

Vpliv žgalnic živosrebrove rude iz 16. in 17. stoletja na razširjenost živega srebra v okolici Idrije

Influence of mercury ore roasting sites from 16th and 17th century on the mercury dispersion in surroundings of Idrija

Mateja GOSAR¹ & Jože ČAR²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana
e-mail: mateja.gosar@geo-zs.si

²Beblerjeva 4, SI-5280 Idrija, Slovenija, e-mail: joze.car@siol.net

Ključne besede: postopki žganja, živo srebro, Idrija, onesnaženje, geokemija, Slovenija
Key words: ore roasting, mercury, pollution, geochemistry, Slovenia

Abstract

In the first decade of mercury mining in Idrija the ore was roasted in piles. After that the ore was roasted for 150 years, until 1652, in earthen vessels at various sites in the woods around Idrija. Up to present 21 localities of ancient roasting sites were established.

From the roasting areas Frbežene trate, lying on a wide dolomitic terrace on the left side of the road from Idrija to Čekovnik, 3 soil profiles are discussed. In all three profiles in the upper, organic matter rich soil horizon very high mercury contents (from 3 to 4,000 mg/kg) were found. In two profiles the contents rapidly decrease with depth, to about 10-times lower values already at 0.5 m. Below that, the mercury contents decrease slowly, to reach at the 1.3 m depth a few mg/kg metal. In the third profile the upper humic layer is followed downward by an additional humic layer containing very abundant pottery fragments. In this layer the maximum mercury contents were determined, 7.474 mg/kg Hg. The underlying loamy soil contains between 1000 and 2000 mg/kg mercury.

Pšenk is one of the larger localities of roasting vessels fragments. It is located at Lačna voda brook below Hlevše, above its confluence with the Padar ravine. The most abundant pottery remains are found in the upper western margin of the area, just below the way to Hleviš. The considered geochemical profile Pšenk contains at the top a 45 cm thick humic layer with 4,000 to 5,000 mg/kg mercury. Deeper the contents fall to around 100 mg/kg mercury. The calculations result in an estimated amount of 1.4 t mercury still present at the Pšenk locality, and in about 40 t of mercury on all roasting sites described up to present.

The determined mercury contents in soils at old roasting sites are very high, and they surpass all hitherto described localities at Idrija and in the surroundings.

Kratka vsebina

V prvem desetletju pridobivanja živega srebra v Idriji so rudo žgali v kopah. Potem pa so okrog 150 let, do leta 1652 žgali rudo v lončenih posodah na različnih lokacijah po gozdovih v okolici Idrije. Do sedaj so našli 21 lokacij starih žgalnic.

Na žgalniškem območju Frbežene trate, ki se nahaja na obsežni dolomitni izravnavi na levi strani ceste Idrija - Čekovnik, smo obravnavali 3 talne profile. Vsi trije profili vsebujejo v zgornjem, z organsko snovjo bogatem horizontu tal zelo visoke vsebnosti živega srebra (od 3.000 do 4.000 mg/kg). Vsebnosti v dveh profilih z globino hitro upadajo in že na globini 0,5 m vsebujejo približno za 10x manj živega srebra. Nižje se vsebnosti živega srebra počasi znižujejo in dosežejo v globini 1,3 m vsebnost nekaj mg/kg živega srebra. V tretjem profilu zgornji humozni plasti sledi prav tako humozna plast, ki vsebuje zelo veliko ostankov lončenine. V tej plasti smo določili najvišjo vsebnost živega srebra, kar 7.474 mg/kg. Spodaj ležeča ilovica vsebuje med 1.000 in 2.000 mg/kg živega srebra.

Pšenk je eno večjih nahajališč drobirja žgalniških posod. Razteza se na levem bregu potoka Lačne vode, ki priteka izpod Hleviš in se nekoliko nižje pretoči v Padarjevo grapo. Največje količine lončenine najdemo v zgornjem zahodnem obrobju območja, tik pod potjo proti Hlevišam. Obravnavani geokemični profil na lokaciji Pšenk sestavlja v zgornjem delu okoli 45 cm debela humozna plast, ki vsebuje od 4.000 do 5.000 mg/kg živega srebra. V globljih delih profila je okoli 100 mg/kg živega srebra. Izračunali smo, da na lokaciji Pšenk še danes leži okoli 1,4 tone živega srebra in ocenili, da se na vseh do sedaj opisanih lokacijah žgalnic nahaja okoli 40 t živega srebra.

