

Koliko živega srebra je akumulirano v poplavnih sedimentih reke Idrijce?

What is the amount of mercury accumulated in the Idrijca River overbank sediments?

Gorazd ŽIBRET & Mateja GOSAR

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, gorazd.zibret@geo-zs.si,
mateja.gosar@geo-zs.si

Ključne besede: Idrija, živo srebro, Slovenija, onesnaženje, aluvij, rečne terase
Key words: Idrija, mercury, Slovenia, pollution, alluvium, river terraces

Kratka vsebina

Del rudniških in žgalniških odpadkov Rudnika živega srebra Idrija so odlagali v korito reke Idrijce, ki je material ob visokih vodah transportirala nizvodno. Odložil se je v aluvialnih sedimentih reke Idrijce, Soče ter v Tržaški zaliv in bistveno prispeval k obremenitvi z živim srebrom. Namen raziskave je bil ugotoviti količino živega srebra, odloženega v aluvialnih sedimentih Idrijce. To smo dosegli tako, da smo pomnožili vsebnost živega srebra v sedimentih z njegovo maso. Za izračun količine materiala smo kartirali kvartarne sedimente reke Idrijce, to je njene terasne sisteme od Idrije do izliva Bače v Idrijco. Za določitev prostorske razporejenosti vsebnosti živega srebra v sedimentih smo vzorčili aluvialne ravnine po vzorčni shemi, ki omogoča analizo variance. To je bilo pomembno za določitev vsebnosti živega srebra tudi v aluvialnih ravninah, ki niso bile vzorčene. Statistična obdelava je pokazala, da je vsebnost živega srebra v aluviju najbolj odvisna od položaja materiala znotraj aluvialne ravnine, torej od tega, ali material leži na poplavni ravnici, ki je najbolj onesnažena, na prvi ali kateri višji terasi. Ob upoštevanju tega dejstva ter podatkov kartiranja smo ocenili, da je v aluvialnih sedimentih reke Idrijce od Idrije do izliva Bače akumulirano 2029 ton živega srebra.

Abstract

Part of mine tailings and roasted ore remains of the Idrija mercury mine was deposited in the bed of the Idrijca River that transported the load downstream at high waters. It was deposited in alluvial sediments of the Idrijca and Soča Rivers, and in the Trieste Bay, essentially contributing to mercury pollution of environment. The goal of the reported research was to estimate the mercury amount accumulated in the Idrijca alluvial deposits. This was attained by multiplying the mercury contents in sediments by their weight. For calculation of this amount the Idrijca Holocene sediments in the terrace systems from Idrija to confluence of Bača river into it were mapped. For assessing the spatial distribution of mercury contents in sediments the alluvial floodplains were sampled according to an analysis-of-variance sampling design. This was important for establishing the amounts of mercury also in alluvial deposits that were not sampled. The analysis of variance indicated the mercury contents in alluvium to be the most dependent upon the position of the material within the alluvial plain, i.e. either on the most polluted floodplain, on the first or on some higher terrace. By considering this indication and the mapping results we estimated the amount of mercury accumulated in the Idrijca river alluvial sediments from Idrija to the confluence of Bača at 2029 tons.

Uvod

Rudarjenje velikokrat negativno vpliva na okolje (Salomons, 1995). To potrjujejo primeri iz vsega sveta. Kovine se prenašajo po vodi in zraku. Posledica tega so lahko povišane vsebnosti le-teh v tleh, sedimentih in zraku ter ekološke škode, ki jih povzroči prisotnost in kemična preobrazba vnesenih strupenih snovi. Posledica fizične remobilizacije opuščanih rudniških in topilniških jalovišč so povišane vsebnosti težkih kovin v aluvialnih sedimentih nizvodno od vira onesnaženja in so tako lahko bistveni vir onesnaženja rek (Hudson-Edwards, 2003).

Izkoriščanje živosrebreve rude v Idriji je trajalo od leta 1490 do 1995. V tem petstoletnem obdobju so izkopali 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. Razlika, to je približno 37.500 t, se je izgubila pri predelavi (Dizdarevič, 2001). Te količine so prešle v različne dele okolja, ki bo zaradi obstojnosti živega srebra še dolgo močno obremenjeno. V obdobju med 1868 in 1977 so večino žgalniških ostankov vsipavali neposredno v Idrijco (Čar, 1992). Ta material se je ob poplavih prenašal nizvodno in kasneje odložil na poplavnih ravninah reke Idrijce in Soče (Gosar et al., 1997; Biester et al., 2000), ali pa je končal v Tržaškem zalivu (Horvat et al., 1999; Biester et al. 2000; Covelli et al., 2001; Horvat et al., 2003). Po obnovitvi proizvodnje leta 1983 zaradi ekoloških razlogov ni bilo več dovoljeno vsipavanje žgalniških ostankov v strugo Idrijce (Čar, 1992).

Z raziskavo skušamo odgovoriti na vprašanje, koliko živega srebra je akumulirano v aluvialnih sedimentih reke Idrijce. V pričujočem članku je opisana metodologija dela ter rezultati raziskave, katero bi bilo zanimivo razširiti še na aluvialne sedimente Soče, sedimente Tržaškega zaliva ter delno tudi na živo srebro v tleh v okolici Idrije. Na takšen način bi lahko odgovorili tudi na vprašanje, kje je 37.500 ton izgubljenega živega srebra.

