

## Vpliv rudnika in topilnice živega srebra Sv. Ana – Podljubelj na porazdelitev kemičnih prvin v tleh

### Impact of mercury mine and smelter St. Ana – Podljubelj on spatial distribution of chemical elements in soil

Tamara TERŠIČ<sup>1</sup>, Robert ŠAJN<sup>2</sup> & Mateja GOSAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zlatiborska 17, 2000 Maribor, Slovenija

e-mail: tamt7@yahoo.com

<sup>2</sup>Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

e-mail: robert.sajn@geo-zs.si, mateja.gosar@geo-zs.si

*Ključne besede:* geokemija, rudarjenje, metalurgija, živo srebro, onesaženje, Slovenija  
*Key words:* geochemistry, mining, smelting, mercury, pollution, Slovenia

#### Povzetek

Živo srebro v Podljubelju so pridobivali v zelo majhnih količinah že v 16. stoletju, zlata doba rudnika je bila v drugi polovici 19. stoletja, zadnjo rudo pa so odkopali leta 1902. Vsega skupaj so odkopali okoli 110.000 ton rude in pridobili največ 360 ton živega srebra. Ob rudniku je od leta 1855 delovala tudi topilnica. Večino odpadnega materiala so odlagali na odvalu ob potoku v Potočnikovem grabnu, del pa so ga kasneje uporabili pri gradnji ceste, ki poteka vzdolž doline. Izkoristek je bil le okoli 55 %, torej je pričakovati povišane vsebnosti živega srebra v različnih segmentih okolja.

Namen geokemičnih raziskav na območju rudnika in topilnice Sv. Ana - Podljubelj je bil ugotoviti vsebnosti in prostorske porazdelitve kemičnih prvin v tleh ter ločiti naravne geokemične porazdelitve prvin od antropogeno povzročenih. Na območju rudarjenja so bila tla vzorčena na 90 ha površine, v profilih prečno na dolino, v raziskovalni mreži 100 × 100 metrov ter dodatno še na območju nekdanje topilnice in odvala rudniških odpadkov. Vsebnosti živega srebra na območju, velikem 9 ha, presegajo vsebnost 10 mg/kg v tleh ter na splošno vpadajo z globino in oddaljenostjo od nekdanjih rudniško-topilniških obratov in dosežejo na obrobjih raziskovanega ozemlja nivo slovenskega povprečja. Na raziskanem ozemlju je ocenjena povprečna vrednost živega srebra 1.3 mg/kg (0.17 – 718 mg/kg). Izrazito najvišja vsebnost živega srebra je bila določena v vzorcu, odvzetem na območju nekdanje topilnice (718 mg/kg). Koncentracije živega srebra so povišane tudi na odvalu ob Potočnikovem grabnu. Najvišja izmerjena vsebnost živega srebra na odvalu (108 mg/kg) je skoraj 7-krat nižja od vsebnosti Hg na območju topilnice. Nekoliko povišane vsebnosti smo določili tudi ob cesti po dolini, kar je verjetno posledica uporabe rudniških odpadkov pri gradnji.

#### Abstract

The objective of the research project was to establish the extension of Hg pollution as a consequence of mining and smelting activities in a narrow Alpine valley. The St. Ana mine was first exploited as early as in 1557 and was finally abandoned in 1902. The entire operating period yielded about 110.000 tons of ore, from which 360 tons of Hg was produced. By soil sampling it was established that on about 9 ha the Hg contents in soil exceed the Slovenian critical values for soil (10 mg/kg). The estimated mercury mean for the studied area is 1.3 mg/kg (0.17 – 718 mg/kg). The highest contents of mercury in soils were found in the area of the mercury smelter.

That is a consequence of former atmospheric emissions and technological losses. High values of Hg were found also in soil on the mine and smelter waste dump. The highest determined contents of Hg (108 mg/kg) in this area are almost 7-times lower than the contents of Hg in the area of the smelter. Mercury in soils generally decrease with depth and distance from the mine and smelter. Apart from the area around the former mine and smelter, mercury appear in higher concentrations also along the road that runs along the valley, which is due to the use of Hg bearing mine tailings in road construction.

