

Onesnaženost tal v okolici Litije kot posledica rudarskih in metalurških dejavnosti ter naravnih danosti

Soil pollution in surroundings of Litija as a reflection of mining, metallurgy and natural conditions

Robert ŠAJN & Mateja GOSAR

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

Ključne besede: geokemija, rudarjenje, metalurgija, težke kovine, onesnaženje, Litija, Slovenija

Key words: geochemistry, mining, smelting, heavy metals, pollution, Litija, Slovenia

Izvleček

Na območju Litije in bližnje okolice smo raziskovali vplive rudarjenja in naravnih danosti na stanje obremenjenosti okolja s težkimi kovinami. Z vzorčenjem smo zajeli 30 km². Na 120-tih enakomerno porazdeljenih lokacijah smo vzorčili tla v dveh globinah: od 0 do 5 cm (A talni horizont) in od 15 do 30 cm (B talni horizont).

Na celotnem raziskanem ozemlju je v zgornjem talnem horizontu mejna vsebnost kate-rekoli od zakonsko obravnavanih težkih kovin presežena na 24 km², opozorilna na 20 km² ter kritična na 1,6 km². Obremenjenost spodnjega talnega horizonta je nekoliko manjša. Najbolj so povišane vsebnosti svina, živega srebra in arzena. Območje povišanih vsebnosti zajema hrib Sitarjevec in v njegovem vznožju lokalnost Podsitarjevec, kjer je odlagališče jalovine in metalurških žlinder. Povišane vsebnosti obravnavanih težkih kovin smo ugotovili tudi v neposredni bližini nekdanje topilnice.

Abstract

The influence of mining and metallurgic activities as well as natural conditions on heavy metal pollution in Litija and surroundings was defined. Sampling grid in an area of 30 km² was determined. Soil samples were collected on 120 equally distributed locations in two different depths: horizon A (0–5cm) and horizon B (20–30cm).

In total researched area concentrations of considered elements in upper soil horizon exceed the official limit concentration on 24 km², warning concentration on 20 km² and critical concentration on 1.6 km². Pollution of bottom soil horizon is several times lower. The highest are contents of lead, mercury and arsenic. Areas of enhanced concentrations include a hill Sitarjevec and hill base Podsitarjevec, where the dumps of mining waste and metallurgic slag are situated. Increased concentrations of heavy metals were determined also in the immediate vicinity of former smelter.

Uvod

V Litijskem rudnem polju, natančneje med naseljema štangarske Poljane na zahodu in Mamolj na vzhodu, so v deset kilometrov dolgem pasu od nekdanj rudarili na številnih lokacijah. Gre za svinčeva, cinkova

in baritna rudišča, od katerih so največja Sitarjevec, Zavrstnik, Zagorica in Maljek. Rudarstvo se je na tem območju začelo že zelo zgodaj. Domnevajo, da so v Litiji rudarili že Kelti, vendar za to ni trdnih dokazov. Najdišča žlindre v neposredni bližini Litije pričajo o rudarjenju v rimskih časih.

Od srednjega veka pa vse do leta 1965 so z manjšimi prekinitvami na tem območju pridobivali svinec, cink, živo srebro, srebro, železo in barit.

Kljub temu da je rudarstvo v okolici Litije pred več desetletji zamrlo, so številni sledovi rudarjenja v okolju še opazni. Najdemo številne vhode v opuščene rudnike, deponije siromašne rude, prikamnine in žlindre, zavedamo se ogroženosti zaradi možnosti izbruhov ujete rudniške vode v zapuščenem rudniku Sitarjevec in kislih izcednih vod, ki odteka iz rudnika.

Ugotavljanje obremenjenosti okolja s težkimi kovinami v Litiji in okolici smo obravnavali v zadnjih letih v več vzporednih raziskavah. Vsebnosti v podstrešnem prahu in v tleh na vrtovih vzorčevanih hiš je v diplomskem delu obravnavala M. Jemec (2006). Ugotavljanje porazdelitve težkih kovin v tleh v okolici teh polimetalnih rudnikov pa je bila naloga raziskave, ki jo predstavljamo v tem prispevku.

Opis raziskanega ozemlja

Geografski opis raziskovanega ozemlja

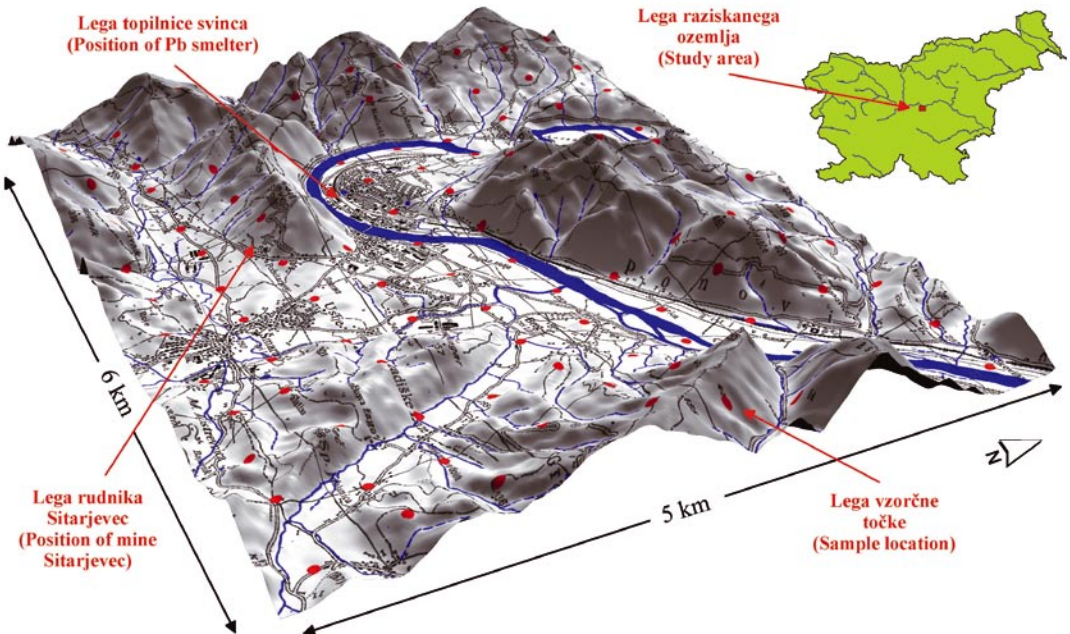
Dolina Save je v zgornjem Zasavju vrezana v alpski smeri, prečnih naravnih pre-

hodov ni. Sava naredi pri Litiji največji ovinek na vsej svoji poti skozi Posavsko hribovje. Ob tem zavojju je nekaj več ravnega sveta, ki se nadaljuje še ob spodnjem toku Reke do Šmartnega pri Litiji. Sava je na območju Litije s svojo erozijo ustvarila širše dolinsko dno z nekaj terasami in deli Litijo na dva dela; starejši del se nahaja na desnem bregu reke Save ob vznožju Sitarjevca, novejši del pa je na levem rečnem bregu, na območju Gradca in Graške Dobrave. Vzhodno od Litije se razprostira obsežno rodovitno Litijsko polje vse do izliva potoka Reke v Savo.

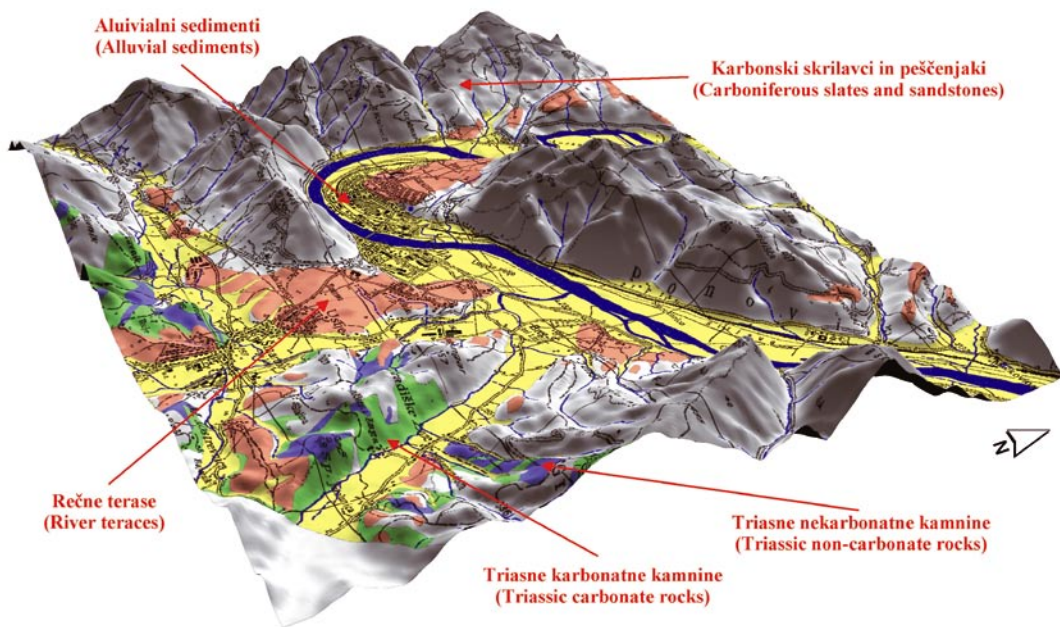
Obravnavali smo ozemlje, ki je veliko 6 x 5 km (slika 1). Na raziskovalnem ozemlju so bolj ali manj strnjena naselja in vasi, ponekod so tudi samotni zaselki. Največ površin se uporablja v kmetijski obdelovalne namene ter vrtove, veliko površine, kot na primer hrib Sitarjevec, pa prekriva mešani gozd.

