

Pregled nekaterih onesnaženih lokacij zaradi nekdanjega rudarjenja in metalurških dejavnosti v Sloveniji

An overview of some localities in Slovenia that became polluted due to past mining and metallurgic activities

Robert ŠAJN & Mateja GOSAR

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1001 Ljubljana, Slovenija
e-mail: robert.sajn@geo-zs.si, mateja.gosar@geo-zs.si

Ključne besede: geokemija, rudarjenje, metalurgija, težke kovine, onesnaženje, Slovenija
Key words: geochemistry, mining, smelting, heavy metals, pollution, Slovenia

Povzetek

Na ozemlju Slovenije se je rudarjenje začelo že v bronasti dobi. Od takrat naprej se je ta dejavnost odvijala s prekinitvami do današnjih dni. V okolju je pustila številne posledice.

Rezultate geokemičnih raziskav na vplivnih območjih nekdanjega rudarjenja in metalurgije, ki so bile opravljene na Geološkem zavodu Slovenije, smo na osnovi primerjalnih analiz ovrednotili in izločili ozemlja na katerih vsebnost vsaj ene zakonsko določene težke kovine (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Mo, Pb in Zn) presega uradne meje onesnaženosti.

Z raziskavo smo zajeli 466 km² površine na območjih Celja, Idrije, Jesenic in Mežice. Ta je pokazala, da so le na 7% celotne raziskane površine vsebnosti obravnavanih kovin pod zakonsko dovoljenimi koncentracijami. Na 18% raziskane površine vsebnosti težkih kovin presežejo uradno mejno vsebnost, na 59% omenjene vsebnosti presežejo opozorilno vsebnost ter na 16% (76 km²) raziskanih ozemelj kritično vsebnost težkih kovin v tleh.

Ugotovili smo, da rudarstvo in predelava rude v Sloveniji predstavljata enega od glavnih načinov antropogenega vnosa težkih kovin v okolje na proučevanih ozemljih.

Abstract

Mining in Slovenia started as far back as the Bronze Age. Since then, mining has been present in this region with only a few interruptions and has left many consequences.

The results of research conducted by the Geological Survey of Slovenia in areas of former mining and metallurgic activities were analysed, and areas in which the allowed concentrations of 10 officially considered heavy metals were exceeded (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Mo, Pb in Zn) were singled out.

The research area comprised 466 km² around the towns of Celje, Idrija, Jesenice and Mežica. The results have shown that the concentrations of the considered heavy metals didn't exceed the officially allowed concentrations in only 7 % of the research area. The concentrations of heavy metals in soils exceed the official limit concentration in 18 %, warning concentration in 59 %, and critical concentration in 16 % (76 km²) of the research area. We have established that, in Slovenia, mining and ore processing represents one of the major modes for anthropogenic input of heavy metals into the environment.

Uvod

Slovenija je območje zgodovinske rudarske in metalurške dejavnosti. Rudo na Slovenskem so začeli izkoriščati že v predrimskih časih. Največ je bilo železarstva, čeprav so rudo zbirali na površini ali kopali v manjših rudnikih. V srednjem veku (Češmiga, 1959), so začeli izkoriščati tudi velika kovinska rudišča, kot so Idrija, Mežica in Litiya. V sredini 19. stoletja sta rudarstvo in topilništvo v Sloveniji doživela razcvet. Poleg že prej omenjenih velikih rudnikov, je delovalo tudi veliko manjših. Razen železa so začeli v večjih količinah pridobivati barvne kovine - predvsem svinec, cink, živo srebro (od začetka 15. stoletja), baker in antimon. Na prehodu v 20. stoletje so se obdržali le največji rudniki (Češmiga, 1959; Budkovič et al., 2003). Ti so večinoma z manjšimi prekinitvami delovali do začetka osemdesetih let prejšnjega stoletja, ko so zaradi ekonomskih razlogov začeli postopoma zapirati kovinske rudnike in premogovnike v Sloveniji. Sprejeti so bili programi zapiralnih del za vsak rudnik (Bajželj, 2001). Tako so v preteklem desetletju skoraj vsi kovinski rudniki v Sloveniji prenehali s pridobivanjem kovin, zapiralna dela v nekaterih rudnikih pa še potekajo. Glede na naravo pridelovalnih postopkov so za njimi ostale številne avreole težkih kovin, katerih razsežnosti smo raziskovali.

Tla

Tla predstavljajo zgornji del zemeljske skorje, ki ga sestavljajo mineralni delci, organska snov, voda, zrak in živi organizmi (FitzPatric, 1986). Tla so ključnega pomena za življenje zaradi številnih okoljskih, ekonomskih, socialnih in kulturnih funkcij, kot je npr. pridelava hrane in druge biomase, shranjujejo, filtrirajo in transformirajo minerale, organsko snov, vodo in energijo ter raznolike kemične snovi.

Tla nastajajo ob preperevanju litosfere zaradi medsebojnega delovanja tlotvornih (pedogenetskih) dejavnikov, kot so matična podlaga, podnebje, relief, čas in organizmi.

Matična podlaga daje osnovno količino mineralnega gradiva, iz katerega sestojeta tla in vpliva na debelino, na fizikalne, mineralne in kemijske lastnosti ter na nadaljnjo

smer razvoja tal. Podnebje vpliva na razvoj tal s sončnim sevanjem in z dinamičnimi procesi v atmosferi, ki prenašajo vlago in toploto. Živi svet izmenjuje z matično podlago in s tlemi snovi in energijo in tako neposredno vpliva na razvoj tal. Relief vpliva na oblikovanje tal posredno s tem, da razpočenja po površini snovi in energijo. Premeščanje ali zadrževanje snovi na prvotnem mestu je odvisno od strmine pobočja. Relief vpliva tudi na debelino in vlažnost tal.