## Uvod

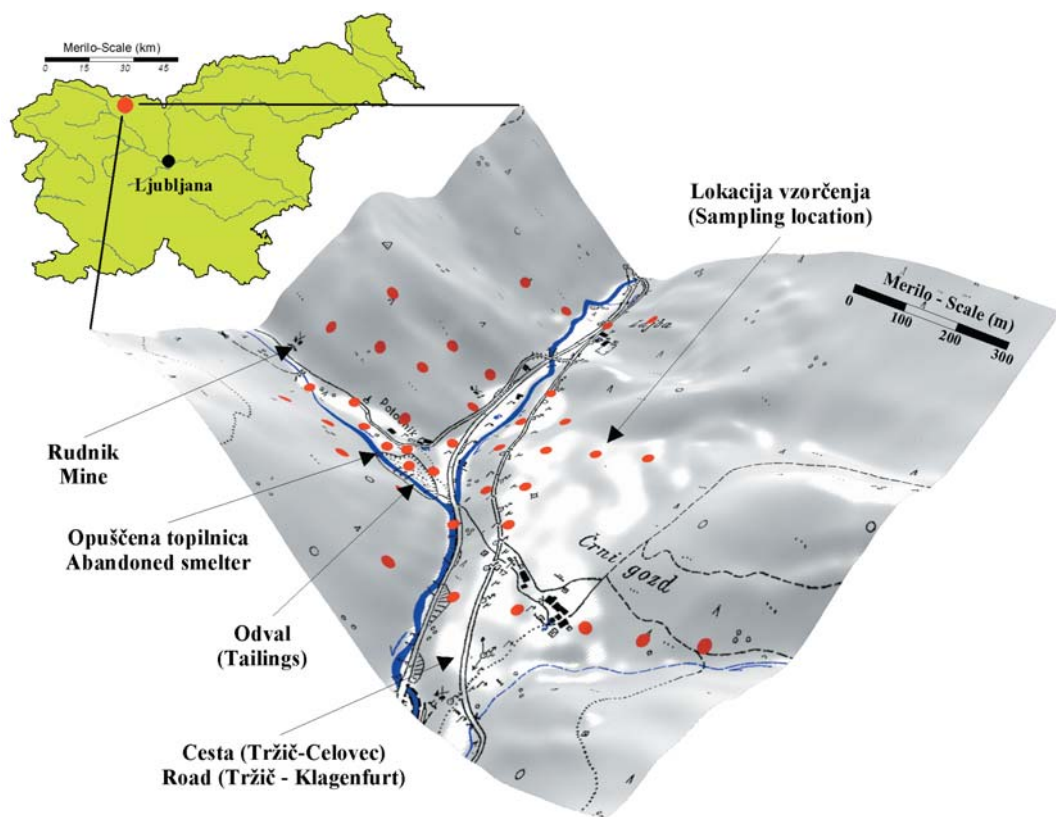
Namen geokemičnih raziskav na območju rudnika in topilnice Sv. Ana - Podljubelj je bil ugotoviti vsebnosti in prostorske porazdelitve kemičnih prvin v tleh ter ločiti naravne geokemične porazdelitve prvin od antropogeno povzročenih. Posebno pozornost smo posvetili obremenitvi okolja z živim srebrom, ki je posledica nekdanjega rudarjenja in topilništva.

Rudnik živega srebra Sv. Ana - Podljubelj leži v severnem delu Slovenije v bližini državne meje z Avstrijo, približno 8 km severno od Trziča (sl. 1). Orografsko pripada ozemlje Karavankam in je morfološko razgibano. Rudišče leži na nadmorski višini od 700 do 800 metrov v ozki dolini pod vznožjem Begunjščice. Prevladujoča talna tipa na obravnavanem ozemlju sta rendzina in rjava pokarbonska tla, ki se neenakomerno prepletata. V neposredni okolici topilniškega obrata in vhodov v rudnik so tla razvita

na žgalniških ostankih in jalovini in so izrazito skeletna. Povprečna januarska temperatura znaša - 2.5AC, julijska 18AC, ocejnena srednja letna temperatura pa 8°C. Največ padavin je oktobra in julija, najmanj pa januarja (Šipec, 1990).

Rudišče je hidrotermalno žilnega tipa, njegov nastanek pa je najverjetneje povezan z ladinijskim vulkanizmom (Drovenik et al., 1980). Orudjenje nastopa v dveh vzporednih conah, ki ju loči pas jalovega apnenca. Rudonosni apnenec se razprostira v 400 metrov dolgem in do 100 metrov širokem pasu v smeri vzhod - zahod na južnem pobočju Begunjščice. Rudni mineral je cinabarit, ki se pojavlja v obliki drobnih žilic in redko kot impregnacijska zrna. Na tektonskih drsah se pojavlja cinabarit v obliki prevlek in lusk (Dimkovski, 1972).

Rudnik so izkoriščali s presledki med leti 1557 in 1902. Zaradi majhnih rudnih teles in



Sl. 1. Lega raziskanega območja z lokacijami vzorčenja tal.

Fig. 1. Study area with sampling locations of soil.

Tabela 1. Povprečja vsebnosti kemičnih prvin v tleh (0-5 cm).

Table 1. Averages of chemical elements in topsoil (0-5 cm).