Geološki opis ozemlja

Geološka zgradba ozemlja povzema po Mlakarju (1994) in delno tudi po Osnovni geološki karti lista Ljubljana, v merilu 1: 100.000 (Premru, 1982) (slika 2).



Slika 1. Lega raziskanega ozemlja z lokacijami vzorčenja
Figure 1. Location of study area with sampling locations



Slika 2. Pregledna geološka karta raziskanega ozemlja
Figure 2. Generalized geological map of study area

Širše ozemlje Litije pripada litijskemu antiklinoriju. Narivi, prelomi in tektonske drse kažejo na premikanje od severa proti jugu. Na območju Litije so tri tektonske enote, in sicer: Litijska antiklinala, na katero sta narinjena Litijski in Dolski nariv.

Najstarejše kamnine so karbonske in permske starosti. Predstavljajo jih glinavci, muljevci, meljevci, kremenovi peščenjaki in konglomerati. Izdanjajo na večjem delu raziskovanega ozemlja. Nahajajo se na severnem obrobju litijsko-šmarskega ozemlja, v coni štangarske Poljane–Kepa–Zavrstnik, vzdolž Berečanovega in Bedenovega grabna, Dragarjevi dolini in Maljeku. Karbonske plasti peščenjakov z vložki temnosivega glinavca ali konglomerata so na zahodnem območju Litije in Šmartnega, na Sitarjevcu, na Velikem Vrhu, ob Ponoviškem prelomu, na območju hriba Cvingar, Slatna, Ojstermanovem hribu, na območju Zagorice, predelu vzhodno od Tenetiš ter na območju Gradiških Laz.

V zgornje karbonskih kamninah so našli rastlinske ostanke zahodno od Zavrstnika. Le-ti imajo pomembno vlogo pri interpretaciji nastanka kamnin (Kolar-Jurkovšek & Jurkovšek, 1986).

Mezozojski skladi se začnejo s skitskimi kamninami. Največ je rdečkastega do

rumenkastega in ploščastega dolomita, ki ponekod vsebuje oolitne leče, peščenjake, glinavce in meljavce. Te plasti se nahajajo na območju Šmartnega, Grmač, Poščavnika, na grebenu južno od Dragarjeve doline, na vmesnem prostoru med Jablaniškim potokom in Reko ter na Pajkovem hribu. Anizijske in ladinijske plasti dolomita, tufa in tufta izdanjajo jugozahodno od Šmartnega pri Litiji. Ladinijske plasti se nahajajo jugozahodno od Šmartnega, na grebenu Tičnica–Grmače, kjer je dolomit s posameznimi polami črnega roženca ter sivo zelene tufe in tuftite z rožencem. Tuftske kamnine z rožencem leže neposredno na skitskih skladih (Pajkov hrib, Slatna, Pašava, Roje) in predstavljajo majhne izdanke (Mlakar, 1994).

Najmlajše kamnine na litijskem ozemlju predstavljajo kvartarne usedline, ki jih delimo v starejši in mlajši zasip. V starejši zasip uvrščamo usedline iz gline in ilovice s prodniki ali gruščem ter ostanki wurmskih postglacialnih sedimentov. Izdanjajo na območju mesta Litije, naselij Tenetiš in Šmartno, v coni Ježa–Grbin–Šmarska Dobrava–Zavrstnik in predelu jugovzhodno od Gradiških Laz. Mlajši zasip, iz proda in peska, najdemo vzdolž reke Save med Kresniškimi Poljanami in Litijo, okoli pritokov Reka, črnega potoka ter Jablaniški potok,

na območju Grmač in Zavrstnika ter Kostrevniški dolini. Ponekod se je na pobočjih nakopičil tudi grušč, ki zavzema večji obseg le na severnih pobočjih Sitarjevca, na Poščavniku in Tičnici, Ojstermanovem hribu in špilju (Mlakar, 1994).

Tla na obravnavanem območju

Na obravnavanem ozemlju prevladujejo klastiti karbonske in permske starosti. Na tej matični osnovi se prepletajo distrična rjava tla in distrični ranker. Distrični ranker se pojavlja le mestoma, večinoma na strmih pobočjih, kjer erozija preprečuje nadaljnji razvoj. Po svojih značilnostih je podoben rendzini (A–C profil). Distrična rjava tla predstavljajo razvitejši stadij tal na nekarbonatnih kamninah. So že globlja in večinoma so porasla z gozdom, na nekaterih platojih pa jih izkoriščajo za travnike, pašnike in tudi za njive. Zgradba profila je A–(B)–C. Gre predvsem za gozdna tla, ki jih le poredkoma izkoriščajo za kmetijstvo (Škorić, 1977).

Na karbonatnih fluvio-glacialnih prodnih zasipih ter dolomitih in apnencih se pojavljata rendzina (A–C profil) in evtrična oziroma pokarbonatna rjava tla (A–(B)–C profil). Zaradi valovitega reliefa, vrtač in kotanj, je globina pokarbonatnih tal različna (Stritar, 1990).

Med obrečna tla na peščeno-prodnatem aluviju spadajo tla na sipkemrodu Save. Neposredno ob vodotoku so sipine in prodišča. Prodiščem sledijo v notranjosti plitva, vendar že utrjena obrečna tla. Na starejših rečnih nanosih brez vpliva podtalnice so razvita evtrična rjava tla.

Rudnik Sitarjevec in topilnica svinca Litija

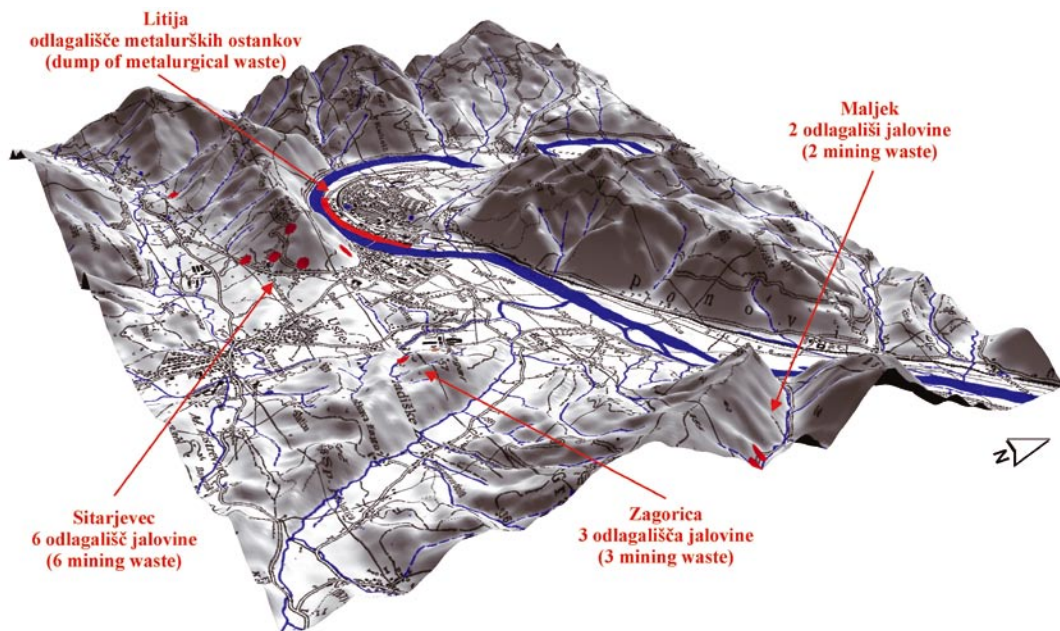
Litijski rudnik ali Sitarjevec spada med naša večja rudna nahajališča, Litija pa je verjetno najstarejše slovensko rudarsko mesto (Mlakar, 1994). Hrib Sitarjevec se razprostira nad mestnim jedrom Litije in meri 448 metrov nadmorske višine. Uvrščamo ga v niz rudišč, ki so nastala v Posavskih gubah. Žilno rudišče Sitarjevec ima dolgo zgodovino in je bilo celo eno največjih tovrstnih rudišč v Avstro-Ogrski monarhiji. V njem so kopali predvsem svinec, živo srebro, srebro, železo in v zadnji fazi tudi barit.

