</sup> ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization 195-201. [http://www.who.int/docstore/water\\_sanitation\\_health/GDWQ/Chemicals/cadmiumfull.htm](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/GDWQ/Chemicals/cadmiumfull.htm) (31.maj 2004)
- WHO. 1996b. Guidelines for drinking-water quality, 2<sup>nd</sup> ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization 254-275. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/GDWQ/Chemicals/leadfull.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/GDWQ/Chemicals/leadfull.htm) (25.7. 2001)
- WHO. 1996c. Guidelines for drinking-water quality, 2<sup>nd</sup> ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization 382-388. [http://www.who.int/docstore/water\\_sanitation\\_health/GDWQ/Chemicals/zincfull.htm](http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/GDWQ/Chemicals/zincfull.htm) (31.maj 2004)
- Zupan M. 1999. Vpliv emisij iz deponije žlindre na Javorniku na kvaliteto tal (poročilo), Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja. 20 str.