Na oblikovanje tal vpliva tudi **človek**. Neposredno z obdelovanjem, gradnjo infrastrukture in naselij, posredno pa s spreminjanjem reliefa, vodnega režima, rastlinstva in z **onesnaževanjem**, ki je lahko točkovno ali razpršeno. Tla imajo veliko puferno sposobnost, ki se nanaša tako na vodo, mineralne delce, pline, kot tudi na onesnažila, ki so lahko naravna ali okolju tuja, nastala s človekovo dejavnostjo. Puferna sposobnost tal pa ni neomejena in zato lahko določena onesnažila tudi presežejo zadrževalno oz. puferno sposobnost tal (FitzPatric, 1986). Naloga človeka je, da skrbi, da tla ne onesnažuje preko te meje.

Tla, kot vzorčno sredstvo za ugotavljanje onesnaženosti, so še posebno uporabna na ozemljih s slabo razvito ali povsem odsotno površinsko vodno mrežo (kraška ozemlja) (Pirc, 1993). Sledne prvine v tleh so prisotne v odpornih prvotnih mineralih, ki izhajajo z matične kamnine, v drugotnih, novonastalih mineralih, ter vezane na glinene minerale in organsko snov. Ker pa poleg geoloških in pedoloških značilnosti dajejo tudi informacijo o zračnih onesnaževalcih, so tla zelo uporabna in razširjeno vzorčno sredstvo.

Za kadmij (Cd), baker (Cu), nikelj (Ni), svinec (Pb), cink (Zn), krom (Cr), živo srebro (Hg), kobalt (Co), molibden (Mo) in arzen (As) so v Uredbi o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Ur. list RS 68/96) podane normativne vrednosti. **Mejna imisijska vrednost** je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni takšno obremenitev tal, da se zagotavljajo življenjske razmere za rastline in živali in pri kateri se ne poslabšuje kakovost podtalnice ter rodovitnost tal. Pri tej vrednosti so učinki ali vplivi na zdravje človeka ali okolje še sprejemljivi. Drugače povedano predstavlja **mejna imisijska vrednost** neke nevarne snovi v tleh maksimalno dopustno

mejo vsebnosti nevarne snovi do katere lahko smatramo, da so tla normalno rodovitna. Vsebnost nevarne snovi ne predstavlja tveganja za rastline, posredno pa ne tudi tveganja za živali, ljudi in okolje. **Opozorilna imisijska vrednost** je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni pri določenih vrstah rabe tal verjetnost škodljivih učinkov ali vplivov na zdravje človeka ali na okolje. **Kritična imisijska vrednost** je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih pre-

Tabela 1. Mejne, opozorilne in kritične vrednosti težkih kovin v tleh (Ur. list RS 68/96).

Table 1. Limit, warning and critical emission values of the contents of elements in soils (Ur. list RS 68/96).

kovina heavy metal	mejna vrednost limit value (mg/kg)	opozorilna vrednost warning value (mg/kg)	kritična vrednost critical value (mg/kg)
As	20	30	55
Cd	1	2	12
Co	20	50	240
Cr	100	150	380
Cu	60	100	300
Hg	0.8	2	10
Mo	10	40	200
Ni	50	70	210
Pb	85	100	530
Zn	200	300	720

hrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode (tabela 1).

Omenjeni normativi se nanašajo na celotne vsebnosti težkih kovin v tleh, ni pa upoštevana mineralna sestava oz. zvrst kemične oblike, od katere je odvisna dostopnost posamezne težke kovine za rastline ter posredno njihov vpliv na zdravje ljudi in živali.

Številne geokemične raziskave, ki jih izvajamo na Geološkem zavodu Slovenije, so namenjene raziskavam okolja in ugotavljanju njegove obremenitve s težkimi kovinami, ki so posledica različnih dejavnikov - od vpliva naravnih procesov do človekove dejavnosti. Naravno okolje je samo po sebi geokemično neenotno. Visoke vsebnosti težkih kovin, predvsem kadmija, svinca in živega srebra so lahko posledica naravnih danosti (orudene kamnine) ali so nastale v kombinaciji s človekovim vplivom zaradi večstoletnega rudarjenja (Idrija, Mežica), metalurške

dejavnosti in različnih industrij (Jesenice, Mežica, Celje), emisij prometa, izgorevanja fosilnih goriv ter vpliva gospodinjstev (Celje).

V prispevku predstavljamo rezultate raziskav, ki smo jih v zadnjih letih opravili na območjih, kjer smo pričakovali močne vplive na okolje zaradi nekdanjega delovanja kovinskih rudnikov, metalurške in železarske industrije.

Materiali in metode dela

Kot izhodišče raziskave smo uporabili analizne vsebnosti vzorcev zgornjega sloja tal z območij Celja (Šajn, 2001), Idrije (Gosar & Šajn, 2001; Gosar & Šajn, 2003), Jesenic (Šajn et al., 1999) in Mežice (Šajn, 2002). V dosedanjih študijah smo z raziskavami zajeli približno 466 km² površine na območjih Celja (92 km²), Idrije (160 km²), Jesenic (113 km²) in Mežice (101 km²). Na teh območjih smo odvzeli skupno 480 vzorcev tal. Vzorčenje in priprava vzorcev je opravljena po že uveljavljeni metodologiji (Šajn, 1999; 2001).

Vsi zbrani vzorci so bili analizirani v laboratoriju ACME v Kanadi s plazemsko emisijsko spektrometrijo (ICP) na As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb in Zn po štirikislinskem razklopu (HClO₄, HNO₃, HCl in HF), ki je potekal pri temperaturi 200°C. Vsebnosti Hg so bile po razklopu z zlatotopko določene z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS), po postopku hladnega izparevanja.