| <i>Slo</i> | <i>Md</i> |           | <i>Okolica</i><br>( <i>Environs</i> )<br>( <i>min - max</i> ) | <i>Md</i> | <i>Topilnica</i><br>( <i>Smelter</i> )<br>( <i>min - max</i> ) |
|------------|-----------|-----------|---|-----------|--|
|            | <i>Md</i> | <i>Md</i> |   |           |  |
| Al         | 6.9       | 4.4       | (0.95 - 7.47)   | 4.8       | (0.99 - 7.5)   |
| Ca         | 0.72      | 3.1       | (0.090 - 17)  | 1.3       | (0.090 - 33)   |
| Fe         | 3.6       | 1.9       | (0.58 - 4.2)  | 2.2       | (0.59 - 4.2)   |
| K          | 1.6       | 1.0       | (0.15 - 2.0)  | 1.0       | (0.14 - 2.3)   |
| Mg         | 0.74      | 1.1       | (0.24 - 9.1)  | 0.8       | (0.24 - 3.2)   |
| Na         | 0.52      | 0.29      | (0.031 - 0.85)  | 0.23      | (0.013 - 0.81)   |
| P          | 0.11      | 0.080     | (0.022 - 0.21)  | 0.082     | (0.017 - 0.15)   |
| Ti         | 0.33      | 0.18      | (0.047 - 0.38)  | 0.22      | (0.047 - 0.38)   |
| As         | 14        | 15        | (6.0 - 38)  | 16        | (0.50 - 49)  |
| Ba         | 358       | 164       | (27 - 284)  | 167       | (41 - 283)   |
| Be         | 2.0       | 1.0       | (0.50 - 4.0)  | 2.0       | (0.50 - 4.0)   |
| Bi         | 0.40      | 0.30      | (0.10 - 0.60)   | 0.40      | (0.10 - 4.9)   |
| Cd         | 0.45      | 0.90      | (0.20 - 1.5)  | 1.0       | (0.20 - 1.5)   |
| Ce         | 61        | 46        | (9.0 - 69)  | 52        | (8.0 - 79)   |
| Co         | 16        | 6.0       | (2.0 - 15)  | 8.0       | (2.0 - 14)   |
| Cr         | 91        | 36        | (13 - 76)   | 39        | (5.5 - 76)   |
| Cu         | 31        | 22        | (6.9 - 32)  | 21        | (9.7 - 34)   |
| Hf         | 1.4       | 1.2       | (0.60 - 2.9)  | 1.5       | (0.30 - 3.8)   |
| Hg         | 0.065     | 0.54      | (0.075 - 6.6)   | 1.3       | (0.17 - 718)   |
| La         | 32        | 27        | (4.1 - 37)  | 29        | (4.7 - 42)   |
| Li         | 50        | 27        | (5.7 - 65)  | 30        | (5.0 - 59)   |
| Mn         | 1054      | 514       | (202 - 875)   | 533       | (107 - 1226)   |
| Mo         | 0.80      | 1.6       | (0.60 - 10)   | 2.5       | (0.60 - 10)  |
| Nb         | 8.3       | 5.7       | (1.4 - 11)  | 6.5       | (1.3 - 13)   |
| Ni         | 50        | 19        | (5.2 - 33)  | 17        | (3.7 - 30)   |
| Pb         | 42        | 44        | (25.9 - 143)  | 57        | (30 - 4651)  |
| Rb         | 107       | 72        | (12.5 - 121)  | 72        | (9.5 - 119)  |
| Sb         | 1.1       | 1.2       | (0.50 - 2.5)  | 1.3       | (0.40 - 25)  |
| Sc         | 12        | 7.0       | (1.0 - 11)  | 8.0       | (1.0 - 11)   |
| Sn         | 3.1       | 2.7       | (1.0 - 4.0)   | 3.4       | (0.60 - 5.2)   |
| Sr         | 77        | 118       | (39 - 882)  | 187       | (39 - 1166)  |
| Ta         | 0.60      | 0.40      | (0.10 - 0.80)   | 0.50      | (0.10 - 0.80)  |
| Th         | 11        | 7.4       | (1.1 - 13)  | 9.0       | (1.3 - 16)   |
| U          | 2.2       | 2.8       | (1.2 - 6.1)   | 3.5       | (1.2 - 7.8)  |
| V          | 102       | 62        | (23 - 179)  | 72        | (21 - 179)   |
| W          | 1.4       | 1.2       | (0.40 - 2.6)  | 1.5       | (0.40 - 4.0)   |
| Y          | 17        | 17        | (2.8 - 37)  | 18        | (2.6 - 40)   |
| Zn         | 124       | 124       | (50 - 179)  | 127       | (32 - 224)   |
| Zr         | 39        | 37        | (7.4 - 95)  | 41        | (5.9 - 105)  |

**Slo** Slovenska povprečja vsebnosti prvin v tleh;  
Slovenian averages of elements in soil (Šajn, 2003)

**Okolica** Mediane in razponi vsebnosti kemičnih prvin v tleh (0-5 cm) v širši okolici rudnika;  
Medians and ranges of chemical elements in soil (0-5 cm) in surrounding of mine; n=29

**Topilnica** Mediane in razponi vsebnosti kemičnih prvin v tleh (0-5 cm) na območju rudnika;  
Averages of chemical elements in soil (0-5 cm) in mine area; n=41

Povprečne vrednosti Al, Fe, K, Mg, Na, P, S in Ti so v %, preostalih prvin pa v mg/kg;  
Average values of Al, Fe, K, Mg, Na, P, S and Ti are in %, remaining elements in mg/kg

nizke vsebnosti živega srebra (0,38 % do 0,40 %, Dimkovski, 1972) je rudnik med delovanjem komaj kril stroške obratovanja. Vsega skupaj so iz rudnika pridobili okoli 110.000 ton rude in največ 360 ton živega srebra. Ob rudniku je od leta 1855 delovala nekaj let tudi topilnica (Mohorič, 1957). Večino rudniške jalovine in topilniških ostankov so odlagali na odvalu ob potoku v Potočnikovem grabnu, del pa so ga kasneje

uporabili pri gradnji ceste, ki poteka vzdolž doline.

## Materiali in metode

Vzorčenje tal je potekalo v letih 2003 in 2004. Skupno je bilo odvzetih 63 vzorcev zgornjih talnih horizontov (0-5 cm) v šestih profilih prečno na dolino na širšem območju

rudišča in v raziskovalni mreži 100 × 100 m na ožjem območju nekdanjega rudniško-topilniškega kompleksa (88 ha). Na ožjem območju rudišča so bili na 23 vzorčnih lokacijah odvzeti tudi spodnji talni horizonti (20-30 cm).

Posamezen vzorec je predstavljal kompozit vzorcev 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 na 0.125 mm. Vzorčenje, priprava vzorcev in analitika je opravljena po že uveljavljeni metodologiji (Šajn, 1999; Šajn, 2003).

Vzorci so bili analizirani s plazemsko emisijsko spektrometrijo (ICP) po štirikislinskem razklopu (HClO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl in HF), 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). Vsebnosti Hg so bile po razklopu z zlatotopko določene z atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS) po postopku hladnega izparevanja. Vzorce in naključno izbrane dvojnike ter geološke standardne materiale GXR-2, GXR-5 in GXR-6 (Epstein, 1990) so v laboratoriju ACME v Kanadi analizirali po naključnem zaporedju.