Pas, ki obsega rudarska dela je dolg okoli 600 metrov in širok med 250 in 300 metrov. Najvišji rov je na koti 420 m, najnižjo točko pa so dosegli s Kidričevim slepim jaškom na koti 171,5 m. Rudarska dela so se raztezala na okoli 250 metrih višinske razlike, dolžina rovo pa je ob zaprtju rudnika leta 1965 znašala vsaj 15 km. Na sliki 3 so prikazane lokacije odlagališč jalovine in metalurških žlinder.

Začetek rudarstva v litijskem območju domnevno sega že v čas Keltov, ki so tu kopali svinčevo rudo. V večjem obsegu so tu rudarili tudi Rimljani (Godec, 1992).

V okolici Litije so v srednjem veku delale manjše topilnice železa. Vzporedno z železovo rudo so verjetno od časa do časa kopali v manjšem obsegu tudi svinčevo in cinkovo rudo (Češmiga, 1959). Že v začetku 16. stoletja je bil v Litiji višji rudarski urad. Prvi pisani dokument o rudarjenju na tem področju je nagrobni spomenik rudarskemu mojstru Christofu Brukherschmidu z letnico 1537, ki stoji danes v šmarski cerkvi. Leta 1604 je rudnik prenehal delovati (Češmiga, 1959). Valvasor je leta 1689 napisal, da kažejo kosi rude z opušenih odvalov na nekoč velik rudnik svinca in živega srebra (Češmiga, 1959). Leta 1792 so v Pasjoku vzhodno od Litije zgradili topilnico železa, za katero so rudo občasno kopali tudi na Sitarjevcu (Fabjančič, 1972).

1838. leta so podelili pravice za raziskovanje železove rude na hribu Sitarjevec. 1878. je začela delovati Rudarska družba (Gewerkschaft Littai), ki je delovala do leta 1941, leta 1925 so jo preimenovali v slovensko podjetje Rudarska združba Litija. V tistem času je bilo na Sitarjevcu le nekaj opušenih rudarskih del (Almin in Karlov rov). Na obsežen limonitni klobuk so naleteli že v začetni fazi raziskav, v letu 1874 pa so odkrili 30 do 50 cm debelo baritno in cinabaritno rudno žilo. V letih 1875 in 1876 so pridobivali le živo srebro. Pri poglobljanju pa so naleteli tudi na galenit in od leta 1877 je bila proizvodnja svinca glavna dejavnost (Fabjančič, 1972). Kmalu po začetku odkopavanja, so zgradili čez reko Savo do bližine litijske železniške postaje 364 metrov dolgo žičnico, po kateri so skozi Avgustov rov dovažali rudo neposredno v prebiralnico (Mohorič, 1978). Tu so rudo prali, ločevali ter sortirali za nadaljnjo obdelavo. V letu 1886 so v Litiji začeli pridobivati tudi srebro, največ so ga pridobili leta 1890 in sicer 614,7 kg. Znano je, da so v tem času



Slika 3. Lega odlagališč jalovine in metalurških žlinder
 Figure 3. Locations of mine and metallurgical waste deposits

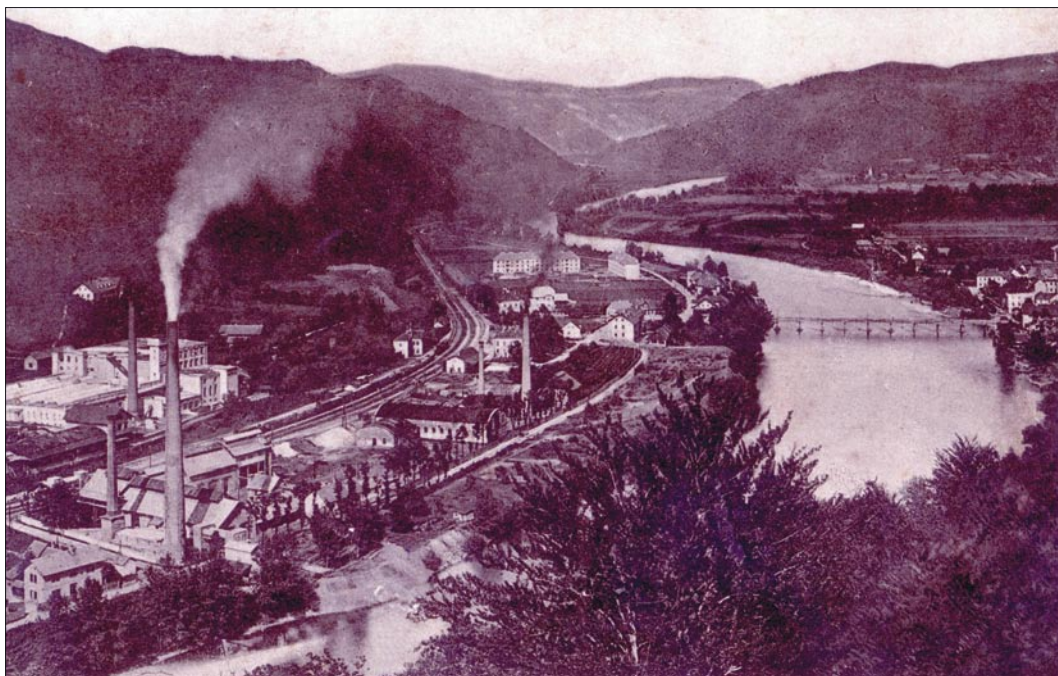
na Dunaju iz litijskega srebra izdelali sporninske kovance imenovane litijski tolarji (Fabjančič, 1972). Do leta 1883 so vso živosrebrno rudo s 15 % Hg prodajali Idriji, tistega leta pa so jo začeli predelovati tudi sami. Ruda predelana leta 1885 je vsebovala 2,7 % Hg. Tega leta so pridobili tudi največ živega srebra (26,3 t), največ svinca pa leto prej (1.900 t). Okrog leta 1890 je Litija dajala okrog 10 % avstrijske proizvodnje svinca (Fabjančič, 1972). Po letu 1894 v Litijski niso več kopali živosrebrne rude, v letu 1897 pa je obstala tudi proizvodnja svinčeve rude. To je bil razlog, da so si v topilnici nato vse do leta 1917 pomagali s koncentratu pridobljenimi v drugih kranjskih, koroških, čeških, bosanskih, srbskih in celo afriških rudiščih (Mohorič, 1978). Zato je proizvodna svinca močno narasla in znašala leta 1914 kar 3.660 ton, naslednje leto pa so pridobili tudi največ srebra, in sicer 2.750 kg in celo 2,13 kg zlata (Fabjančič, 1972). Slika 4 prikazuje topilnico leta 1910.

Dolgotrajni sodni procesi in visoke odškodninske zahteve, ki so jih postavljali okoličani zaradi škod, ki jih je povzročal dim topilnice in prah na okoliških gozdovih in kulturah ter splošna gospodarska kriza, so povzročili zaprtje topilnice leta 1917 (Mohorič, 1978). Obrat se je zopet urad-

no odprl leta 1918, vendar so dela obstala že leta 1922 zaradi spora s čebelarji, ki so se pritoževali zaradi onesnaževanja čebelje paše s strupenimi plini iz predelovalnih naprav (Mlakar, 1994). Dela so obnovili leta 1924, do intenzivnejšega obratovanja pa je prišlo šele leta 1927, ko so zagnali gravitacijsko separacijo s flotacijo. Takrat je tona svinca vsebovala 20 do 25 g srebra, ruda pa 7 do 10 % svinca (Fabjančič, 1972). Konec leta 1930 so ustavili proizvodnjo svinca zaradi velikega padca cen.

Leta 1941 so Nemci rudnik zaplenili, rudarska dela pa so začeli istega leta obnavljati, zaradi potrebe po baritu. Zaradi partizanske diverzantske dejavnosti so se leta 1944 raziskave ustavile. V letih 1943 in 1944 so pridobili 2.299 ton barita. Med okupacijo je zgorel tudi celoten jamomerski arhiv.

Leta 1947 so ponovno začeli z raziskovalnimi deli, tako da so leta 1951 začeli z izkopavanjem barita. Z letom 1961 je rudnik začel poslovati kot samostojna enota v okviru rudnikov svinca in topilnice Mežica. Kljub padanju vsebnosti prvin v rudi, ki se je bližala rentabilnostni meji, so nekaj let še vztrajali pri proizvodnji svinčevega koncentrata in barita. Zaradi pomanjkanja rudnih rezerv, nizke vsebnosti kovin in barita v rudi, težav z vdori vode v najglob-



Slika 4. Topilnica svineca v Litiji leta 1910

Figure 4. Smelter in Litija in 1910

ljih delih ter zaradi vrtnanja v kremenovem peščenjaku, ki je povzročal hudo rudarsko bolezen na pljučih – silikozo, je leta 1965 rudnik prenehal obratovati. Uradno je prenehal obstajati 28. aprila 1966, ko so v katastru izbrisali eksploatacijsko polje Litija (Fabjančič, 1972).