Delni rezultati obravnavane raziskave so bili predstavljeni na 7. mednarodni konferenci "Mercury as a global pollutant" v Ljubljani (Žibret & Gosar, 2004) in na 17. posvetovanju slovenskih geologov (Žibret & Gosar, 2005).

Aluvialni sedimenti reke Idrijce

Poplavni sedimenti se odlagajo ob velikih poplavih v rečnih sistemih (Ottesen et al., 1989). Takrat količina vode s suspendiranimi delci ter drobci kamnin za nekajkrat preseže količino, ki lahko potuje po rečnem koritu, vodni nivo naraste za nekaj metrov, reka pa se razlije po poplavni ravnini. Ob poplavih, še posebno v njihovem zadnjem stadiju, se nekaj sedimenta odloži na teh ravninah, ki so običajno kar precej višje od nivoja običajnega rečnega toka. Tako v daljšem časovnem obdobju nastanejo skoraj vodoravne plasti poplavnih sedimentov. Ob eni poplavi se lahko odloži od nekaj milimetrov do nekaj deset centimetrov sedimenta. Skupna debelina poplavnih sedimentov na poplavni ravnici pa lahko doseže tudi nekaj metrov (Ottesen et al., 1989).

V zapolnitvi rečne doline oziroma nasipno naplavne ravnine (slika 1, po Kelmelis et al., 1994) ločimo obrobni in osrednji del. Na obrobni delu se kopičijo sedimenti nastali z gravitacijskimi procesi (bl) s pobočij, ki obdajajo dolino. To so koluvialni materiali in sedimenti, nastali pod vplivom masnih premikanj. Poleg navedenih lahko sem uvrščamo tudi sedimente aluvialnih vršajev. Ti sedimenti so v primeru doline reke Idrijce v podrejeni količini in v raziskavo niso bili vključeni. Osrednji del predstavlja rečna naplavna ravnina (Skaberne, 1996), znotraj katere ločimo rečno korito (ch) in obrežno ravnino (fp + nl + c + ts + rtl + rth), ki smo jo v članku poimenovali aluvialna ravnina.

Na rečni naplavni ravnini oziroma aluvialni ravnini lahko ločimo dele, ki jih ob poplavih občasno zalije voda, in dele, kamor voda tudi ob velikih poplavih več ne seže in so tako zunaj aktivnega rečnega vpliva. Dele, katere ob poplavih zalije voda, imenujemo poplavna ravnina (fp, slika 1). Znotraj nje se lahko razvijejo obrežni nasipi (nl) in prebojne pahljače, ki v primeru reke Idrijce niso izrazite, ter žlebovi (c), ki so pogostni predvsem v spodnjem toku Idrijce, kjer so poplavne ravnice večjih dimenzij. Poplavna ravnina v primeru reke Idrijce preide preko jež (terasnih odsekov, ts) v območja obrežne ravnine ali teras (rtl + rth), na katera ne sežejo rečni vplivi, ali pa so le-ti razmeroma redki. Na takih območjih se uveljavijo drugi procesi, kot so preperevanje in nastajanje tal, delovanje vetra in podobno. Teras pred-

stavljajo različno stare obrežne ravnine, ki so na različnih višinah. Njihov nastanek je posledica neenakomernega menjavanja obdobja povečane neto sedimentacije in obdobja intenzivnejše erozije (Skaberne, 1996).

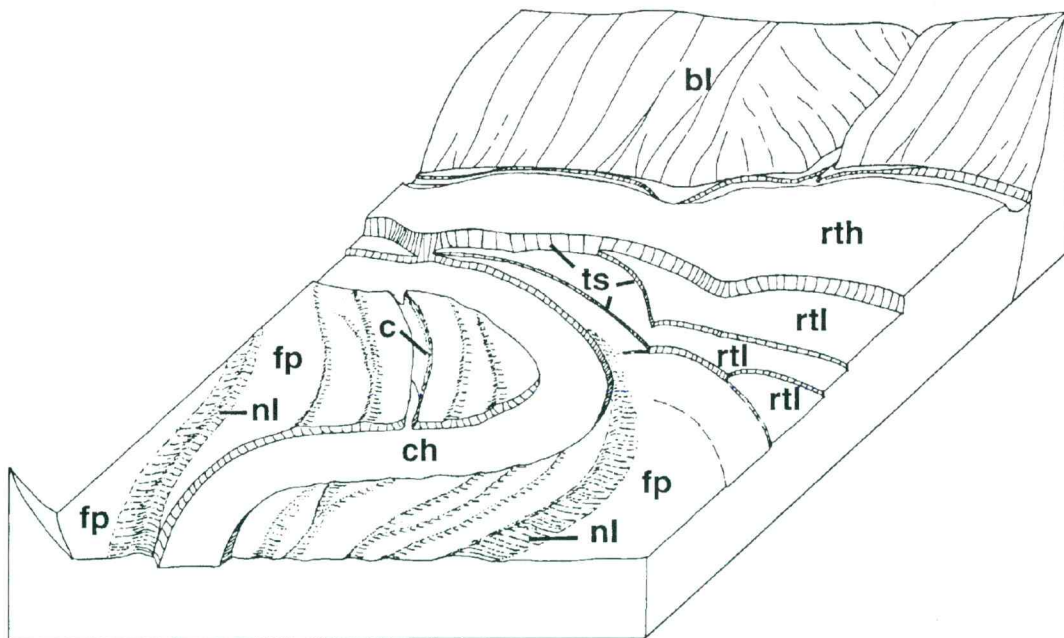
Na poplavnih ravninah reke Idrijce se aluvialni sedimenti ob visokih vodah odlagajo. Leže od 1 do 5 metrov nad aktivnim rečnim koritom, znotraj njih pa je velikokrat opazen eden ali več odtočnih kanalov globine do 50 centimetrov, mnogokrat ob ježah prvih teras. S pedološkega stališča leže na poplavnih ravninah nerazvita hidromorfna tla, talni tip obrečna tla, katerih matična osnova so mlade rečne naplavine (Škorić, 1977).