Pri izračunih smo upoštevali vsebnosti, določene po celotnem štirikislinskem postopku, z izjemo vsebnosti živega srebra, katere so bile določene po izluževanju z zlatotopko. Za ostale obravnavane težke kovine smo v prejšnjih raziskavah (Šajn & Gosar, 2003) pokazali, da ni bistvenih razlik med vsebnostjo omenjenih težkih kovin, ugotovljenih po izluževanju z zlatotopko ali po štirikislinskem razkroju vzorcev. Antropogeno vnesene kemične prvine so verjetno vezane predvsem na površino mineralov glin ali na organsko snov. Razlike se pojavijo pri prvinah, vezanih v strukturo mineralov, kar je razumljivo, saj štirikislinski razkroj, ki je bolj agresiven, sprosti tudi bolj trdno vezane prvine.

V postopku izdelave kart onesnaženja smo uporabili interpolacijsko metodo univerzal-

nega krigiranja z linearnim variogramom (Perišić, 1983; Davis, 1986). Analize vsebnosti prvin smo interpolirali v osnovni celici 200 x 200 m. V izračunih smo upoštevali, da območje pripada v določen razred onesnaženosti, če le ena od 10-tih zakonsko določenih prvin preseže prag razreda (tabela 1).

Obdelavo podatkov in izdelavo grafike smo opravili z različnimi izvedbami računalniških programov Paradox 11, Statistica 6, Surfer 8 in Acad 14.

Rezultati raziskav

Raziskava je pokazala, da je le 7 % celotne raziskane površine (466 km²) uradno neonesnažene (Ur. list RS 68/96). Na 18 % raziskane površine vsebnosti težkih kovin presežejo uradno mejno vsebnost, na 59 % omenjene vsebnosti presežejo opozorilno vsebnost in na 16 % raziskanih ozemelj kritično dopuščeno vsebnost težkih kovin v tleh (tabela 2, slika 1).

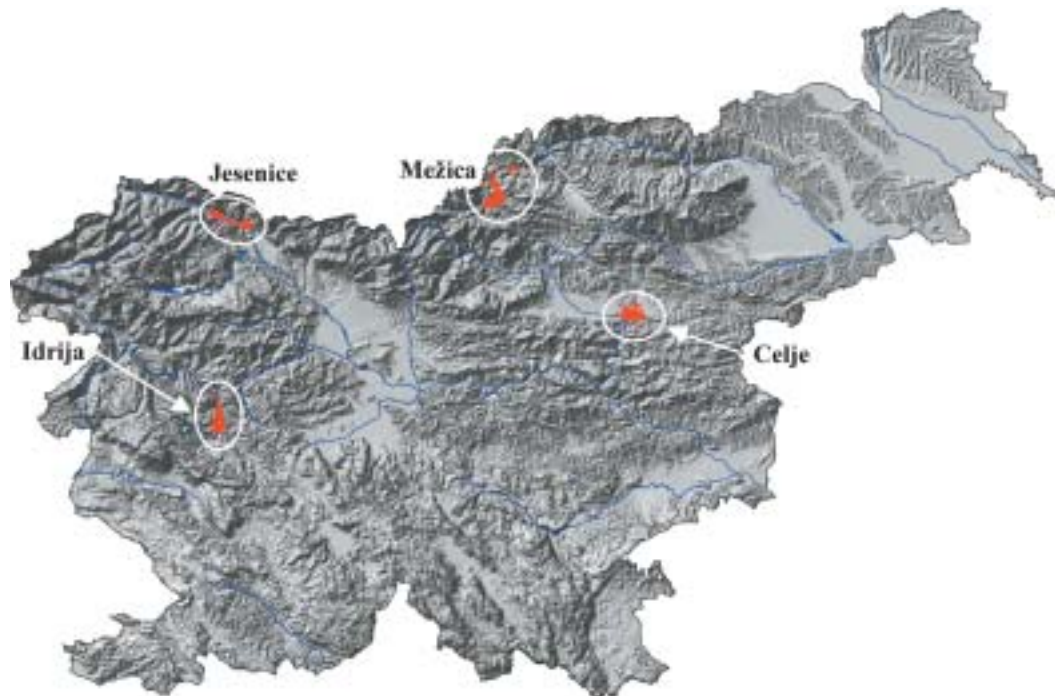
Tabela 2. Pregled mejno, opozorilno in kritično onesnaženih ozemelj (km²).

Table 2. Summary of limit, warning and critically polluted areas (km²).

območje area	raziskano ozemlje researched area (km ²)	mejna vsebnost limit value (km ²)	opozorilna vsebnost warning value (km ²)	kritična vsebnost critical value (km ²)
Celje	92.4	21.5	50.5	17.7
Idrija	160.0	47.2	65.1	21.0
Jesenice	113.0	2.7	97.1	13.2
Mežica	101.0	11.4	62.9	24.4
Skupaj (km²) Total (km ²)	466.4	82.8	275.6	76.3