V vsem tem času, od zgodnjega začetka rudarjenja v Litiji pa do ukinitve rudnika, so po oceni Drovenika in sodelavcev (1980) pridobili iz domače rude 50.000 ton Pb, 1.000 kg Ag ter 42,5 ton Hg ter 30.000 ton barita. Fabjančič (1972) je zbral podatke o proizvodnji v Litiji, ki je predelovala tudi uvoženo rudo. Ocenjuje, da so po letu 1880 pridobili okoli 68.000 ton Pb, skoraj 12 t srebra in kar 150 t živega srebra.

Rudnik ob zaprtju ni bil primerno saniran. Takrat so vhode v rudnik zaminirali. Ker so nekateri rovi tik pod površjem, je prišlo do zruškov in nastale so nove povezave s površjem, ki so marsikje tudi nevarne, saj so neoznačene in skrite v podrasti gozda. Le-te so za obiskovanje zanimivega, a nevarnega podzemlja uporabljali raziskovalci starih rudniških rogov in zbiralci mineralov, saj Sitarjevec slovi kot rudnik z najbolj pestro mineralno sestavo v Sloveniji. Pojav-

lja se preko šestdeset različnih mineralov (cerusit, barit, cinabarit, galenit, limonitni kapniki,...). V zapuščenih in delno zarušenih rudniških rovih se tvorijo limonitni kapniki (slika 5) in limonitne pregrade, za katerimi zastajajo velike količine limonitnega blata in rudniške vode (slika 6). To pa predstavlja nevarnost za okolico Sitarjevca. Pride lahko do porušitve teh pregrad in posledično do izlitja več kubičnih metrov zajezenega materiala na površje. Tako bi zaradi porušitve večje pregrade limonitno blato lahko zalilo tudi Litijo. Skozi nižje ležeče rove, kot je na primer Savski rov (slika 6), tudi stalno izteka onesnažena rudniška voda.

Materiali in metode dela

Vzorčenje tal in analitika

Vzorčenje tal je potekalo leta 2004 v mreži 500 x 500 m na ozemlju, velikem približno 30 km² (slika 1) Vzorčili smo v dveh globinah oziroma talnih horizontih: v globini od 0 do 5 cm oziroma A talni horizont brez morebitnega organskega horizonta in v



Slika 5. Limonitni stalagmit v opuščenem rudniškem rovu (foto M. Gosar)

Figure 5. Limonitic stalagmite in abandoned mine (foto M. Gosar)



globini 15–30 centimetrov oziroma B talni horizont.

Na 120 vzorčnih lokacijah je bilo odvzeto skupno 240 vzorcev tal. Posamezen vzorec je predstavljal kompozit vzorca v osrednji točki in štirih 10 metrov oddaljenih točkah severno, vzhodno, južno in zahodno od osrednje. Celotni tako zbrani vzorec je tehtal približno en kilogram. Zbrani vzorci so bili zračno posušeni, potem pretrti v keramični terilnici in sejani. Frakcija pod 2 mm je bila zmleta v ahatnem krogličnem mlinu in dodatno presejana pod 0,125 mm. Vzorčenje, priprava vzorcev in analitika je opravljena po že uveljavljeni metodologiji (Šajn, 1999, 2003).

Kemična analiza vzorcev tal je bila opravljena v laboratoriju ACME Analytical Laboratories Ltd. v Vancouvru v Kanadi. Za kemične prvine razen Hg je bila uporabljena plazemska emisijska spektrometrija (ICP) po štirikislinskem razklopu (HClO_4 , HCl , HF in HNO_3), ki je potekal pri temperaturi 200 °C. Vzorce so analizirali na 42 prvin (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti, Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Hf, La, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn in Zr). Za določitev vsebnosti Hg je bilo 0,5 g vzorca prelito s 3 ml zlatotopke (mešanica kislin HCl , HNO_3 in H_2O v razmerju 3:1:2), eno uro segrevano na 95 °C in potem razredčeno do 100 ml z destilirano vodo. V raztopini je bila določena vsebnost Hg z neplamensko AAS. Vzorce in naključno izbrane dvojnike ter geološke standardne materiale GXR-2, GXR-5 in GXR-6 so v laboratoriju analizirali po naključnem zaporedju. V članku smo se omejili le na obravnavo vsebnosti in prostorsko porazdelitev zakonsko normiranih težkih kovin (Ur. list RS 68/96). Občutljivost, pravilnost in natančnost analitike obravnavanih prvin je bila zadovoljiva.

Obdelava podatkov in prikaz prostorske porazdelitve prvin

Za statistične izračune smo uporabili program Statistica 6.1. Izračunane osnovne statistike so: minimalne in maksimalne vrednosti, mediane in povprečne vredno-

Slika 6. Ujeta voda in limonitno blato v rudniških rovih (foto M. Gosar)

Figure 6. Captured mine water and limonitic mud in abandoned mine (foto M. Gosar)

sti normalnih ali logaritmiranih podatkov. Ocena normalnosti je izdelana na osnovi statističnega preizkusa asimetričnosti, sploščenosti ter vizualnega opazovanja histogramov.

Rezultate smo prikazali v obliki kart porazdelitev vsebnosti težkih kovin v zgornjem (0–5 cm) in spodnjem (20–30 cm) horizontu tal (slike 7, 8, 9, in 10). V postopku izdelave smo uporabili interpolacijsko metodo univerzalnega krigriranja z linearnim variogramom (Davis, 1986), opravili pa smo jo s programom Surfer for Windows (Keckler, 1994).

Mejne vsebnosti razredov smo izbrali na osnovi percentilov porazdelitve interpoliranih vrednosti tako, da so vrednosti okrog povprečja v širših razredih, nizke in visoke pa v ožjih razredih. Odločili smo se za 7 vsebnostnih razredov: 0–10, 10–25, 25–40, 40–60, 60–75, 75–90 in 90–100 percentilov porazdelitve prvine. Izdelali smo tudi karto prostorske porazdelitve zakonsko normiranih kovin v tleh glede na mejne, opozorilne in kritične vrednosti, ki so določene v Uradnem listu RS 68/96.

Rezultati

Arzen (As)

V vzetih vzorcih na območju Litije, znaša mediana arzena za zgornji talni horizont (0–5 cm) 14 mg/kg, opazovane vsebnosti pa nihajo od 5 do 78 mg/kg (tabela 1). V spodnjem talnem horizontu (20–30 cm) je vrednost mediane za As 14 mg/kg in variira od najmanjše vsebnosti 7 do najvišje 41 mg/kg. Obe mediani sta enaki kot mediana za slovenska tla (14 mg).

Najvišje vrednosti arzena so bile določene v zgornjem talnem horizontu (0–5 cm) na celotnem hribu Sitarjevec, širšem območju nekdanje topilnice v Litiji in na JZ obravnavanega ozemlja (južno od reke Reke) (slika 7a). Nekoliko so vsebnosti povišane tudi nad Ponovičami, v okolici Podšentjurja. V spodnjem talnem horizontu na Sitarjevcu so vsebnosti arzena nižje kot v zgornjem horizontu tal. To potrjuje antropogeni vnos arzena v tla. V spodnjem horizontu tal so vsebnosti arzena nekoliko povišane pri Ponovičah ter v okolici Šmartnega (slika 7b).

Na treh lokacijah, ki se nahajajo ob vznožju hriba Sitarjevec ob reki Savi, smo ugotovili presežene kritične vsebnosti (55 mg/kg, Uradni listi, 1996) arzena v tleh (78 mg/kg,

73 mg/kg in 69 mg/kg). Domnevamo, da so posledica rudarskih in metalurških dejavnosti v preteklosti.

Kadmij (Cd)

Nekoliko povišane vsebnosti kadmija smo ugotovili v dolini reke Save od Podšentjurja do Litije ter v Ponovičah. Tudi pri Podsitarjevcu in šmartnem so vsebnosti kadmija nekoliko povišane. Najvišja izmerjena vsebnost Cd je bila v zgornjem (1,5 mg/kg) in spodnjem (1,7 mg/kg) talnem horizontu v dolini reke Save v bližini Ponovič. Kadmij je vezan predvsem na sedimente reke Save. Za kadmij velja, da so višje vsebnosti v zgornjem talnem horizontu (0–5 cm), z globino se vsebnosti kadmija praviloma manjšajo. Kritična in opozorilna vrednost kadmija v tleh ni presežena. Mejna vrednost (1 mg/kg, Uradni listi, 1996) pa je presežena le na štirih vzorčenih lokacijah v dolini reke Save (tabela 2).