Prve terase so od 0,5 do 7 metrov nad poplavno ravnico. Zanje so značilna razvita tla in odsotnost svežih, recentno akumuliranih sedimentov ter skoraj popolna odsotnost odtočnih kanalov (žlebov). Ocenjujemo, da višino prvih teras dosežejo najmanj 50-letne vode. Ocenimo smo povzeli iz pogovorov z do-

mačini. Vse višje terase smo pri analizi variance obravnavali kot enoten faktor, čeprav smo jih na karti razčlenili glede na njihovo višino od rečnega korita. Za poplavne ravnice in terase je značilna uravnanost površja, kar je bil pogoj, da smo določen sediment obravnavali kot naplavino Idrijce.

Za aluvialne sedimente Idrijce je značilna prevladujoča peščeno meljasta sestava (>95%) s poredkimi od 1 do 5 centimetrov tankimi plastmi peska in prodnatega peska. Peščeno-meljasti sedimenti se na vseh vzorčenih lokacijah končajo s peščenim prodrom, ki leži na nivoju aktivnega rečnega korita, kar smo dokazali s pomočjo ročne vrtalne garniture. Prodniki velikosti do 10 centimetrov so na nivoju rečnega korita onemogočali nadaljnje odvzemanje vzorcev.

Za rabo tal na aluvialnih ravninah so značilne njive in travniki, redko gozd in gmajna. Zato je izredno pomembno, da se določi stopnja onesnaženja le-teh z živim srebrom.



Slika 1. Shematski prikaz rečnih geomorfoloških struktur (poenost. po Kelmelis et al., 1994): fp - poplavna ravnica; nl - nasip; ch - aktivno rečno korito; c - žleb; ts - ježa (terasni odsek); rtl - prva, druga in tretja terasa; rth - visoke terase; bl - koluvialni sedimenti; fp + nl + c + ts + rtl + rth - aluvialna ravnina.

Figure 1. Scheme of alluvial geomorphological structures (simplified after Kelmelis et al., 1994) for gravel bed meandering river like Idrijca: fp - floodplain; nl - natural levees; ch - active channel; c - chute; ts - terrace scarp; rtl - lower river terraces; rth - higher river terraces; bl - bluffs; fp + nl + c + ts + rtl + rth - alluvial plain.

Materiali in metode

Osnovna podatka, potrebna za izračun akumuliranega živega srebra, sta količina sedimenta ter vsebnost in porazdelitev živega srebra v njem. Za prvi podatek je bilo potrebno kartirati poplavne ravnice in terasne sisteme ob reki Idrijci. Podatke smo nanašali na topografsko karto v merilu 1 : 5.000, ki je bila povečana s karte 1 : 25.000. Pri tem je bil poudarek na dveh parametrih: površini poplavne ravnice ali terase ter njena relativna višina glede na rečno korito. Delno so se meritve izvajale z geodetsko opremo, zaradi zamudnosti takih meritev pa tudi le z opremo GPS (Global Positioning System) in na podlagi vizualnih ocen.

Naslednji korak k rešitvi problema so podatki o vsebnosti in porazdelitvi Hg v poplavnih sedimentih. To smo ugotovili z vzorčenjem z ročno vrtalno garnituro in kemično analizo vzorcev. Vzorci so bili pobrani glede na:

- dolžino transporta onesnažil od vira onesnaženja (Idrija);
- relativno višino teras;
- položaj in globino vzorca znotraj ene terase (na profilih smo vzorčevali v 6, 10 ali 20-centimetrskih intervalih, po možnosti do prodnate baze)

Tabela 1 in slika 2 prikazujeta položaj vzorčenih profilov na poplavnih ravninah ter število odvzetih vzorcev.