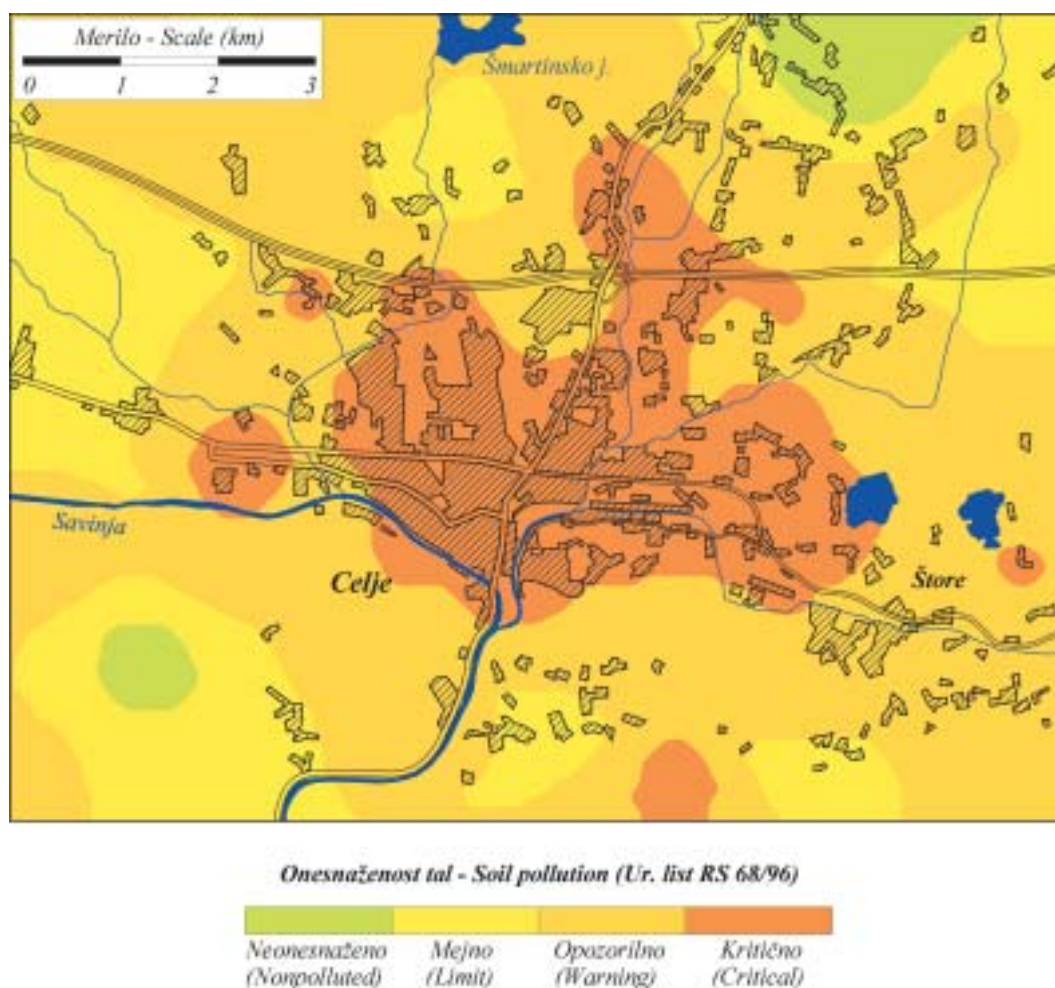
Onesnaženost tal v okolici Celja

Na celjskem območju smo leta 2000 preučevali vpliv metalurške dejavnosti na porazdelitev težkih kovin v okolju. Na osnovi Tematske karte onesnaženosti zemljišč celjske občine (Lobnik et al., 1989) smo izločili območje 92,4 km², z mestom v sredini. Celotno ozemlje smo obdelali s 97 vzorci tal (Šajn, 2001).



Slika 1. Raziskana območja in kritično onesnažena tla, ki so posledica rudarjenja in topilništva.

Fig. 1. Researched areas and critically polluted soil, which are consequence of mining and smelting.



Slika 2. Območja mejno, opozorilno in kritično onesnaženih tal na celjskem ozemlju.

Fig. 2. Spatial distribution of limit, warning and critically polluted soil in Celje.

Ugotovili smo, da je večina raziskanega ozemlja onesnažena s težkimi kovinami. Na 72 km² površine vsebnosti težkih kovin presežejo mejno ali opozorilno vrednost. Kritično je onesnaženih 17,7 km² (tabela 2). Območje kritično onesnaženih tal zajema urbano cono Celja skoraj v celoti (slika 2). Na kritično onesnaženem območju Celja izstopajo zlasti visoke vsebnosti cinka (Zn) in kadmija (Cd). Povprečna vsebnost Zn znaša 1185 mg/kg (598 - 8573 mg/kg) in preseže slovensko povprečje (Šajn, 2003) za 9,6-krat. Povprečje Cd znaša 6,1 mg/kg (1,5 - 59 mg/kg). Slovensko povprečje preseže za skoraj 12-krat (tabela 3).

Glavni vzrok onesnaženosti tal je bila predelava sfaleritanega koncentrata v obratih Cinkarne Celje od leta 1873 do 1970. Ne smemo pa zanemariti vpliva Železarn Štore, saj njene današnje emisije obsegajo tudi cink, kadmij ter svinec. Ker v železarni uporabljajo čistilno napravo, so današnji vplivi na okolje majhni (Stergar, 2000). Izvor ostalih prvin je najverjetneje posledica delovanja drobnih kurišč in prometa, kar sklepamo glede na razporeditev teh prvin v podstrešnem prahu in v tleh (Žibret, 2002).

Onesnaženost tal v okolici Idrije

Na območju Idrije in bližnje okolice smo raziskovali vpliv rudarjenja in naravnih danosti na obremenjenost okolja z živim srebrom (Gosar & Šajn, 2001; 2003). Po več kot 500 letih pridobivanja živega srebra so v letu 1995 v Idriji dokončno prenehali z delom. V celotni zgodovini rudnika so izkopali približno 12.760.700 t rude (Mlakar, 1974), ki je vsebovala nekaj manj kot 145.000 t živega srebra, iz rude pa so pridobili približno 107.500 t živega srebra. Ocenili so, da je razlika (44.500 t Hg) med procesom pridobivanja izgubljena v okolju (Dizdarevič, 2001).

Na podlagi podatkov raziskave porazdelitve živega srebra v okolici Idrije (Gosar & Šajn, 2001; 2003), smo določili ozemlja, kjer vsebnosti živega srebra presegajo zakonsko določene normative.