Ugotovljene vsebnosti živega srebra v tleh na lokacijah starih žgalnic so zelo visoke in po vsebnosti živega srebra presegajo vse do sedaj opisane lokacije v Idriji in okolici.

Uvod

Idrija z okolico je bila v zadnjih desetletjih predmet obsežnih, vsestranskih in temeljitih raziskav geogenega in antropogenega onesnaženja z živim srebrom. Večina interpretacij raziskovalnih rezultatov so izhajale iz prepričanja, da je mesto Idrija, kjer so rudnik, opuščena topilnica in deponije žgalniških odpadkov ter revne rude, edini vir onesnaževanja. Tak zaključek je slonel na geoloških ugotovitvah, da izdanjajo orudene karbonske kamnine le na območju mesta in da je bila metalurška dejavnost v preteklih stoletjih koncentrirana na različnih lokacijah v Idriji. O žganju po gozdovih je bilo v zadnjih nekaj letih le malo napisanega (Čar, 1996; Gosar, 2004). Šele leta 2005 sta Čar in Terpin natančno preštudirala starejše vire o načinih žganja v prvih stopetdesetih letih delovanja rudnika in s terenskimi pregledi odkrila številna mesta žgalnic v gozdovih okrog Idrije. Nekdanja žgalniška mesta so prekrita z odvali odlomkov s cinobrom prevlečene glinene lončenine, v njihovi podlagi pa najdemo črno zemljo, bogato s živim srebrom. Glede na obseg in številčnost so lokacije starih žgalnic stalen vir emisij živega srebra (Čar & Terpin, 2005). Dosedanje interpretacije ekoloških raziskovalnih rezultatov in razporeditve živega srebra na Idrijskem tega podatka niso upoštevale, to pa seveda pomeni, da bo potrebno nekatere rezultate prevrednotiti. Ker so bile nove raziskave starih žgalnic doslej omejene le na zbiranje in interpretacijo zgodovinskih podatkov, ugotavljanje prostorske razporeditve lokacij žganja ter rekonstrukcijo žganja v lončenih žgalnih posodah (Čar & Terpin, 2005), je potrebno nadaljevati z raziskavami vsebnosti, količine in vertikalne porazdelitve živega srebra na lokacijah starih žgalnic ter poskušati odgovoriti na vprašanje kakšen vpliv je imelo tako pridobivanje na današnjo porazdelitev živega srebra v okolju. V prispevku predstavljamo preliminarne rezultate raziskav na lokacijah Frbežene trate in Pšenk.

Najstarejša načina žganja živossrebrnih rud v Idriji

V prvih letih rudarjenja v Idriji so pridobivali živo srebro izključno iz karbonskih kamnin, ki izdanjajo na površje v osrednjem