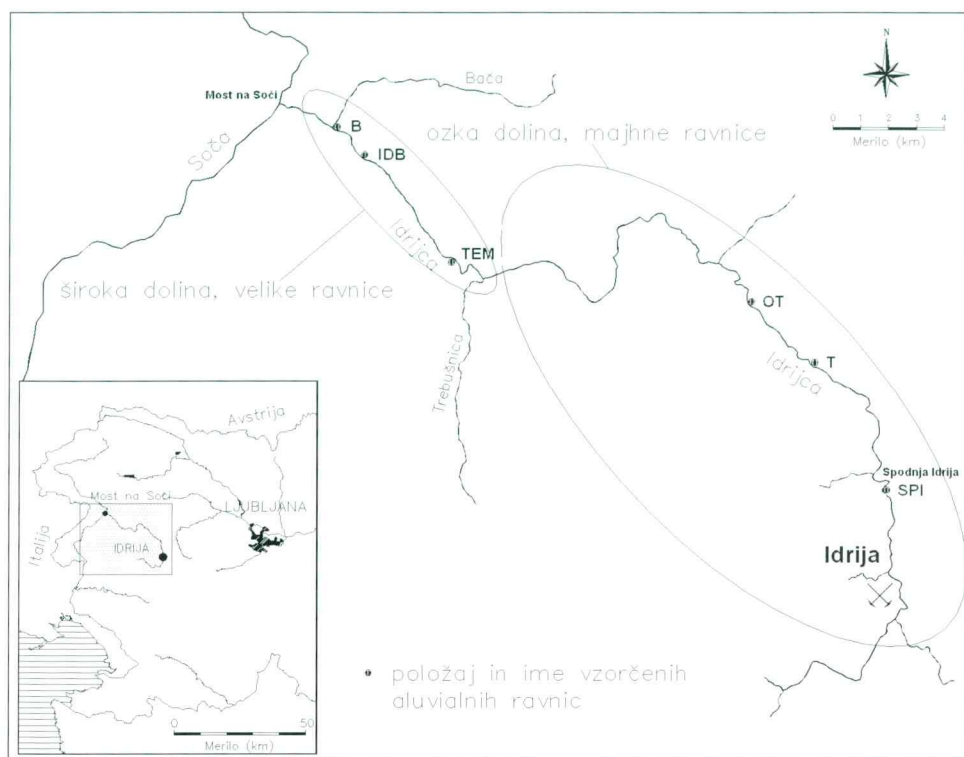
Laboratorijska obdelava vzorcev je obsegala sušenje pri temperaturi 25°C in drobljenje sprijetih grud, ne pa skeleta, v keramični terilnici. S suhim sejanjem smo pridobili, frakcijo manjšo od 0,063 mm. V tej je bila določena vsebnost živega srebra z neplamensko atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS) po izluževanju z zlatotopko (mešanica HCl : HNO₃ : H₂O v razmerju 3:1:2; 1 ura/95°C). 21 vzorcev je bilo dodatno analizirano po frakcijah (podatki iz Gosar, 1997) z namenom ugotoviti razliko vsebnosti Hg v najdrobnejši frakciji (<0,063 mm) glede na vsebnosti Hg v celotnem materialu. Vzorci so bili analizirani v laboratoriju ACME v Vancouvru v Kanadi. Vzorce in naključno izbrane dvojnike ter standardne materiale smo poslali v laboratorij po naključnem vrstnem zaporedju. S tem smo zagotovili nepristranskost analitike in enakomerno porazdelitev morebitnega spreminjanja analiznih pogojev preko vseh vzorcev. Zanesljivost kemičnih analiz smo ocenili kot zelo zadovoljivo.

Analiza variance pokaže, kateri nivo vsebuje največji delež variabilnosti. To je pomembno za oceno vsebnosti živega srebra v terasah, ki niso bile vzorčene. Varianco smo

Tabela 1. Oznaka profila, vzorčen material (fp= poplavna ravnica, 1st= prva terasa, 2nd= višje terase), približni položaj profilov, globina profila ter število odvzetih vzorcev na posameznem profilu.

Table 1. Profiles name, sampled material (fp=floodplain, 1st=1st terrace, 2nd=higher terraces), location of sampled profiles, depth of the profile and the number of samples inside the profile.

PROFIL PROFILE	MATERIAL MATERIAL	POLOŽAJ LOCATION	GLOBINA (cm) DEPTH (cm)	ŠT. VZORCEV NO. OF SAMPLES
SPI-1	fp	Spodnja Idrija	80	4
SPI-2	1st	Spodnja Idrija	160	8
T-1	fp	Travnik	140	7
T-2	1st	Travnik	60	3
OT-1	fp	Otalež	240	12
OT-2	fp	Otalež	220	11
TEM-1	2nd	Temnik	60	10
TEM-2	1st	Temnik	110	17
TEM-3	fp	Temnik	110	22
IDB-1	fp	Idrija pri Bači	200	21
IDB-2	1st	Idrija pri Bači	80	8
IDB-3	fp	Idrija pri Bači	150	15
IDB-4	fp	Idrija pri Bači	210	34
IDB-5	1st	Idrija pri Bači	60	11
B-1	fp	Bača pri Modreju	380	19
B-2	fp	Bača pri Modreju	380	19
B-3	1st	Bača pri Modreju	400	20
Skupaj: Total:				241



Slika 2. Položaj vzorčenih aluvialnih ravnin.

Figure 2. Macrolocation of sampled alluvial plains (in upper left ellipse the valley is wide and contains much accumulated alluvial sediments, lower right ellipse represents area of narrow valley with little accumulated sediment).

proučevali na štirih ravneh po shemi analize variance (slika 3). Celotno varianco analizi vrednosti lahko zapišemo kot vsoto varianc na različnih nivojih, kar prikazuje enačba 1 (Miesch, 1976).