Z odvzemom 118 vzorcev tal smo zajeli 160 km² ozemlja Idrije in njene okolice ter ugotovili, da na ozemlju velikem 112 km² vsebnosti težkih kovin v tleh presegajo mejne oz. opozorilne vrednosti za tla. 21 km² ozemlja je kritično onesnaženega (tabela 2, slika 3). Povprečna vsebnost živega srebra na kritično onesnaženem območju znaša 20 mg/kg in preseže slovensko povprečje (Šajn, 2003) za več kot 300-krat (tabela 3).

Prostorska razporeditev kritično onesnaženega območja je močno odvisna od morfologije ozemlja. Najvišje vsebnosti smo ugotovili v samem centru Idrije, nadalje v dolini reke Idrijce in ob vznožju vzpetin, nižje vsebnosti pa na višjih delih in na obrobju obravnavanega ozemlja (slika 3).

Onesnaženost tal v okolici Jesenic

Na območju Jesenic, mesta z okrog 20.000 prebivalci, smo preučevali vpliv večstoletne železarske aktivnosti v ozki alpski dolini. Na tem območju so sicer potekale številne raziskave onesnaženja zaradi ugotavljanja posledic emisij iz jeklarne, ni pa bila znana dediščina večstoletnega onesnaževanja oziroma njen vpliv na splošne geokemične lastnosti pokrajine. V letu 1994 smo začeli sistematično raziskovati tla z vzorčenjem posameznih horizontov v talnih profilih. Na raziskanem območju (113 km²) smo na 44 izbranih lokacijah odvzeli 122 vzorcev talnih horizontov (Šajn et al., 1999).

Na raziskanem območju sploh nismo ugotovili neonesnaženih tal. Zakonsko določeno mejno oz. opozorilno vrednost presežejo vsebnosti v tleh na 67,8 km², kritično pa je onesnaženih 13,2 km² (tabela 2). Območje kritično onesnaženih tal se vleče v 2 do 4 km

Tabela 3. Mediane in razponi (v mg/kg) porazdelitve težkih kovin v Sloveniji in na obravnavanih območjih.

Table 3. Medians and ranges of heavy elements (mg/kg) in Slovenia and in researched areas.

Prv. Ele.	Slovenija		Celje		Idrija		Jesenice		Mežica	
	Md	(min-max)	Md	(min-max)	Md	(min-max)	Md	(min-max)	Md	(min-max)
As	15	(6.0 - 37)	21	(11 - 91)	21	(7.6 - 103)	22	(7.1 - 76)	20	(8.3 - 387)
Cd	0.52	(0.15 - 2.0)	6.1	(1.5 - 59)	0.68	(0.11 - 4.6)	3.7	(2.1 - 8.7)	6.2	(1.4 - 71)
Co	16	(5.5 - 33)	11	(5.8 - 33)	13	(6.3 - 65)	-	-	11	(2.2 - 32)
Cr	85	(31 - 143)	72	(37 - 128)	68	(45 - 178)	79	(27 - 164)	40	(12 - 170)
Cu	35	(18 - 165)	61	(29 - 1747)	31	(18 - 241)	51	(26 - 96)	71	(24 - 552)
Hg	0.066	(0.010 - 0.25)	0.20	(0.074 - 1.4)	20	(0.68 - 973)	1.3	(0.42 - 2.5)	0.21	(0.070 - 1.2)
Mo	0.92	(0.30 - 12)	2.0	(0.81 - 6.5)	2.3	(0.63 - 15)	-	-	5.2	(1.4 - 287)
Ni	47	(10 - 131)	36	(15 - 85)	32	(19 - 82)	40	(12 - 85)	32	(7.6 - 133)
Pb	42	(20 - 87)	261	(128 - 1508)	61	(46 - 1230)	655	(328 - 1866)	878	(216 - 27122)
Zn	124	(75 - 215)	1185	(598 - 8573)	134	(82 - 632)	708	(375 - 1480)	854	(278 - 4157)

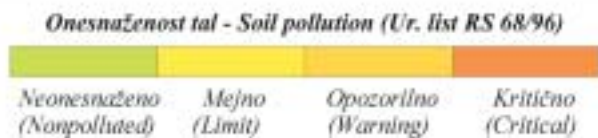
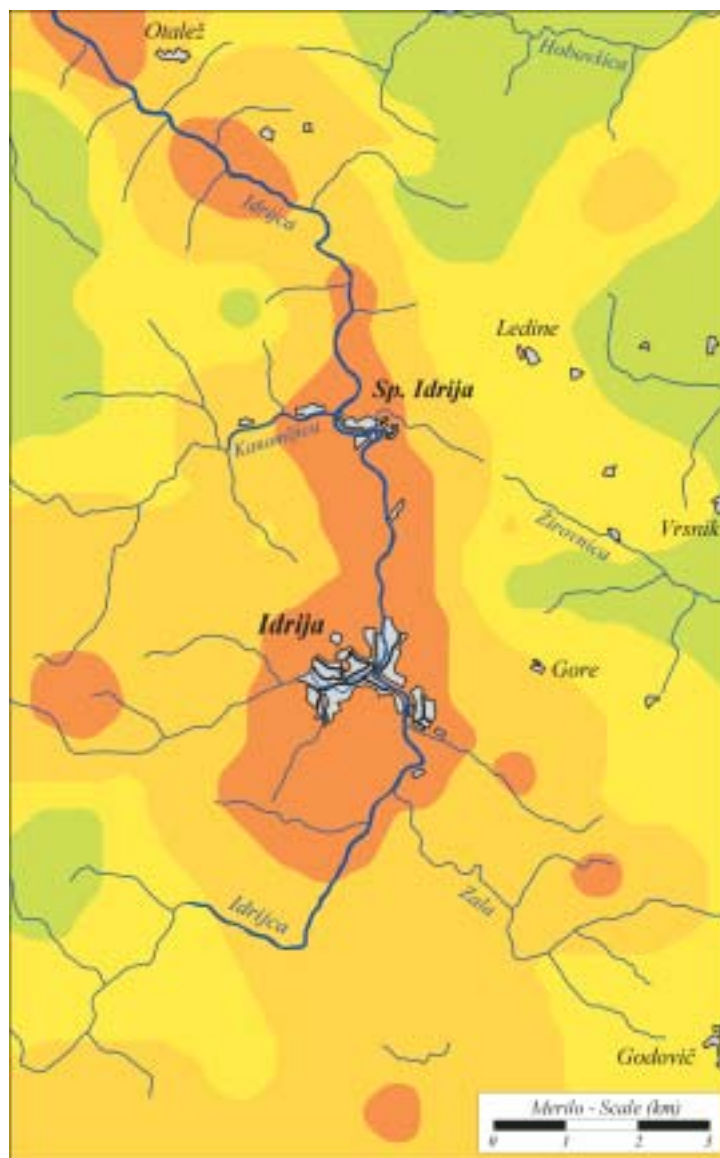
Slovenija - Povprečje in razponi vzorcev tal (0-5 cm); Averages and ranges of soil samples (0-5 cm); n=59; (Šajn, 2003)