Občutljivost analitike je zadovoljiva za 39 analiziranih prvin. Ag, Au in S smo izločili iz nadaljnje obdelave, ker je bila njihova vsebnost v večini vzorcev nižja od meje zaznavnosti analitike. Za ostale prvine smo ugotovili, da so občutljivost, pravilnost in natančnost analitike zadovoljivi, zato smo lahko analize vrednosti brez zadržkov vključili v nadaljnjo obdelavo.

V postopku statistične obdelave smo upoštevali skupino 29 vzorcev tal (0-5 cm) odvzetih v profilih prečno na dolino potoka Mošenik, ter skupini 41 vzorcev tal (0-5 cm) (tab. 1, sl. 1) in 23 vzorcev tal (20-30 cm) iz ožjega območja rudnika in topilnice.

Za oceno povezav med prvini smo uporabili multivariatni statistični metodi: clustersko in faktorsko analizo vrste R (Košmelj, 1983; Davis, 1986; Reimann et al., 2002). Iz skupine obravnavanih prvin smo izločili še vsebnosti 18 prvin, ki so imele pri

faktorski analizi nizek delež komunalnosti ali pa niso kazale smiselnih povezav z ostalimi prvini oziroma so imele težnjo formiranja samostojnega faktorja. V faktorski analizi se je začetno število 21 spremenljivk skrčilo na 2 glavni spremenljivki, ki zajemata približno 89 % celotne variabilnosti obravnavanih prvin. Rezultate faktorske analize smo predstavili v obliki matrike značilnih rotiranih faktorskih obremenitev (tab. 2).

Rezultate raziskave smo prikazali v obliki kart porazdelitev faktorskih vrednosti (sl. 2 in 3) ter kart vsebnosti Hg (sl. 4), Ca (slika 5) in P (sl. 6). V postopku izdelave geokemičnih kart smo uporabili interpolacijsko metodo univerzalnega krigranja z linearnim variogramom (Perišić, 1983; Davis, 1986). Pri interpolaciji posameznih prvin smo upoštevali 41 vzorcev tal (0-5 cm) iz bližnje okolice rudnika in topilnice. Mejne vsebnosti razredov so izbrane na osnovi percentilov porazdelitve interpoliranih vrednosti in so razdeljene na 7 vsebnostnih razredov: 0-10, 10-25, 25-40, 40-60, 60-75, 75-90 in 90-100 percentilov porazdelitve prvine.

Tabela 2. Dominantne vrednosti rotiranih faktorskih obremenitev (n=64).

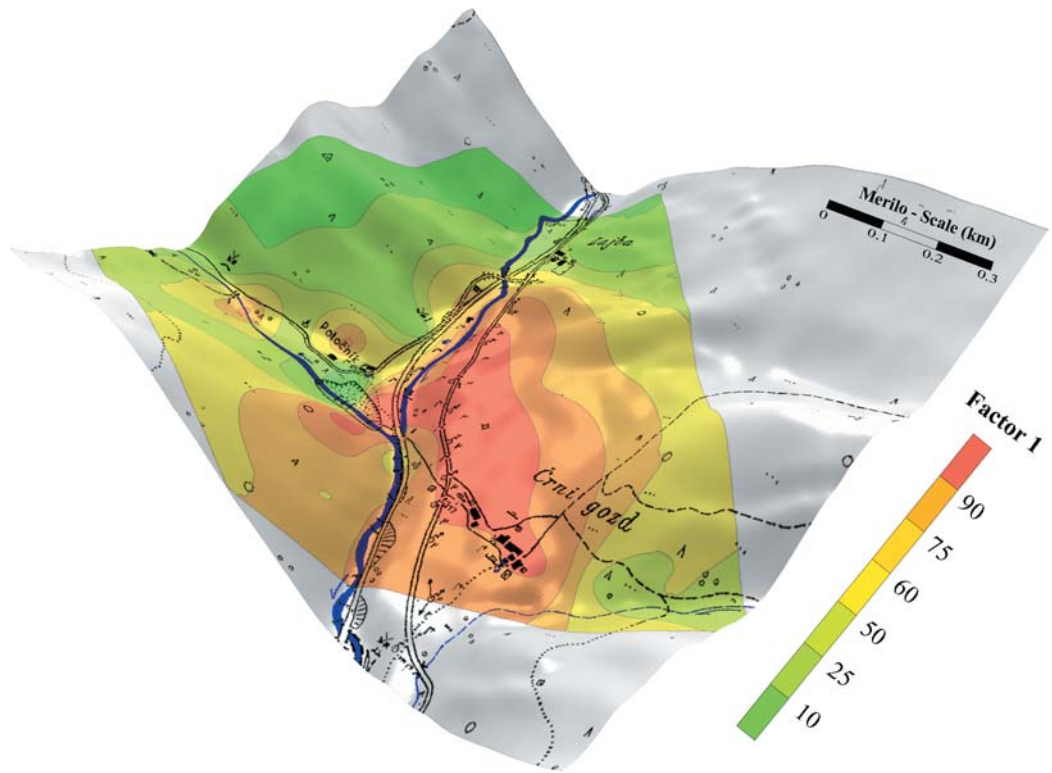
Table 2. Characteristic values of rotated factor loadings (n=64).