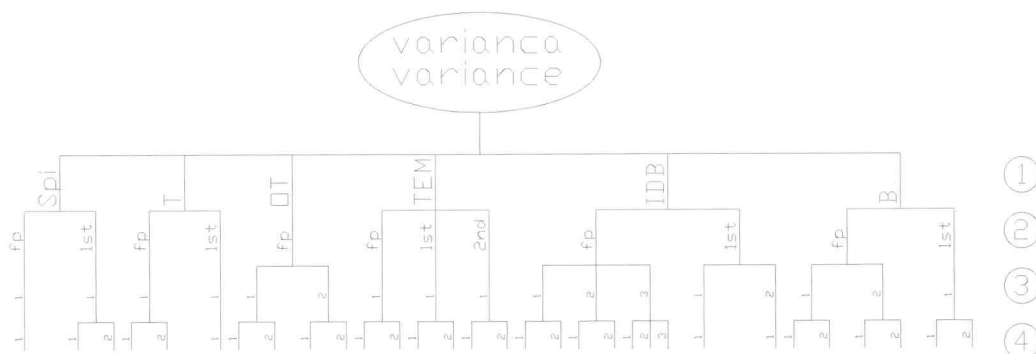
$$S_{\text{celotna}}^2 = S_{\text{oddaljenost}}^2 + S_{\text{ravnila}}^2 + S_{\text{znotraj}}^2 + S_{\text{globina}}^2 \quad (1)$$

Vzorčni plan je temeljil na naključnem izboru makro in mikrolokacij vzorčenih profilov. Prav tako so bili za analizo variance naključno izbrani vzorci iz profilov. Ker je analiza variance parametrična statistična metoda, jo lahko uporabljamo le pri normalno porazdeljenih populacijah (Miesch, 1976), zato je bila normalnost zagotovljena z logaritmiranjem, saj so se logaritmirani podatki dosti bolj prilegali Gaussovi krivulji kot nelogaritmirani. Število vzorcev, ki so bili upoštevani v analizi variance, je bilo 31.

Glede na rezultate analize variance smo ocenili vsebnosti živega srebra v terasah in

poplavnih ravninah, ki niso bile vzorčene. Ocenimo naredili glede na spremenljivko, ki izkazuje najvišjo statistično značilnost variabilnosti, ostale tri pa privzeli kot konstante. Za primer: če vsebuje spremenljivka "dolžina transporta sedimenta" največ variabilnosti, potem bomo računali vsebnosti živega srebra v aluvialnih sedimentih glede na oddaljenost le-teh od Idrije, vse ostale spremenljivke (globina vzorca, terasa in položaj znotraj terase) pa bodo v posamezni ravnini konstantne.

Idrija je glede na klasifikacijo rek v spodnjem toku tavajoča reka s prodnatim dnom (gravel bed wandering river, Miall, 1996). Zanja sta značilni eno ali dve aktivni rečni koriti, sinusni potek korita, prodnato dno in nasipi ter poplavnih sedimenti s terasami. Posebnost Idrije je ta, da je korito mnogokrat usekano v matično kamnino, še posebej v zgornjem delu toka. Zato reka ne more v celoti razviti karakteristične zgradbe korita



Slika 3. Shema analize variance (n=31). Opis posameznih nivojev: 1 - variabilnost vsebnosti živega srebra glede na dolžino transporta sedimenta (aluvialna ravnina kot enota); 2 - variabilnost vsebnosti živega srebra znotraj aluvialne ravnine (poplavna ravnica oziroma posamezna terasa kot enota); 3 - variabilnost vsebnosti živega srebra znotraj posamezne terase ali poplavne ravnice (vzorčna točka profila kot enota); 4 - variabilnost vsebnosti živega srebra glede na globino vzorca v profilu (vzorec kot enota);

Figure 3. The scheme of analysis of variance (n=31). Description of levels: 1 - alluvial plane as one unit with respect to distance from Idrija; 2 - variance within the alluvial plane, floodplain and terraces as one unit; 3 - variance within the floodplain or terrace; 4 - depth of collected sample.

in ravnin. Pri aluvialnih sedimentih reke Idrijce je bil upoštevan karakteristični profil, prikazan na sliki 4. Predpostavili smo bolj ali manj ravno prodnato bazo, sistem teras, ki imajo izravnano vodoravno površje ter približno enak naklon ježe, kot je naklon hribine. Ta model je bil delno potrjen tudi z vzorčenjem, saj smo pri vrtanju naleteli na prod v globini, ki je ustrezala nivoju prodnatega dna reke.