Celje - Ocenjene mediane in razponi težkih kovin v tleh (0-5 cm) na kritično onesnaženem celjskem območju (17.7 km²); Estimated medians and ranges of heavy metals in soil (0-5 cm) from Celje critically polluted area (17.7 km²).

Idrija - Ocenjene mediane in razponi težkih kovin v tleh (0-15 cm) na kritično onesnaženem idrskem območju (21 km²); Estimated medians and ranges of heavy metals in soil (0-15 cm) from Idrija critically polluted area (21 km²).

Jesenice - Povprečja in razponi težkih kovin v vrhnji talni plasti na kritično onesnaženem jeseniškem območju (13.2 km²); Estimated medians and ranges of heavy metals in topsoil from Jesenice critically polluted area (13.2 km²).

Mežica - Ocenjene mediane in razponi težkih kovin v tleh (0-5 cm) na kritično onesnaženem območju mežiške doline (24.4 km²); Estimated medians and ranges of heavy metals in soil (0-5 cm) from Meža valley critically polluted area (24.4 km²).



Slika 3. Območja mejno, opozorilno in kritično onesnaženih tal na idrijskem ozemlju.

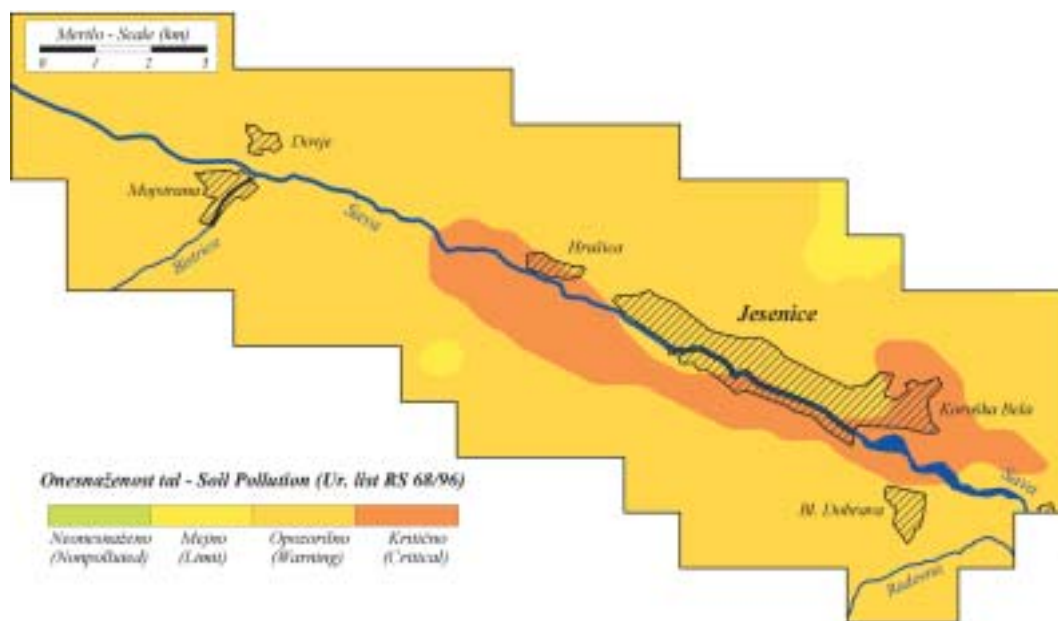
Fig. 3. Spatial distribution of limit, warning and critically polluted soil in Idrija area.

širokem pasu vzdolž celotne doline Save. Na območju Mojstrane, kjer se dolina razširi, je obremenjenost nekoliko manjša (slika 4).

Iz tabele 3 je razvidno, da na kritično onesnaženem območju izstopajo visoke vsebnosti Cd, Hg, Pb in Zn. Najvišjo obogatitev glede na slovensko povprečje (Šajn, 2003)

kažeta Hg (19,7-krat) in Pb (15,6 krat) sledijo Cd (7,1 krat) in Zn (5,7 krat).

Iz rezultatov raziskav sklepamo, da je največji delež onesnaženja prispevala jeseniška železarska industrija. Velik delež pa lahko pripišemo lokalnim razmeram, vplivom prometa in drobnih kurišč. Tudi zelo neugodne



Slika 4. Območja mejno, opozorilno in kritično onesnaženih tal na jeseniškem ozemlju.

Fig. 4. Spatial distribution of limit, warning and critically polluted soil in Jesenice area.

klimatske razmere na tem območju (ozka alpska dolina in lokalna vetrova, ki pihata vzdolž doline) so vplivale na razširjanje onesnaženosti.