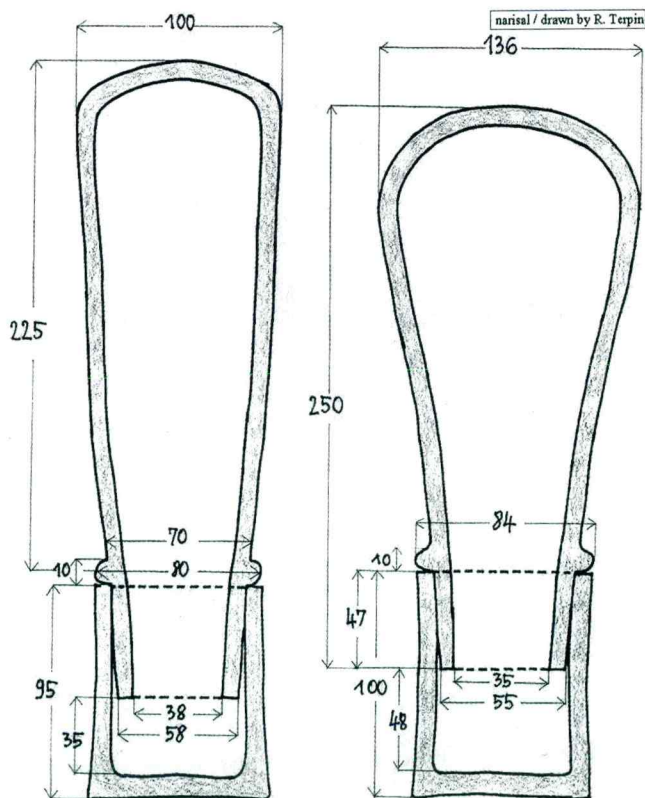
delu mesta in na pobočju območja Pronta. V karbonskih skrilavcih in muljevcih z lečami kremenovega peščenjaka se pojavlja orudjenje v obliki samorodnega živega srebra in cinabarita v razmerju približno 50:50 (Čar, osebni arhiv), skupni odstotek pa je bil – po kasnejših izkušnjah – od 0,3 do 1,5% Hg. Samorodno živo srebro so iz nakopanega materiala izpirali v bližnjem potoku Nikovi, s cinabaritom orudene kose pa žgali v preprostih kopah, podobno kot pridobivamo oglje. Opis najstarejšega načina žganja cinabaritne rude, ki so ga imenovali **žganje v kopah** (nemško *Haufenbrennen*), sta na podlagi arhivskih virov pripravila Verbičeva (1963; 1965; 1970b; 1990) in Valentinitsch (1981), vendar si iz njunih tekstov le težko predstavljamo, kako je postopek žganja potekal. Šele pred nedavnim je Kavčičeva na podlagi arhivskih virov in novih premislekov rekonstruirala žgalne kope, potek žganja in opisala težave, ki so pri tem nastajale (Kavčič, v tisku). Žgalno kopo so sestavili iz menjajočih se plasti drv in rude, jo prekrili z 10 do 15 cm debelo plastjo prsti in opremili z odprtinami podobno kot kope za žganje oglja. Po treh tednih, ko je bilo žganje končano, so začeli kopo ohlajati in živo srebro se je nabralo v kotanji pod njo (Kavčič, v tisku).

Postopek žganja v kopah so uporabljali le nekaj začetnih let rudarjenja v Idriji. Verbičeva (1965 in 1970b) piše, da naj bi ga delno opustili že leta 1494, v celoti pa verjetno po letu 1510 (Verbič, 1965). Čar in Terpin (2005) menita, da so opustili žganje v kopah že nekaj let po odkritju idrijskega rudišča. Proizvodnja Hg je bila v tem obdobju majhna, le nekaj 10 ton na leto. To je razumljivo, če upoštevamo relativno nizke odstotke živega srebra v skrilavi rudi in le okrog 50 % izkoristke (Mlakar, 1974) ter zelo dolg žgalni čas. Postopek žganja v kopah je bil energetsko izjemno potraten, saj so za pridobitev enega starega centa živega srebra (56 kg) porabili kar deset voz drv (Verbič, 1965 in 1970b). Menimo, da so v prvih letih postavljali žgalne kope le v bližini rudarskih kopov. Gozdovi v neposredni okolici še niso bili izsekani, velikih količin sorazmerno siromašnih rud pa tudi ni bilo ekonomsko tovoriti v širšo okolico. Bolj ali manj prežgane ostanke so odlagali na brežine Nikove in Idrije in ob deževju so visoke vode odvale odplavljale.