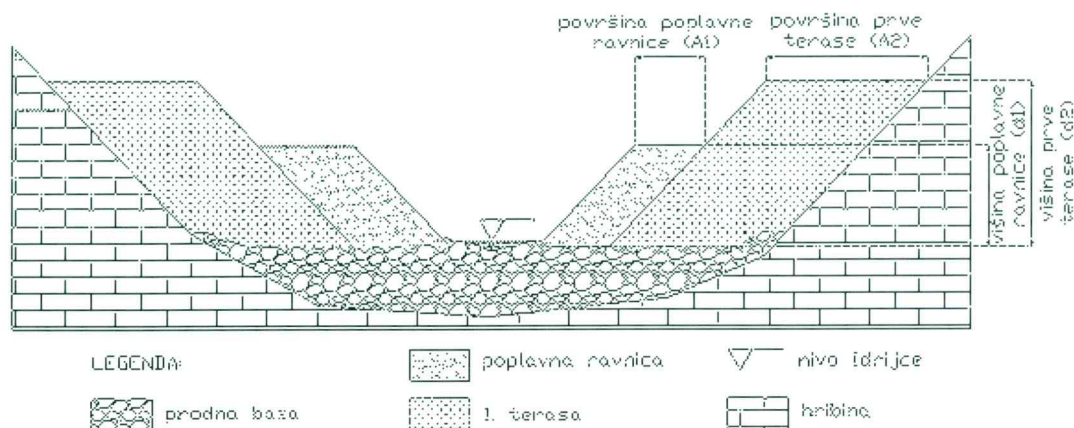
Izračun količine in mase živega srebra, nakopičenega v posamezni poplavni ravnici ali terasi, je potekal po enačbi 2. Predpostavili smo, da imajo posamezne terase obliko prizem s poljubno osnovno ploskvijo (slika 4). Prostornina prizme se izračuna tako, da pomnožimo površino osnovne ploskve (A_i , v m^2) z višino prizme (d_i , v m). ρ pomeni gostoto materiala (v kg/m^3), ki je bila ocenjena po literaturnih podatkih na $2.082 kg/m^3$ (SImetric, 2004), C_{Hg} pa vsebnost živega srebra v mediju. ψ je brezdimenzijska konstanta in predstavlja korekcijo rezultata, potrebno zaradi tega, ker je bila analizirana le najdrobnejša frakcija ($<0,063 mm$) in le-ta kaže na večje vsebnosti živega srebra, kot so v celotnem materialu. ψ je ocenjen iz analiz živega srebra v 21 vzorcih, analiziranih po granulometričnih frakcijah. Izkazalo se je, da frakcija pod $0,063 mm$ vsebuje okoli 1,8 krat večje vsebnosti živega srebra kot celotni material, torej znaša vrednost konstante ψ 0,56.

$$m_{Hg} = A_i \cdot d_i \cdot \rho \cdot C_{Hg} \cdot \psi \quad (2)$$

Izračun se je izvršil za vsako poplavno ravnico in teraso posebej glede na podatke iz terenskega ogleda in meritev ter laboratorijskih analiz oziroma ocen vsebnosti živega srebra. Končno maso nakopičenega živega srebra v poplavnih sedimentih reke Idrijce pa smo izračunali tako, da smo seštelili vse posamezne vrednosti.

Rezultati in diskusija

Rezultate analize variance prikazuje tabela 2. Pokazalo se je, da daleč največ opazovane variabilnosti (54,8%) vsebuje položaj vzorčne točke znotraj aluvialne ravnine glede na to, ali gre za poplavno ravnico, prvo ali višjo teraso. Pri ocenjevanju vsebnosti živega srebra v sedimentih reke Idrijce ni pomembno, koliko smo od Idrije oddaljeni (28,4% celotne variabilnosti), postranskega pomena pa je tudi položaj točke znotraj posamezne poplavne ravnice ali terase (2,6%) ali globina odvzetega vzorca (14,2%). Pri tem ni pravila, ali vsebnosti živega srebra z globino naraščajo ali padajo. Nekateri geokemični profili kažejo na trend naraščanja, spet drugi na trend padanja. Verjetno so poplavne ravnice, ki kažejo trend naraščanja vsebnosti živega srebra z globino, podvržene hitrejšemu recentnemu usedanju materiala kot



Slika 4. Privzeti prerez skozi aluvialno ravnico reke Idrijce.

Figure 4. Assumed cross section through the alluvial plain ("prodna baza" = gravel river bed; "poplavna ravnica" = floodplain; "1. terasa" = 1st terrace, "nivo Idrijce" = water level; "hričina" = bedrock; A1 = area of floodplain; A2 = area of 1st terrace; d1 = height of floodplain; d2 = height of 1st terrace).

ravnice, kjer ta trend ni opazen ali je celo obraten.

Glede na rezultate analize variance smo pri računanju količine akumuliranega živega srebra upoštevali vsebnost živega srebra v vseh poplavnih ravninah kot konstanto. Ta je bila izračunana kot povprečje vsebnosti živega srebra v vseh vzorčenih ravninah in globinah. Vsebnost živega srebra za prvo in vse ostale višje terase je bila ocenjena po enaki metodi. Vrednosti znašajo 342,3 mg/kg za poplavno ravnico, 145,3 mg/kg za prvo teraso ter 718 mg/kg Hg za višje terase. Ob tem velja pripomniti, da so bile najvišje vsebnosti Hg v poplavnem sedimentu reke Idrijce zabeležene na površini poplavnih ravnin, in sicer med 200 in 500 mg/kg. Ta vrednost

se bistveno zmanjša (na okoli 50 mg/kg na površini) že na prvi terasi.