|     | F1    | F2    | Comm |
|-----|-------|-------|------|
| Zr  | 0.96  |       | 92.8 |
| Th  | 0.95  |       | 96.9 |
| Hf  | 0.95  |       | 90.4 |
| K   | 0.93  |       | 90.7 |
| Ce  | 0.89  |       | 95.7 |
| La  | 0.89  |       | 88.6 |
| Na  | 0.88  |       | 88.9 |
| Rb  | 0.84  |       | 90.3 |
| W   | 0.79  |       | 83.6 |
| Ta  | 0.76  | 0.59  | 92.0 |
| Nb  | 0.72  | 0.63  | 91.4 |
| Al  | 0.71  | 0.67  | 94.8 |
| Ba  | 0.70  | 0.51  | 75.1 |
| Cr  |       | 0.95  | 90.3 |
| Ni  |       | 0.95  | 90.4 |
| Co  |       | 0.94  | 88.4 |
| Fe  |       | 0.92  | 91.2 |
| Li  |       | 0.86  | 80.8 |
| Ti  |       | 0.85  | 92.9 |
| V   |       | 0.83  | 72.7 |
| Sc  | 0.65  | 0.71  | 92.5 |
| Var | 48.40 | 40.70 | 89.1 |

**F1 ... F5** - Faktorske obremenitve;  
Factor loadings

**Kom** - Komunalnost v %; Comunality in %

**Var** - Varianca v %; Variance in %



Sl. 2. Porazdelitev vrednosti faktorja 1 v tleh (0-5cm).

Fig. 2. Areal distribution of factor 1 scores in topsoil (0-5 cm).

Vsebnostne razrede smo postavili tako, da so vrednosti okrog povprečja v širših razredih, nizke in visoke pa v ožjih razredih.

### Rezultati in diskusija

Na podlagi pregleda kart porazdelitev posameznih prvin, rezultatov clusterske in faktorjske analize (tab. 2) smo ločili dve skupini kemičnih prvin, ki predstavljata naravni geokemični združbi, ter porazdelitvi Hg, Ca, P, ki na obravnavanem ozemlju kažejo antropogeno povzročeno porazdelitev.

#### Naravna porazdelitev vsebnosti kemičnih prvin

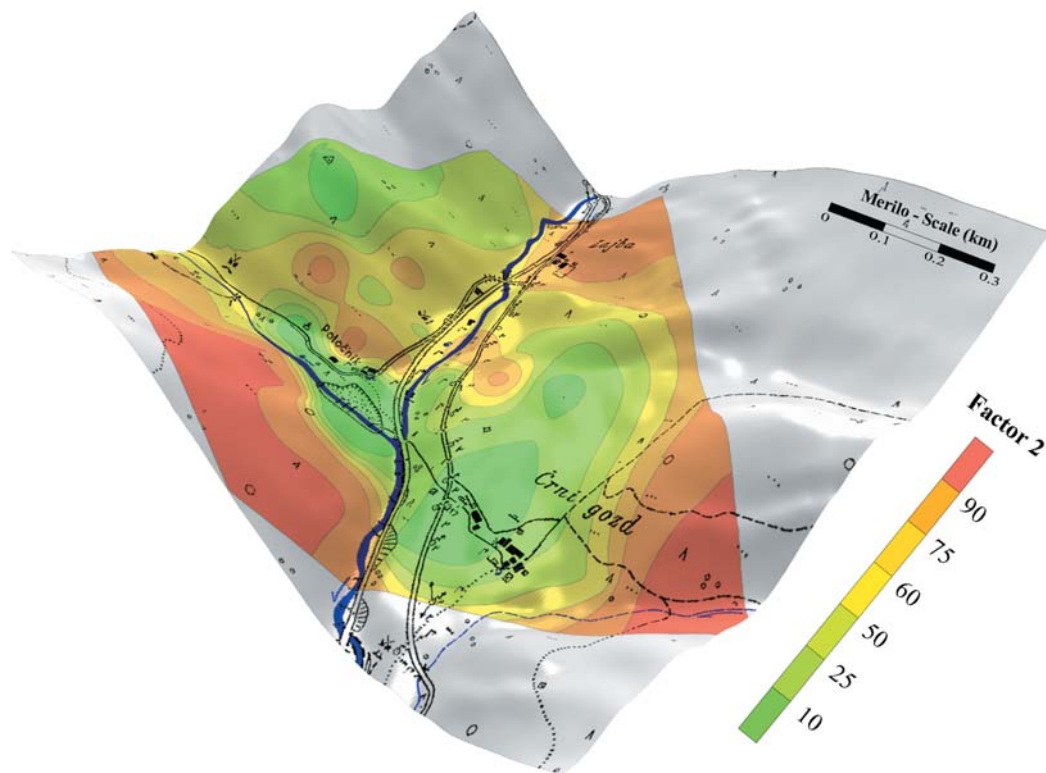
Prva skupina kemičnih prvin zajema višje vsebnosti Zr, Th, Hf, K, Ce, La, Na, Rb, W, Ta, Nb, Al in Ba (tab. 2). Vsebnosti geokemične združbe se z globino povečujejo. Vsebnosti

navedenih prvin v zgornjih talnih horizontih nihajo na ravni slovenskih povprečij, v spodnjih talnih horizontih pa so vrednosti slovenskega povprečja (Šajn, 2003) presežene. Visoke vrednosti faktorja 1 so vezane na horizont B rjavih pokarbonatnih tal, nastalih na nekdanjem podoru (sl. 2).

Druga skupina kemičnih prvin združuje Sc, Cr, Ni, Co, Fe, Li, Ti in V (tab. 2) in pojasnjuje slabih 41 % celotne variabilnosti. Tudi vsebnosti te geokemične združbe se z globino povečujejo, vendar so tako v zgornjih kot v spodnjih talnih horizontih nižje od ocenjenega slovenskega povprečja za tla (Šajn, 2003). Visoke vrednosti faktorja 2 so vezane predvsem na tla, razvita na izdankih laporja, meljevca in ignimbritnega tufa (sl. 3).