Kobalt (Co)

Mediana za kobalt je v zgornjem talnem horizontu (7,7 mg/kg) in spodnjem talnem horizontu (9 mg/kg) nižja kot je povprečje za slovenska tla (16 mg/kg) (tabela 1). Prostorski porazdelitvi kobalta v obeh obravnavanih horizontih jasno kažeta na območje z nekoliko višjimi vsebnosti kobalta od šmartnega proti Kostrevnici in Jablaniški dolini, nadalje v Ponovičah ter tudi v Zavrstniku in Grmačah. Na raziskanem območju je za kobalt značilno, da se vsebnosti z globino povečujejo. Opozorilna vrednost ni presežena na nobeni lokaciji, mejna (20 mg/kg) pa na dveh lokacijah na skrajnem JV obravnavanega ozemlja v obeh talnih horizontih ter na skrajnem SV le v spodnjem horizontu (tabela 2).

Krom (Cr)

Na podlagi raziskanih vzorcev znaša mediana kroma v zgornjem talnem horizontu na obravnavanem območju 54 mg/kg, vsebnosti pa nihajo v razponu od 16 do 160 mg/kg (tabela 1). V spodnjem talnem horizontu znaša mediana za krom 61 mg/kg, vsebnosti so v razponu od 22 do 230 mg/kg (tabela 1). Mediana za slovenska tla znaša 91 mg/kg in je višja kot mediani obeh obravnavanih horizontov. Najvišji izmerjeni vsebnosti v obeh talnih horizontih sta bili določeni na lokaciji zahodno od Šmartnega in znašata v zgornjem horizontu 160 mg/kg, v spodnjem

Tabela 1. Mediane in razponi (mg/kg) vsebnosti prvin v zgornjem in spodnjem talnem horizontu na obravnavanem ozemlju in v Sloveniji, n = 120 (Šajn, 2003)

Table 1. Medians and ranges of elements (mg/kg) in topsoil and bottom soil in study area and in Slovenia

Prvina	Slo Md	Litija Md	(tla/soil 0–5 cm) (Min – Max)	Litija Md	(tla/soil 20–30 cm) (Min – Max)
As	14	14	(5.0 – 78)	14	(7.0 – 41)
Cd	0.45	0.41	(0.10 – 1.5)	0.24	(0.050 – 1.7)
Co	16	7.7	(1.0 – 25)	9.0	(1.0 – 30)
Cr	91	54	(16 – 160)	61	(22 – 230)
Cu	31	18	(7.7 – 43)	16	(4.8 – 41)
Hg	0.065	0.35	(0.065 – 6.0)	0.22	(0.080 – 6.0)
Mo	0.80	0.83	(0.30 – 1.7)	0.62	(0.20 – 1.5)
Ni	50	18	(4.6 – 41)	20	(4.5 – 47)
Pb	42	120	(24 – 790)	74	(28 – 610)
Zn	130	93	(31 – 420)	95	(30 – 490)

Tabela 2. Onesnaženost raziskanega območja (km²)Table 2. Pollution of researched area (km²)

	Tla/Soil (0–5 cm)			Tla/Soil (20–30 cm)		
	Mejno limit	Opozorilno Warning	Kritično Critical	Mejno Limit	Opozorilno Warning	Kritično Critical
As	5.7	1.8	0.52	2.4	0.18	-
Cd	0.29	-	-	0.050	-	-
Co	0.26	-	-	0.76	-	-
Cr	0.23	-	-	1.6	0.10	-
Cu	0.19	0.05	-	-	-	-
Hg	3.4	1.1	0.02	2.4	0.42	-
Mo	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-
Pb	22	20	1.6	13	10	0.07
Zn	1.3	0.28	0.01	0.75	0.10	-
Skupno/ Total	24	20	1.6	16	11	0.07

pa 230 mg/kg in sta verjetno posledici obratovanja usnjarne IU V Vrhniku. To je tudi edina lokacija kjer vsebnost kroma presega opozorilno vrednost (150 mg/kg, Uradni listi, 1996) (tabela 2).

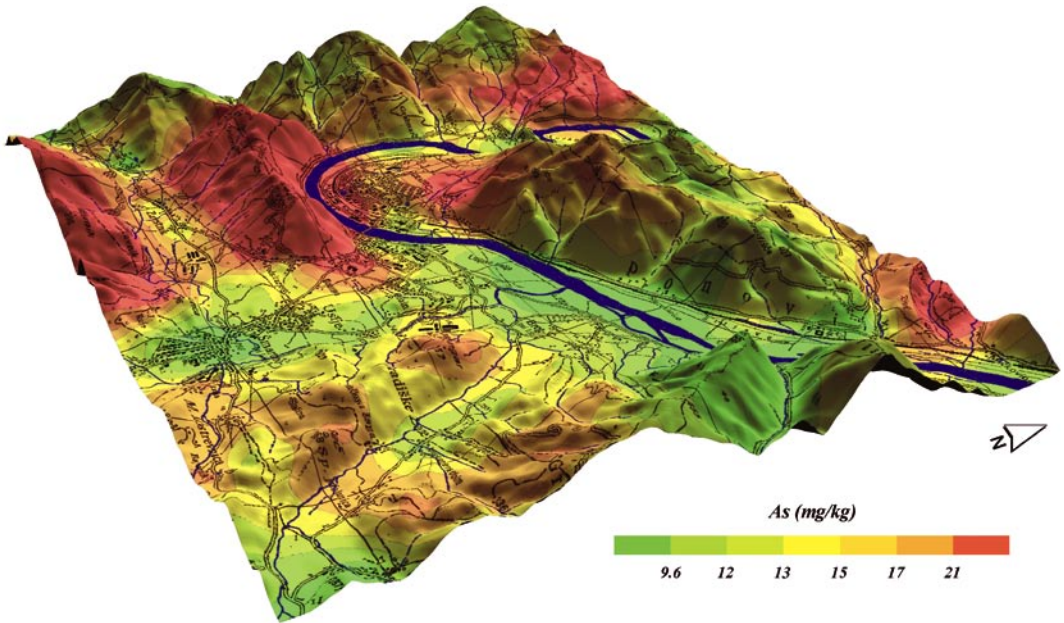
Baker (Cu)

Vsebnosti bakra so nizke. Mediani zgornjega horizonta (18 mg/kg, tabela 1) in spodnjega horizonta tal (16 mg/kg) sta za polovico manjši kot mediana za slovenska tla (31 mg/kg) (tabela 1). Prostorska porazdelitev bakra kaže na relativno višje vsebnosti v dolini Save in na območju Šmartnega in Šmarske Dobrave ter pri Podstitarjevcu. Vsebnosti bakra se z globino zmanjšujejo. Mejna vrednost ni bila presežena (tabela 2).

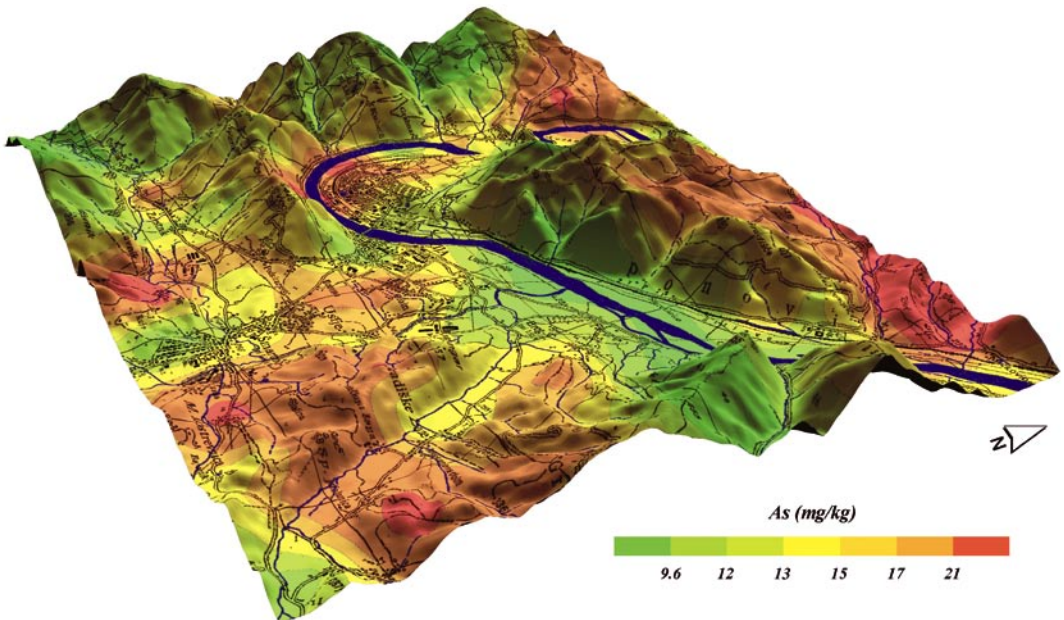
Živo srebro (Hg)

Mediana za Hg v zgornjem talnem horizontu (0–5 cm) znaša 0,35 mg/kg, vsebnosti pa nihajo v razponu med 0,065 do 6 mg/kg (tabela 1). V spodnjem talnem horizontu (20–30 cm) je mediana nekoliko nižja 0,22, vsebnosti Hg pa nihajo v razponu od 0,08 do 6,0 mg/kg. Obe mediani za tla na litijskem območju presejata slovensko povprečje za tla, ki znaša 0,065 mg/kg (tabela 1).