Onesnaženost tal v okolici Mežice

V Mežiški dolini smo preučevali porazdelitev vsebnosti težkih kovin v tleh, ki so posledica 300 letnega rudarjenja in predelave svinčeve rude. V letu 2000 smo na območju 101 km² ozemlja, ki se vleče od Črne pa do Raven na Koroškem in zajema skoraj celotno dolino reke Meže v pasu širokem 6 km, odvzeli 115 vzorcev tal (Šajn, 2002). Na raziskanem ozemlju živi okrog 23.000 prebivalcev, kar predstavlja skoraj 90% celotnega prebivalstva štirih koroških občin, ki jih je raziskava zajela.

Ugotovili smo, da je večina raziskanega ozemlja onesnažena s težkimi kovinami. Na 74 km² površine vsebnosti težkih kovin presežejo zakonsko določeno mejno oz. opozorilno vrednost. Kritično je onesnaženih 24,4 km² ozemlja (tabela 2). To zajema celoten zgornji del Mežiške doline, predvsem okolico Črne na Koroškem in Žerjav. Pas kritično

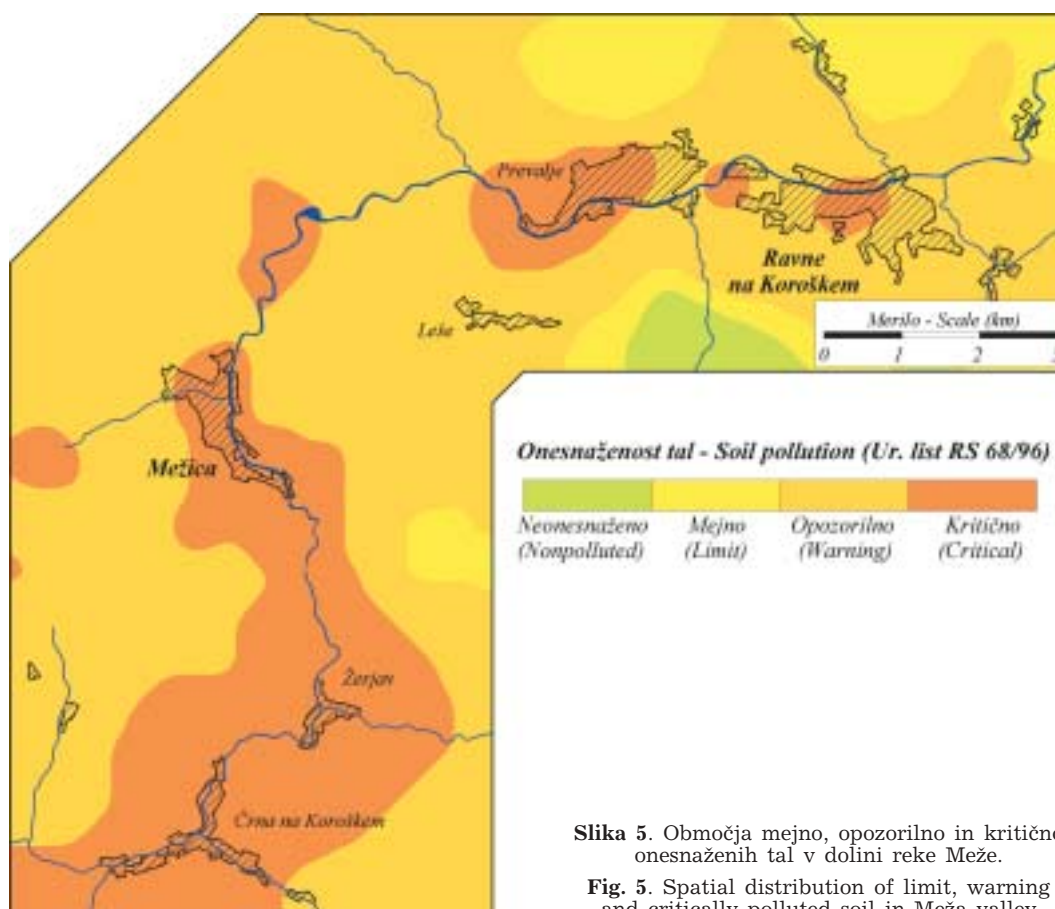
onesnaženih tal se nadalje s prekinitvami vleče vzdolž reke Meže vse do Raven na Koroškem (slika 5).

Na kritično onesnaženem območju Mežiške doline izstopajo zlasti visoke vsebnosti svinca (Pb) in kadmija (Cd). Povprečna vsebnost Pb znaša 878 mg/kg (216 - 27122 mg/kg) in preseže slovensko povprečje (Šajn, 2003) za več kot 20-krat. Povprečje Cd je 6,2 mg/kg (1,4 - 71 mg/kg) ter preseže slovensko povprečje za skoraj 12-krat (tabela 3).

Glavni vzrok onesnaženosti tal sta rudarjenje na območju Mežice in predelava svinčeve rude v Žerjavu, ki je potekala skoraj 300 let. Ne smemo pa zanemariti vpliva železarske industrije, ki se je prvotno razvila na območju Prevalj in kasneje na Ravnah na Koroškem. Vplivi prometa in drobnih kurišč so na območju Mežiške doline drugotnega pomena.

Zaključek

Z raziskavami smo ugotovili, da predstavljata rudarjenje in predelava rude na Slovenskem najpomembnejši način antropogene vnosa težkih kovin v okolje. Visoke vsebnosti težkih kovin v tleh so lahko, na



Slika 5. Območja mejno, opozorilno in kritično onesnaženih tal v dolini reke Meže.