Ocenjena prostornina vseh poplavnih ravnin od Idrije do izliva Bače je $4,05 \times 10^6 \text{ m}^3$, prvih teras $2,31 \times 10^6 \text{ m}^3$ ter vseh ostalih višjih teras prav tako $2,31 \times 10^6 \text{ m}^3$. Skupna nakopičena količina živega srebra v aluvialnih sedimentih reke Idrijce znaša 2029 ton. To pomeni, da je 5% živega srebra, ki je bilo izgubljen v okolju zaradi rudarjenja v Idriji, v poplavnih sedimentih reke Idrijce od mesta Idrija do izliva Bače v Idrijo.

Ta rezultat je primerljiv z rezultati drugih raziskovalnih skupin. Žagar in sodelavci (2004) so določili, da je v Tržaški zaliv v zadnjih 500 letih bilo prineseno 2.500 ton Hg, Žagar in Širca (2001) pa, da je

Tabela 2. Komponente analize variance in njihov delež pri celotni varianci vsebnosti živega srebra v poplavnih sedimentih reke Idrijce.

Table 2. Components of variance of mercury concentration in the Idrija River overbank sediments.

KOMPONENTE ANALIZE VARIANCE COMPONENTS OF VARIANCE	% celotne variance % of total variance
oddaljenost od vira onesaženja distance from the source of pollution	28,34
različne poplavne ravnice in terase znotraj ene aluvialne ravnine different floodplains and terraces within alluvial plain	54,78
različni vzorčeni profili znotraj ene poplavne ravnice ali terase different profiles within one floodplain or terrace	2,60
globina odvzetega vzorca znotraj vzorčenega profila depth of sample within profile	14,28

letni vnos živega srebra v zaliv približno 1.500 kg.

Sklep

V 500-letni zgodovini idrijskega rudnika se je v okolje izgubilo ocenjenih 37.500 ton živega srebra. Nekaj tega se je razpršilo v okolje po zraku, kar ima za posledico avreolo povišanih vrednosti živega srebra v tleh (Gosar & Šajn, 2003). Nekaj Hg je nakopičeno v deponijah prežgane in siromašne rude v sami Idriji, del pa ga je odplavila reka Idrijca ob visokih vodah. To živo srebro se je nakopičilo v poplavnih sedimentih Idrijce, Soče ter sedimentih v Tržaškem zalivu. V pričujoči raziskavi smo ocenili, da je 5% v okolju izgubljenega živega srebra v aluvialnih ravninah ob Idriji. To oceno smo dobili s pomočjo podatkov o morfologiji aluvialnih ravnin ter podatkov o vsebnosti živega srebra v materialu, ki aluvialne ravnine sestavlja. Z dodatnimi raziskavami, predvsem sedimentov reke Soče in sedimentov Tržaškega zaliva, bi bilo mogoče zaokrožiti zgodbo o 37.500 tonah živega srebra, "izgubljenih" zaradi rudarjenja in predelave rude v Idriji.

What is the amount of mercury accumulated in the Idrijca river overbank sediments?

Extended summary

Part of the mine and roasted ore residues of Idrija mercury mine has been deposited in the Idrija river channel. This material has been transported downstream during the floods and deposited in the alluvial sediments of the Idrijca and Soča Rivers and in the sediments of Trieste Bay. The main idea of the present work was to estimate the amount of mercury deposited in alluvial sediments of the Idrijca River. This has been performed by mapping the Holocene alluvial deposits. We drew special attention to two parameters:

- area of deposits and
- height above the active channel.

In the second part of research we determined the mercury concentration in these sediments and its spatial distribution. The

total number of collected and analyzed samples was 241. They were sampled in 17 profiles on 6 locations - alluvial plains (Figure 1, Table 1 and Figure 2). Only the smallest fraction (<0.063 mm) was analyzed. The sampling plan enabled the analysis of variance. This is important for estimation of mercury concentration in the whole area of the Idrijca River alluvial sediments, including the mercury concentration in depth. It has been found that mercury concentrations mainly depend on the position within the alluvial plain. In other words, mercury content depends on its position on the floodplain, on the first terrace or on other higher terraces. This level of the analysis of variance design carries 54,8% of total variability.

The floodplain is the most contaminated area with maximum values extending up to 500 mg/kg. The concentrations rapidly decrease in the first terraces (50 mg/kg) and in other higher terraces where the maximum concentration drops to 7.5 mg/kg Hg. The level »depth of collected sample« carries 14,3% of total variability. The mercury concentration does not depend on the microlocation within one terrace or floodplain (2,6% of tot. var.) neither on the distance from the source of pollution (28,4% of tot. var.).

The estimation of mercury accumulation has been based on the assumption that all floodplains or terraces are homogeneously contaminated with mercury, regardless of distance from the Idrija, and depth. The degree of contamination of every unit have been assumed as an average value of all samples collected inside this unit (floodplain, 1st terrace or any other higher terraces). The volume of all deposited material in the floodplains from Idrija to affluent of Bača in the Idrijca near the town Most na Soči is estimated at 4.05×10^6 m³ with the average Hg concentration of 342,3 mg/kg. These values for all 1st terraces are 2.31×10^6 m³ and 145,3 mg/kg and for all higher terraces 2.31×10^6 m³ and 7,8 mg/kg respectively. With the estimation of alluvial silty sand density at 2,082 kg/m³ we calculated that if all alluvial material were made of the analyzed material (<0.063 mm), it would contain 3623 tons of mercury. The last step was to correct this result to the value appropriate to the deposited material. For 21 samples different fractions have been analyzed and it came out that smallest fraction contains 1.8 times

more mercury than all fractions together. The correction factor for the last result is then 0.56. The final result is that 2029 tons of mercury is deposited in the alluvial sediments of the Idrijca River. This is 5% of total estimated mercury which has been dissipated in the environment during the 500 years of mining in Idrija.