Prostorsko je anomalija živega srebra najbolj izražena na območju rudnika Sitarjevec in nekdanje topilnice Litija vse do Zagorice in hriba Slatine (sliki 8a in 8b). Na teh območjih so v preteklosti tudi izkoriščali živosrebrno rudo. Anomalija Hg se v spodnjem horizontu (20–30 cm) nekoliko



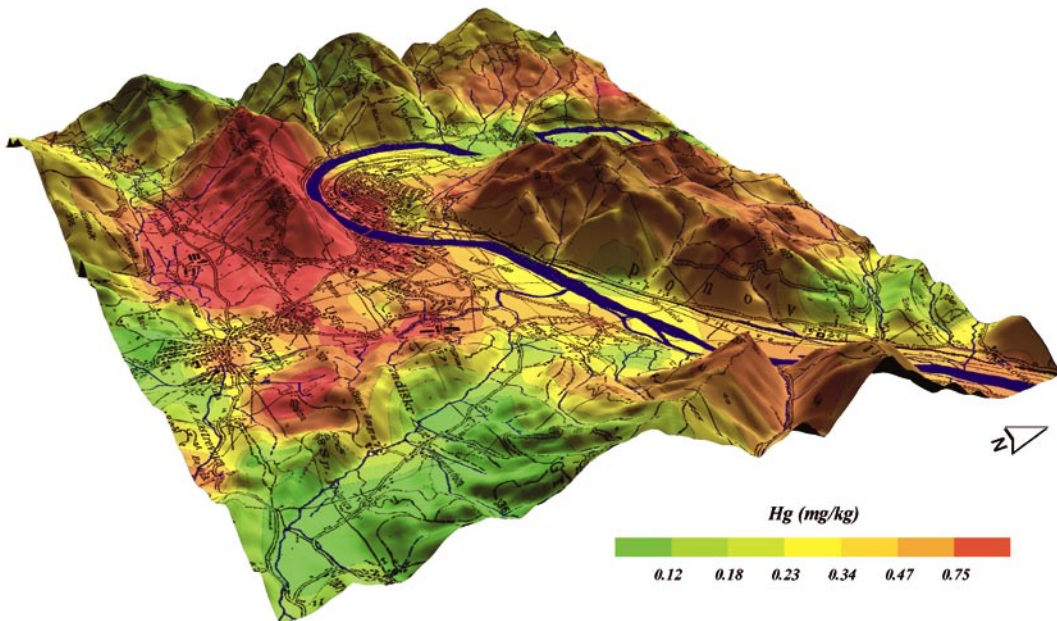
Slika 7a. Porazdelitev arzena v zgornjem horizontu tal (0–5 cm)
 Figure 7a. Spatial distribution of arsenic in topsoil (0–5 cm)



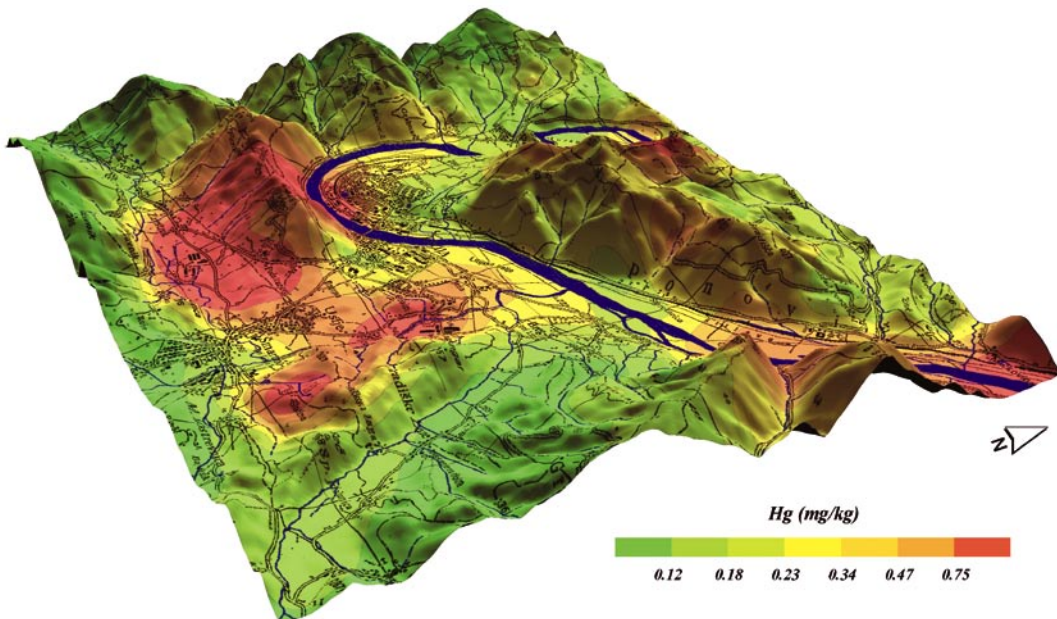
Slika 7b. Porazdelitev arzena v spodnjem horizontu tal (20–30 cm)
 Figure 7b. Spatial distribution of arsenic in bottom soil (20–30 cm)

zmanjša, vendar še vedno zajema precejšen del Sitarjevca, območje Zagorice, ter hrib Slatine.

Najvišje izmerjene vsebnosti Hg v zgornjem (6,0 mg/kg) in spodnjem talnem horizontu (5,9 mg/kg) (tabela 1) smo ugotovili



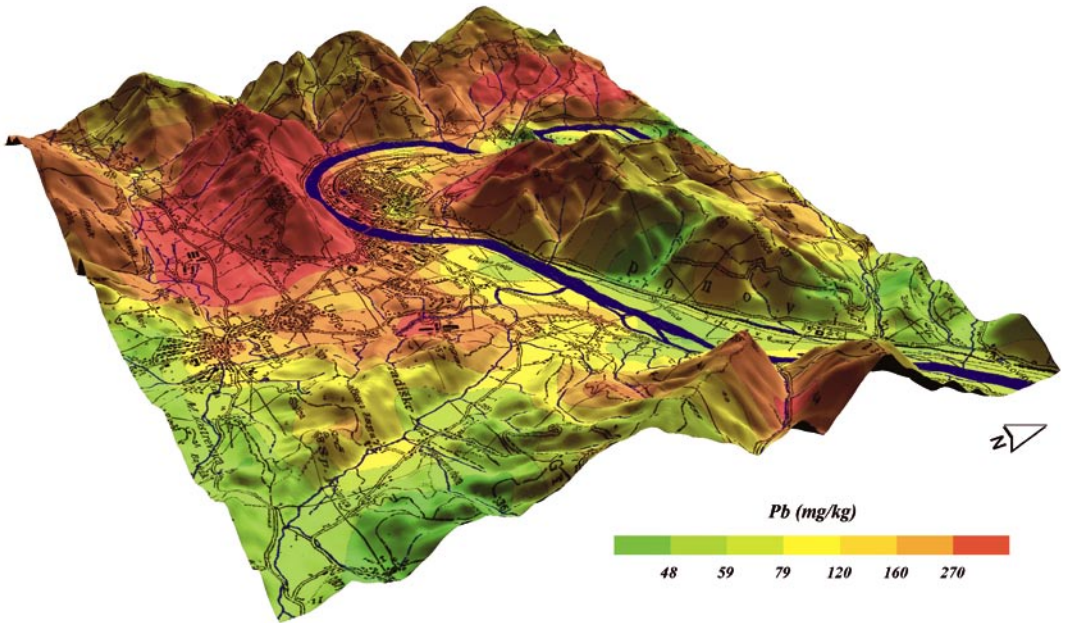
Slika 8a. Porazdelitev živega srebra v zgornjem horizontu tal (0–5 cm)
Figure 8a. Spatial distribution of mercury in topsoil (0–5 cm)