#### Antropogeno povzročene porazdelitve

Na podlagi analiziranih talnih vzorcev znaša mediana vsebnosti Hg v tleh (0-5 cm)



Sl. 3. Porazdelitev vrednosti faktorja 1 v tleh (0-5cm).

Fig. 3. Areal distribution of factor 1 scores in topsoil (0-5 cm).

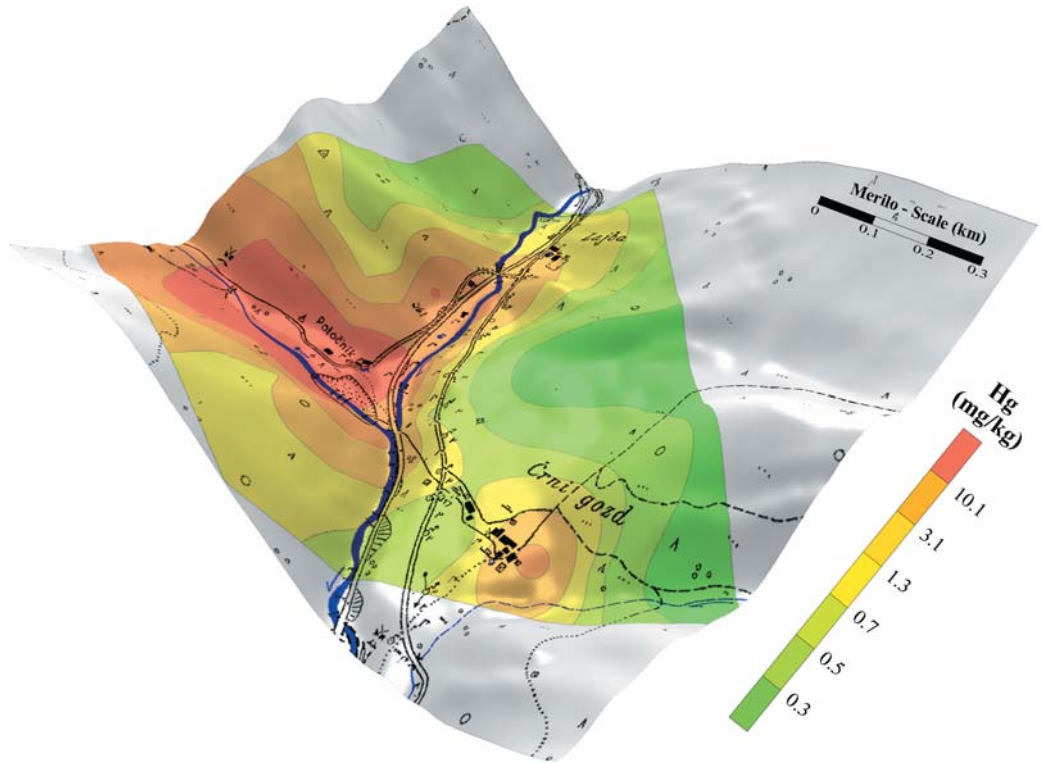
na širšem območju 0,54 mg/kg (0,075–6,6 mg/kg). Na območju nekdanje topilnice znaša mediana vsebnosti Hg 1,3 mg/kg (0,17–718 mg/kg).

Izrazito najvišja vsebnost živega srebra je bila določena v vzorcu, odvzetem na območju nekdanje topilnice (718 mg/kg). Glavni vir živega srebra predstavljajo tukaj nekdanje atmosfere emisije zaradi žganja rude in izgub v okolje, ki so posledica tehnološkega postopka predelave rude, razlitja živega srebra iz počenih posod in podobno. Ozemlje ob nekdanjih topilniških obratih je sedaj poraščeno z gozdom, tla pa so plitva in skeletna ter vsebujejo veliko organske snovi, ki zelo močno veže živo srebro, kar še dodatno vpliva na visoke koncentracije Hg v tleh na tej lokaciji.

Koncentracije Hg so povišane tudi v tleh na odvalu. Vir živega srebra predstavljajo tukaj žgalniški ostanki, revna neprežgana ruda in jalovina. Najvišja izmerjena vsebnost Hg na odvalu (108 mg/kg), je skoraj 7-

krat nižja od vsebnosti Hg na območju topilnice. Tla so na območju odvala slabo razvita in so izrazito skeletna (nad 50 % skeleta). Velik del odpadkov na odvalu predstavljajo ostanki žgane rude. Ker je bil izkoristek pri žganju majhen (55 % po Mohoriču, 1957), žgalniški ostanki verjetno še zmeraj vsebujejo precej živega srebra. Zaradi primitivnih žgalnih tehnik v obdobju delovanja topilnice je prevladujoča oblika živega srebra na odvalu najverjetneje cina-barit. Živo srebro, vezano z žveplom (cina-barit), ni hlapno in tako samo po sebi ne predstavlja večje obremenitve za okolje in organizme (Kabata-Pendias & Pendias, 1986).

Ugotovljeno je bilo, da je kritična vrednost za Hg v tleh (10 mg/kg, Ur. l. RS 68/69) presežena le v neposredni okolici nekdanje topilnice, na 9 ha velikem ozemlju (sl. 4). Z oddaljenostjo od nekdanjega rudniško-topilniškega kompleksa vsebnosti Hg hitro upadejo in dosežejo na obrobjih obravnava-



Sl. 4. Porazdelitev živega srebra v tleh (0-5cm).

Fig. 4. Areal distribution of mercury in topsoil (0-5 cm).

nega ozemlja nivo slovenskega povprečja (0.065 mg/kg, Šaj n, 2003).