Literatura

- Biester, H., Gosar, M. & Covelli, S. 2000: Mercury speciation in sediments affected by dumped mining residues in the drainage area of the Idrija mercury mine, Slovenia. - *Environ. Sci. Technol.*, 34/16, 3330-3336.
- Car, J. 1992: Rudniški žgalniški ostanki in radioaktivnost.- Idrijski razgledi XXXVII, 1-2, 106-110, Idrija.
- Covelli, S., Faganeli, J., Horvat, M. & Brambati, A. 2001: Mercury contamination of coastal sediments as a result of long-term cinnabar mining activity (Gulf of Trieste, northern Adriatic sea). - *Applied Geochemistry*, 16/5, 514-558.
- 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.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2003: Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia. - *Journal de Physique IV*, 107, 561-565.
- Gosar, M. 1997: Živo srebro v sedimentih in zraku na ozemlju Idrije kot posledica orudenja in rudarjenja, doktorska disertacija. - Naravoslovnotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani.
- Gosar, M., Pirc, S. & Bidovec, M. 1997: Mercury in the Idrijca River sediments as a reflection of mining and smelting activities of the mercury mine Idrija. - *Journal of Geochemical Exploration*, 58, 125-131.
- Horvat, M., Covelli, S., Faganeli, J., Logar, M., Mandić, V., Rajar, R., Širca, A. & Žagar, D. 1999: Mercury in contaminated coastal environments; a case study: the Gulf of Trieste. - *Sci. total environ.*, 237/238, 43-56.
- Horvat, M., Kontić, B., Ogrinc, N., Jereb, V., Logar, M., Faganeli, J., Rajar, R., Širca, A., Petkovšek, G., Žagar, D. & Dizdarevič, T. 2003: Remediation of mercury polluted sites due to mining activities. - *Crit. rev. anal. chem.*, 33, 291-296.
- Hudson-Edwards, K.A. 2003: Sources, mineralogy, chemistry and fate of heavy metal-bearing particles in mining-affected river systems. - *Mineralogical magazine*, 67/2, 205-217.
- Kelmelis, J.A. et al. (skupno 27 avtorjev) 1994: Science for floodplain management into the 21st century. - U.S. Scientific Assessment and Strategy Team, U.S. Interagency Floodplain Management Review Committee & U.S. Administration Floodplain Management Task Force, Washington, D.C., dostopno na URL <http://edc.usgs.gov/sast/www/ch_5sast.htm>, 90.
- Miall, D.A. 1996: The Geology of Fluvial Deposits. - Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 213-217 & 459-474.
- Miesch, A.T. 1976: Geochemical survey of Missouri; methods of sampling, laboratory analyzing, and statistical reduction of data. - Geological survey professional paper, USGS, 954-a, 39, Washington.
- Mrakar, I. 1974: Osnovni parametri proizvodnje rudnika Idrija skozi stoletja do danes.- Idrijski razgledi, XIX/3-4, 1-40, Idrija.
- Ottesen, R.T., Bogen, J., Bølviken, B. & Volden, T. 1989: Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping.- *Journal of Geochemical Exploration*, 32, 257-277, Amsterdam.
- Salomons, W. 1995: Environmental impact of metals derived from mining activities: Process, prediction, prevention. - *Journal of Geochemical Exploration*, 52, 5-23.
- Simetric web page, dostopno na URL <http://www.simetric.co.uk/si_materials.htm>, last upgraded 9.10.2004, quoted 24.5.2005.
- Skaberne, D. 1996: Rečni sistemi in njihovi sedimentacijski modeli. - *Geologija*, 37/38, 251-269.
- Škorić, A. 1977: Tipovi naših tala. - Sveučilišna naklada Liber, 134 str., Zagreb.
- Žagar, D. & Širca, A. 2001: Mass balance and sediment transport modelling of mercury in the gulf of Trieste. - *RMZ Materials and Geoenvironment*, 48/1, 179-185.
- Žagar, D., Warwick, J.J., Knap, A., Rajar, R., Širca, A., Horvat, M., Ogrinc, N., Kotnik, J. & Četina, M. 2004: Historical Mercury Mass Balance of the Idrijca and Soča River Catchment. - *RMZ Materials and geoenvironment*, 51/2, 1464-1466.
- Žibret, G. & Gosar, M. 2004: Calculation of mercury accumulation in the Idrijca River overbank sediments. - *RMZ Materials and geoenvironment*, 51/1, 326-330.
- Žibret, G. & Gosar, M. 2005: Izračun količine akumuliranega živega srebra v sedimentih reke Idrijce. - *Geološki zbornik*, 18, 137-140.