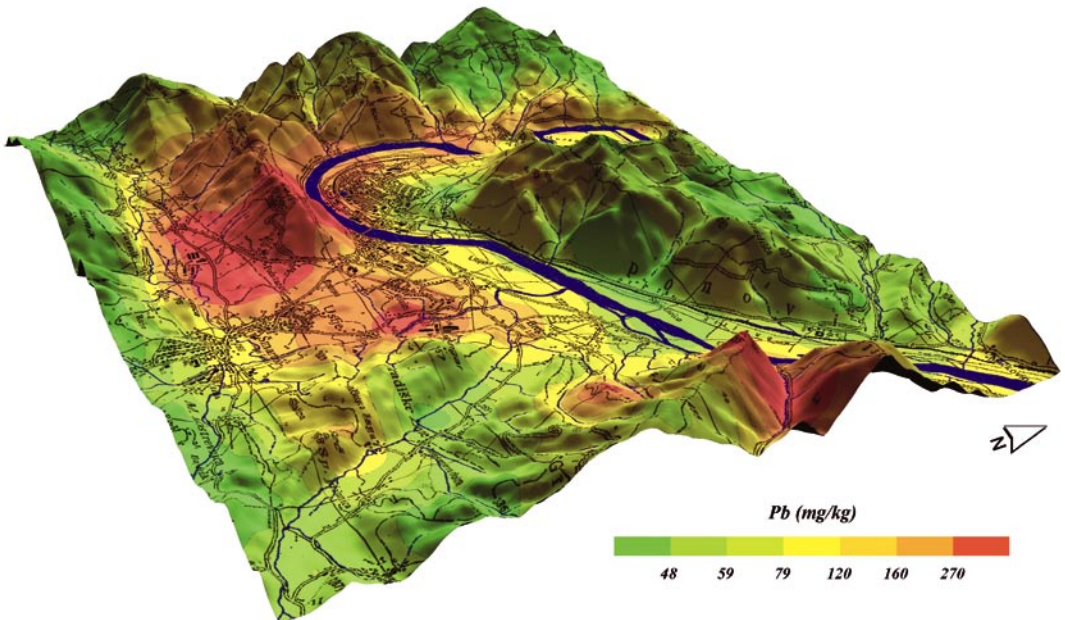
Slika 8b. Porazdelitev živega srebra v spodnjem horizontu tal (20–30 cm)
Figure 8b. Spatial distribution of mercury in bottom soil (20–30 cm)

na travnikih in pašnikih Kmetijske Zadruga Litija zahodno od Šmartnega. Visoke vsebnosti živega srebra smo zasledili tudi v

Podkraju, na severnem vznožju Sitarjevca v bližini opuščenega rudniškega rova.



Slika 9a. Porazdelitev svinca v zgornjem horizontu tal (0–5 cm)
 Figure 9a. Spatial distribution of lead in topsoil (0–5 cm)



Slika 9b. Porazdelitev svinca v spodnjem horizontu tal (20–30 cm)
 Figure 9b. Spatial distribution of lead in bottom soil (20–30 cm)

Molibden (Mo)

Vsebnosti molibdena so v mejah geokemičnega ozadja. Mediana zgornjega hori-

zonta znaša 0,83 in spodnjega 0,62 mg/kg (tabela 1). To je blizu slovenskega povprečja (0,8 mg/kg). Na litjskem prostoru so najvi-

šje vsebnosti molibdena v tleh v zgornjem horizontu tal (1,7 in 1,6 mg/kg) SV od Litije, to je na širšem območju mesta Litije in Svibnega s Strešnim Vrhom. Manjša ozemlja s povišanimi vsebnostmi molibdena so tudi na Kostrevniškem ozemlju, Podsitarjevcu, Grmačah in hribu nad Ponovičami. V spodnjem horizontu tal je molibdena nekoliko manj, rahla povišanja je opaziti po dolini reke Save od Ponovič do Spodnjega Loga.

Nikelj (Ni)

Vsebnosti niklja so na celotnem obravnavanem ozemlju nizke, se z globino povečujejo in predstavljajo naravno ozadje. Mediana zgornjega horizonta znaša 18, spodnjega pa 20 mg/kg (tabela 1). Tudi vsebnosti niklja ne presegajo mejne vrednosti (tabela 2).

Svinec – Pb

Na podlagi raziskanih vzorcev znaša mediana svinca v zgornjem talnem horizontu na obravnavanem območju 120 mg/kg, vsebnosti pa nihajo v razponu od 24 do 790 mg/kg (tabela 1). V spodnjem talnem horizontu znaša mediana za svinec 74 mg/kg, vsebnosti so v razponu od 28 do 610 mg/kg (tabela 1). Mediana za slovenska tla znaša 42 mg/kg in je nižja kot mediana obeh obravnavanih horizontov. Kritična vrednost za svinec v tleh (530 mg/kg, Uradni listi, 1996) je v zgornjem horizontu tal presežena na osmih lokacijah, v spodnjem pa na petih. Največ svinca smo določili na severnem pobočju Sitarjevca (790 in 770 mg/kg).

Prostorski porazdelitvi svinca v zgornjem in spodnjem talnem horizontu sta si podobni, s tem da so vsebnosti v zgornjem horizontu nekoliko višje (sliki 9a in 9b). Povišane vsebnosti so na Sitarjevcu in v njegovem vznožju pri Podsitarjevcu ter vse do Zavrstnika in Grmač. Manjše anomalije svinca so opazne tudi v Zagorici, Maljeku ter nad Podšentjurjem.

Cink (Zn)

Prostorska porazdelitev za cink v tleh nam pokaže najvišje vsebnosti v dolini Save v bližini Ponovič. Tam smo ugotovili povišane vsebnosti cinka tako v spodnjem (490 mg/kg) kot v zgornjem (420 mg/kg) horizontu tal (tabela 1). Na območjih Litije, Grbine, Zagorice, Podsitarjevca in Zavrstnika pa se vsebnosti cinka z globino zmanjšujejo. Do povišanih vsebnosti cinka je prišlo deloma zaradi rudarjenja, pa tudi

naplavine Save so prinašale s cinkom obogaten material. Opozorilna vrednost (300 mg/kg, Uradni listi, 1996) je presežena na treh lokacijah, tako v zgornjem kot spodnjem horizontu. Vse našteje lokacije so v dolini Save in v spodnjem horizontu je nekoliko več cinka kot v zgornjem. Mejna vrednost je presežena še na devetih lokacijah (tabela 2).

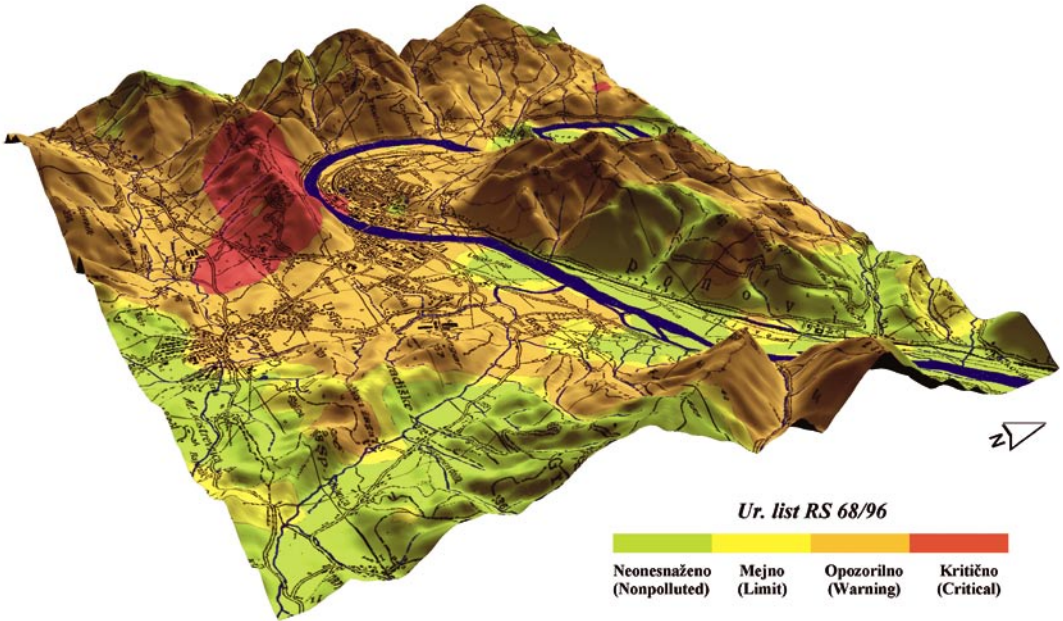
Onesnaženost raziskanega ozemlja s težkimi kovinami

V tabeli 2 so prikazani deleži onesnaženosti raziskanega območja za posamezno kemično prvino (Ur. list RS 68/96). Površine so bile določeno računsko, na podlagi naših vzorcev. Zato so nekatere površine zelo majhne, kar pravzaprav pomeni, da sta le eden ali dva vzorca preseгла neko vsebnost. Glede na dejstvo, da so najbolj povišane vsebnosti živega srebra, arzena in svinca, jih ločeno obravnavamo. Na koncu podajamo tudi oceno celotne onesnaženosti.