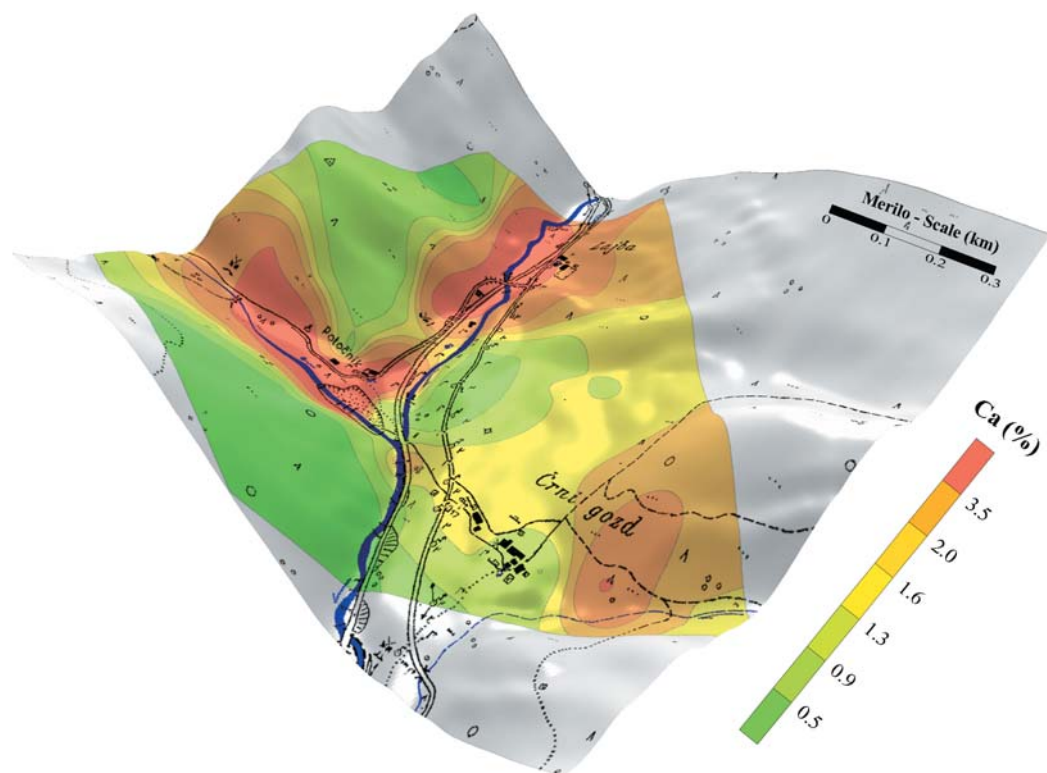
Tla so nekoliko obremenjena s Hg tudi ob cesti Tržič-Ljubelj, ki poteka vzdolž doline, kar je posledica uporabe odpadnega materiala iz rudnika in topilnice pri gradnji cest. Povišana vsebnost Hg v naselju Črni gozd je posledica bližine izhoda iz nekdanjega rudniškega rova.

V večini obravnavanih vzorcev, kjer sta bila vzorčena oba talna horizonta, je vsebnost Hg višja v zgornjem talnem horizontu v primerjavi s spodnjim. Povišane vsebnosti Hg v tleh na obravnavanem ozemlju so torej predvsem posledica antropogenega vpliva zaradi rudarjenja in topilništva. Niti na eni vzorčni lokaciji izmerjene koncentracije Hg ne kažejo močnega geogenega vpliva. Tudi v primerih, kjer je več živega srebra v spodnjih talnih horizontih kot v zgornjih, gre večinoma za tla, razvita na nasutem materialu in je takšno stanje prav tako posledica antropogenega vpliva.

Antropogeno povišani prvini sta na

obravnavanem ozemlju tudi kalcij in fosfor. Visoke vrednosti Ca v tleh so posledica preperavanja in so vezane na rendzine, nastale na triasnih apnenicah in dolomitih. Povprečna vsebnost v zgornjih talnih horizontih je nekoliko višja kot v spodnjih. Vsebnosti so višje od ocenjenega slovenskega povprečja za tla (0,70 % po Šajnu, 2003). Najvišje vrednosti Ca so na območju Potočnikovega grabna, kjer so kopali oruden apnenec in na poseljenem območju v dolini ter ob cesti, kar bi lahko bila posledica gradnje in preperavanja gradbenih materialov (sl. 5).

Ocenjeno povprečje za fosfor na obravnavanem območju je sicer nižje od ocenjenega povprečja za slovenska tla (0,10 %, Šaj n, 2003), vendar kaže P zanimivo porazdelitev. V zgornjih talnih horizontih je povprečna vsebnost nekoliko višja kot v spodnjih. Najvišje vsebnosti, ki presegajo tudi ocenjeno slovensko povprečje za tla in se pojavljajo v najnižjih in naseljenih predelih, so najverjetneje povezane s kmetovanjem (sl. 6).



Sl. 5. Porazdelitev kalcija v tleh (0-5cm).

Fig. 5. Areal distribution of calcium in topsoil (0-5 cm).

## Sklepi

Vpliv nekdanjega rudarjenja na okolje na območju opuščenega rudnika v Podljubelju je prostorsko močno omejen, saj je kritična vrednost za Hg v tleh presežena le na 9 ha raziskanega ozemlja. Vsebnost Hg v tleh niha v odvisnosti od bližine virov kontaminacije, kemizma tal, matične geološke podlage, morfologije terena in raznih antropogenih dejavnikov. Zelo visoke vsebnosti Hg v tleh v neposredni okolici opuščene topilnice so posledica nekdanjih atmosferskih emisij ter izgub v okolje in se vzdržujejo zaradi visokega deleža organske snovi v tleh na tem območju. Vsebnosti Hg v tleh na splošno padajo z globino in z oddaljenostjo od rudniško-topilniških obratov in dosežejo na obrobjih raziskovanega ozemlja nivo slovenskega povprečja.