Fig. 5. Spatial distribution of limit, warning and critically polluted soil in Meža valley

območjih kjer izdajajo rudonosne kamnine, tudi posledica naravnih danosti. Nadalje so za okolje pomembni viri težkih kovin tudi metalurška dejavnost, raznovrstna industrija, promet, energetski objekti z izgorevanjem ter številna gospodinjstva (Ljubljana).

Ugotovili smo, da je le 7% celotne raziskane površine, po veljavni zakonodaji, neonesnažene. Večina raziskanega ozemlja je onesnažena nad uradno mejno vrednostjo težkih kovin v tleh, okrog 76 km² obravnavanega ozemlja pa je kritično onesnaženih (Ur. list RS 68/96).

Preučevanje obremenjenosti tal s težkimi kovinami smo do sedaj opravili le na območjih treh večjih rudnikov in predelovalnih obratov barvnih kovin (Idrija, Mežica in Celje) ter v okolici treh še delujočih jeklarn (Jesenice, Ravne na Koroškem in Štore). V preteklih obdobjih je v Sloveniji delovalo 49

rudnikov barvnih kovin, 25 predelovalnih obratov le-teh ter 33 železarn (Budkovič et al., 2003). O vplivih manjših rudnikov in predelovalnih obratov na okolje je znanega zelo malo. Po dosedanjih izkušnjah lahko tudi v njihovi okolici pričakujemo visoke vsebnosti težkih kovin v okolju. Avreole onesnaženja v njihovi okolici so verjetno sorazmerno manjše, glede na velikost posamičnega objekta.

Bodoče geokemične raziskave nameravamo usmeriti v okolico manjših opuščenih rudnikov, metalurških obratov ter pripadajočih odlagališč rudniške jalovine ali topilniških žlinder. Cilj teh raziskav bo ocena predcivilizacijskega stanja kemičnih lastnosti geološkega okolja ter antropogene obremenitve, ki je posledica rudarstva in predelave mineralnih surovin. Obenem bomo poskušali tudi mineraloško opredeliti one-

snaženje, predvsem tisto, ki je povzročeno z delovanjem metalurgije.

Literatura

- Bajželj, U. 2001: Environmentally friendly closure of mines - Slovenian experiences = Okolju prijazno zapiranje rudnikov - slovenske izkušnje. *RMZ - Materials and Geoenvironment*, 48/2, 261-280, Ljubljana.
- Budkovič, T., Šajn, R. & Gosar, M. 2003: Vpliv delujočih in opuščanih rudnikov kovin in topilniških obratov na okolje v Sloveniji. - *Geologija*, 46/1, 135-140, Ljubljana.
- Cešmiga, I. 1959: Rudarstvo LR Slovenije. Nova proizvodnja, 267 str., Ljubljana.
- Davis, J. C. 1986: *Statistic and data analysis in geology*. - Wiley & Sons, 651 pp., New York.
- Dizdarevič, T. 2001: The influence of mercury production in Idrija mine on the environment in the Idrija region and over a broad area. - *RMZ - Materials and Geoenvironment*, 48/1, 56-64, Ljubljana.
- FitzPatrick, E. A. 1986: *An introduction to soil science*. - Longman scientific & Technical, 254 pp., Aberdeen.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2001: Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia). - *Geologija*, 44, 137-159, Ljubljana.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2003: Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia. - *Journal de Physique IV*, 107, 561-565.
- Lobnik, F., Medved, M., Lapajne, S., Brumen, S., Žerjal, E., Vončina, E., Štajnbaher, D. & Štancer, A. 1989: Tematska karta onesnaženosti zemljišč celjske občine. - *VTOZD za agronomijo*, BF, Univerza v Ljubljani, 159 str., Ljubljana.
- Mlakar, I. 1974: Osnovni parametri proizvodnje rudnika Idrija skozi stoletja do danes. - *Idrijski razgledi*, XIX/3-4, 1-40, Idrija.
- Perišić, M. 1983: *Primenjena geostatistika* (knjigi 1 in 2). - Rudarski institut Beograd, 534 str., Beograd.
- Pirc, S. 1993: *Regional geochemical surveys of carbonate rocks; Final report; USG Project Number: JF 881-0*. - Poročilo, Knjižnica Odseka za geologijo, NTF, 30 str., Ljubljana.
- Štergar, A. V. 2001: *Sanacijski ekološki program Inexe Štore*. - Inexa Celje, 16 str., Celje.
- Šajn, R. 1999: Geokemične lastnosti urbanih sedimentov na ozemlju Slovenije. - *Geološki zavod Slovenije*, 136 str., Ljubljana.
- Šajn, R. 2001: Geokemične raziskave tal in podstrešnega prahu na območju Celja. - *Geologija* 44/2, 351-362., Ljubljana.
- Šajn, R. 2002: Vpliv rudarjenja in metalurške dejavnosti na kemično sestavo tal in podstrešnega prahu v Mežiški dolini. - *Geologija* 45/2, 547-552, Ljubljana.
- Šajn, R. 2003: Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. *Journal de Physique*, 107, 1173-1176.
- Šajn, R., Bidovec, M., Gosar, M. & , S. 1999: Geochemical soil survey at Jesenice area, Slovenia. - *Geologija*, 41, 319-338, Ljubljana.
- Šajn, R. & Gosar, M. 2003: Primerjava določitev vsebnosti kemičnih prvin v tleh in podstrešnem prahu po pripravi z različnima kislin-skima postopkoma. - *Geologija* 46/2, 273-280, Ljubljana.
- Uradni list RS, 1996: Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. - *Uradni list*, 68, 5773-5774, Ljubljana.
- Žibret, G. 2002: Geokemične lastnosti tal in podstrešnega prahu na območju Celja. - *Diplomsko delo*, Knjižnica Odseka za geologijo, NTF, 78 str., Ljubljana.