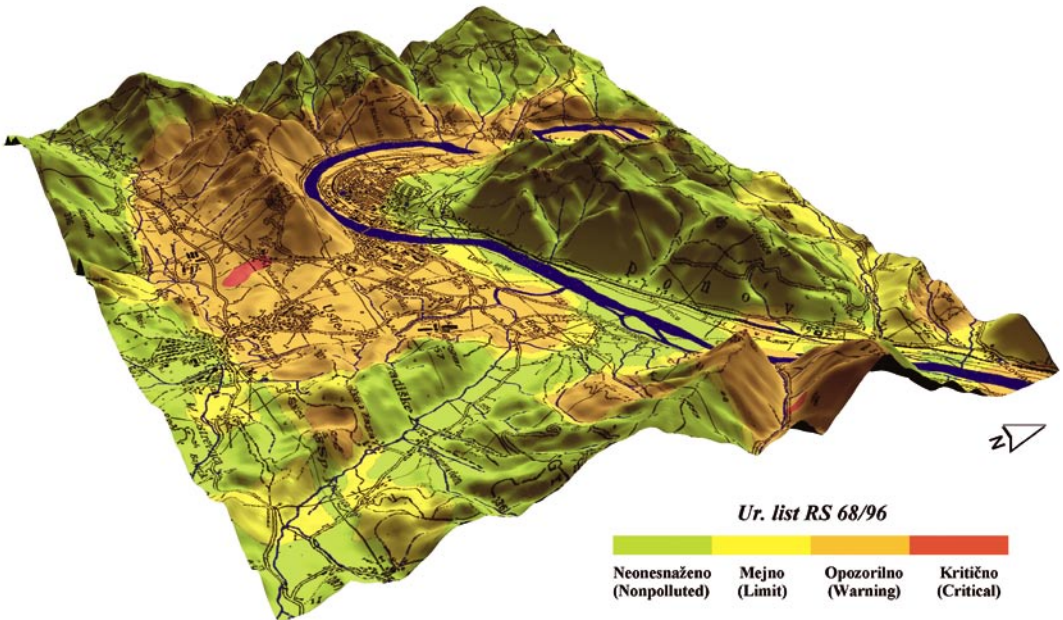
Kritična vsebnost Hg v zgornjem sloju tal (0–5 cm) je presežena na ozemlju Podsitarjevca, kjer so kopali rudo in jo tudi sortirali, na območju velikem 2 ha, opozorilna vsebnost na širšem območju Podsitarjevca (1,1 km²) ter mejna vsebnost na celotnem hribu Sitarjevec (3,4 km²). V spodnjem sloju tal (20–30 cm) kritična vsebnost Hg ni presežena. Na območju Grmač, kjer ima travnike in pašnike Kmetijska Zadruga (42 ha), je presežena opozorilna vsebnost, mejna vsebnost pa na ozemlju velikem 2,4 km², ki obsega območja Zagorice in Jezov, hrib Slatina, Zavrstnik in posamezne predele Sitarjevca (tabela 2).

Kritična vsebnost As v zgornjem sloju tal (0–5 cm) je presežena na hribu Sitarjevec, na območju velikem 52 ha, opozorilna vsebnost na širšem območju hriba Sitarjevec (1,8 km²), mejna vsebnost pa ob vznožju hriba Sitarjevec, na območju Poščavnika, Graške Dobrave in Gornjega Loga (5,7 km²). V spodnjem sloju tal (20–30 cm) kritična vsebnost As ni presežena. Le na posameznih manjših območjih je presežena opozorilna vsebnost na območju velikem 18 ha, mejna vsebnost pa na območju velikem 2,4 km² (tabela 2).

Kritična vsebnost Pb v zgornjem sloju tal (0–5 cm) je presežena na ozemlju rudnika Sitarjevec ter v neposredni okolici topilnice, na območju velikem 1,6 km². Opozorilna



Slika 10a. Celotna onesnaženost zgornjega horizonta tal (0–5 cm) s težkimi kovinami
 Figure 10a. Spatial distribution of limit, warning and critically polluted topsoil (0–5 cm)



Slika 10b. Celotna onesnaženost spodnjega horizonta tal (20–30 cm) s težkimi kovinami
 Figure 10b. Spatial distribution of limit, warning and critically polluted bottom soil (20–30 cm)

vsebnost je presežena na območju velikem 20 km², to je na območju Zavrstnika, Šmartnega, Šmarske Dobrave vse do Brega pri Li-

tiji in Maljeka na vzhodu, Litijsko ozemlje s Podšentjurjem, Pogonikom ter Svibnim in Strešnim Vrhom. Na 22 km² pa je preseže-

na mejna vsebnost za Pb v tleh. V spodnjem sloju tal (20–30 cm) je kritična vsebnost za Pb v tleh presežena na ozemlju Podsitarjevca, velikem 7 ha, opozorilna vsebnost na območju velikem 10 km², ki zajema širše območje hriba Sitarjevec, Šmartnega in Litije ter Maljek, mejna vsebnost pa na ozemlju velikem 13 km² (tabela 2).

Na celotnem raziskanem ozemlju (okoli 30 km²) je v zgornjem talnem horizontu (0–5 cm) mejna vsebnost katerekoli od zakonsko obravnavanih težkih kovin presežena na 24 km², opozorilna na 20 km² ter kritična na 1,6 km². Obremenjenost spodnjih talnih horizontov (20–30 cm) je nekoliko nižja. Mejna vsebnost težkih kovin je presežena na 16 km², opozorilna na 11 km² ter kritična na 7 ha (sliki 10 a in 10b).

Kritične vsebnosti težkih kovin v zgornjem sloju tal (0–5 cm) so presežene na hribu Sitarjevec in v neposredni bližini nekdanje topilnice. V največji meri je ta anomalija posledica pridobivanja svinca in njegove predelave. Opozorilna vsebnost je presežena na velikem območju vse od Zavrstnika, šmartnega, Litije do Gornjega Loga, na severu tudi na velikem območju Svibnega, na vzhodu pa na ozemlju od Grbina vse do Brega pri Litiji ter na območju Maljeka. V spodnjem sloju tal (20–30 cm) so kritične vsebnosti težkih kovin presežene le na majhnem območju pri Podsitarjevcu. Opozorilne vsebnosti pa so presežene na nekoliko manjšem ozemlju kot velja za zgornji horizont tal (sliki 10 a in 10b).

Zahvala

Za financiranje predstavljene raziskave se zahvaljujemo občini Litija in Agenciji za raziskovalno dejavnost RS.

Literatura

- Češmiga, I. 1959: Rudarstvo LR Slovenije. – Nova proizvodnja, 267 str., Ljubljana.
- Davis, J.C. 1986: Statistic and data analysis in geology. – Willey & Sons, 651 p., New York.
- Drovenik, M., Pleničar, M. & Drovenik, F. 1980: Nastanek rudišč v SR Sloveniji. – Geologija, 23/1, 1–137, Ljubljana.
- Fabjančič, M. 1972: Kronika litijskega rudnika. Rokopis. – Arhiv Geološkega zavoda Ljubljana, Ljubljana.
- Godec, I. 1992: Litija nekoč in danes. – Košarkaški klub Litija, 56 str., Litija.
- Jemec, M. 2006: Porazdelitev kemičnih prvin v tleh in podstrešnem prahu na območju Litije. Naravoslovnotehniška fakulteta, Diplomsko delo, 84 p. Ljubljana.
- Keckler, D. 1994: Surfer for Windows (Manual). – Golden Software, Inc., 1/1 – 23/3 str., Denver, Colorado.
- Kolar-Jurkovšek, T. & Jurkovšek, B. 1986: Karbonska (westfalijska) makroflora iz Zavrstnika. – Rudarsko-metalurški zbornik, 33/1–2, 3–34, Ljubljana.
- Mlakar, I. 1994: O problematiki Litijskega rudnega polja. – Geologija, 36/1, 249–338, Ljubljana.
- Mohorič, I. 1978: Problemi in dosežki rudarjenja na Slovenskem: zgodovina rudarstva in topilništva v stoletju tehnične revolucije. Knjiga 1, Osnove rudarskega dela. – Založba Obzorja, 281 str., Maribor.
- Premru, U., 1982: Osnovna geološka karta SFRJ. 1 : 100.000, list Ljubljana. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Stritar, A. 1990: Raba in varstvo tal v Sloveniji. – Partizanska knjiga, 174 str., Ljubljana.
- Šajn, R. 1999: Geokemične lastnosti urbanih sedimentov na ozemlju Slovenije. – Geološki zavod Slovenije, 136 str., Ljubljana.
- Šajn, R. 2003: Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. In: XIIth International Conference on Heavy Metals in the Environment; 2003, Grenoble. Journal de Physique, Les Ulis, 107, 1173–1176, Grenoble.
- Skorić, A. 1977: Tipovi naših tala. – Sveučilišna naklada Liber, 134 str., Zagreb.
- Uradni list RS, 1996: Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. – Uradni list Republike Slovenije, 68/96, 5773–5774, Ljubljana.