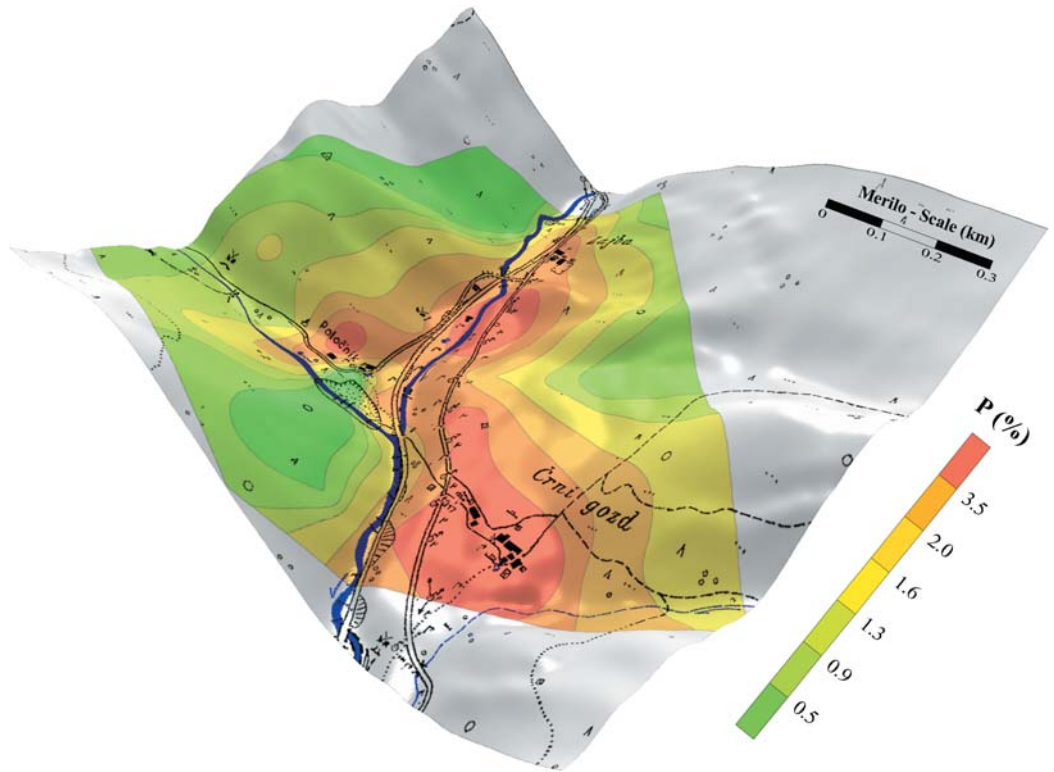
## Zahvala

Prikazane geokemične raziskave je financiralo Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo v okviru raziskovalnega programa Podzemne vode in geokemija, ki ga izvaja Geološki zavod Slovenije. Del prikazanih geokemičnih raziskav v Podljubelju in okolici je obravnavan tudi v diplomskem delu Tamare Teršič (2005), ki ga je opravila na Naravoslovnotehniški fakulteti pod mentorstvom prof. dr. Jožeta Pezdicha in komentarstvom dr. Mateje Gosar.

## Literatura

- Davis, J.C. 1986: Statistic and data analysis in geology. - Willey & Sons, 651 pp., New York.  
 Dimkovski, T. 1972: Geološke raziskave živega srebra na območju Podljubelj od 1965 do





Sl. 6. Porazdelitev fosforja v tleh (0-5cm).

Fig. 6. Areal distribution of phosphorus in topsoil (0-5 cm).

1971 leta: poročilo. – Arhiv Geološkega zavoda Slovenije, 47 str., Ljubljana.

Drovenik, M., Pleničar, M., Drovenik, F. 1980: Nastanek rudišč v SR Sloveniji. – *Geologija*, 23/1, 1-137 (priloga: Metalogenetska karta SR slovenije 1:217.000), Ljubljana.

Epstein, M. S. 1990: Report of analysis. – U.S. Department of commerce, National institute of standards and technology, 16 pp., Gaithesburg, Maryland.

Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1986: Trace elements in soils and plants. – CRC Press, 315 p., Boca Raton, Florida.

Košmelj, B. 1983: Uvod v multivariatno analizo. – Univerza u Ljubljani, Ekonomska fakulteta Borisa Kidriča, 272 str., Ljubljana

Mohorič, I. 1957: Zgodovina obrti in industrije v Trziču, Prva knjiga. – Državna založba Ljubljana, 379 str., Ljubljana.

Perišić, M. 1983: Primenjena geostatistika (knjigi 1 in 2). – Rudarski institut Beograd, 534 str., Beograd.

Reimann, C., Filzmoser, P. & Garrett, R. G. 2002: Factor analysis applied to regional

geochemical data: problems and possibilities. *Applied Geochemistry*, 17, 185-206.

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: XII<sup>th</sup> International Conference on Heavy Metals in the Environment; 2003, Grenoble. *Journal de Physique, Les Ulis*, 107, 1173-1176, Grenoble.

Šipec, S. 1990: Jesenice in njihova ekološko – geografska problematika. – Knjižnica oddelka za geografijo, Filozofska fakulteta, 232 str., Ljubljana.

Teršič, T. 2005: Vplivi nekdanjega rudarjenja v Podljubelju na okolje, diplomsko delo. – Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 104 str., Ljubljana.

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.