Čeprav ni natančno znano, katerega leta so vsestransko potratno žganje v kopah pri idrijskem rudniku opustili, pa ni dvoma, da so v začetku 16. stoletja postopno vpeljali bistveno izboljšan postopek **žganja v lončenih posodah**, imenovan nemški ali bavarski način (Verbič, 1963; 1965; 1970a; 1970b; 1990; 1993; Valentinitsch, 1981; Čar & Terpin, 2005). Žganje v lončenih posodah je v svoji znameniti knjigi *De re metallica* opisal Agricola (1556). Pri tem načinu žganja so uporabljali komplet dveh lončenih žgalnih posod. Zgornja, v obliki podolgovate buče, je bila večja, spodnja podložna posoda (recipient), ki se je prilegala ustju zgornje posode, pa precej manjša (slika 1). Rudo, ki je vsebovala samorodno živo srebro, so najprej zdrobili v zelo droban mulj in z izpiranjem izločili kapljice živega srebra. Postopek so po potrebi večkrat ponovili. Po izpiranju je ostal zelo droban rudni drobir, ki so ga imenovali šlih (der Schlich ali izpirek - ruda pridobljena na moker način). Rudni izpirek so posušili in ga običajno pomešali z

zdrobljeno rudo, ki ni vsebovala samorodnega živega srebra. Z rudno napolnjene lončene posode so obrnili in vtaknili v podložno posodo in stik skrbno zadelali. Lahko tudi več sto posod so položili na primerno pripravljeno žgalno mesto, pokrili z lesom in začeli žgati. Po približno dvanajstih (Valentinitsch, 1981) do štiriindvajsetih urah (Kavčič, ustno sporočilo) so prenehali s kurjenjem in začeli žgalne posode ohlajati (podrobnosti glej: Čar & Terpin, 2005). Žgalne posode so bile izdelane iz slabe gline z veliko primesjo peska. Običajno jih je tretjina že med prvim žganjem počila (Verbič, 1965), le tretjina jih je vzdržala »tri ognje« (Verbič, 1965). Zato so na žgalnih mestih nastajali obsežni odvali črepin. Kot poroča Verbičeva (1963) je v sredini 17. stoletja idrijski rudnik porabil že od 50.000 do 60.000 kompletov žgalnih posod na leto.

Pri idrijskem rudniku so žgali rudo v lončenih posodah do leta 1652, ko so zgradili stalno žgalnico na Prejnuti, torej okrog 150 let. Zakaj so žganje v lončenih posodah upo-



Slika 1. Risbi dveh različnih lončenih žgalnih posod. Mere so v milimetrih (po Čarju & Terpinu, 2005)

Figure 1. Drawing of two types of earthen roasting vessels. Measures in millimeters (after Čar & Terpin, 2005)

rabljali tako dolgo, kljub temu, da so pri almadenskem rudniku v Španiji že sredi 16. stoletja uporabljali bistveno boljše stalne peči, lahko razložimo le z velikimi količinami bogate rude v skonc plasteh, ki so jo odkrili 22. junija 1508. V skonc plasteh, ki jih sestavljajo črni bituminozni glinavci, meljevci in kremenovi peščenjaki z vložki antracita, so prevladovali izjemno bogate (do 70% Hg) bituminozne in krhke sedimentne rude imenovane jeklenka, opekovka in jentrenke. Bogatejši različni cinabaritnih rud so običajno vsebovali tudi nekaj odstotkov samorodnega živega srebra. Izkopane rude so zelo verjetno vsebovale v povprečju nad 50% Hg (Čar & Terpin, 2005) in so bile v prvi polovici 16. stoletja 5- do 7- krat bogatejše od rud pri almadenskem rudniku (Verbič, 1990). Žganje v lončenih žgalnih posodah je bilo časovno precej krajše, izkoristki so se povečali na 60 do 70%. Pri tem se je poraba drv zmanjšala za petkrat, iz prejšnjih desetih na dva voza (Verbič, 1970b) za en dunajski cent Hg. Zaradi postopnega večanja proizvodnje pa se poraba drv v rešnici ni manjšala, pač pa se je neprestano večala. Gozdovi okrog rudnika so bili, tudi zaradi drugih, zelo velikih rudniških potreb, kmalu izsekani. Ker je bilo spravljjanje velikih količin drv po strmih brezpotnih pobočjih in težko prehodnih grapah do rudnika zelo težavno, kar bi zahtevalo veliko 'dragih' delavcev, je bilo smotrnejše tovoriti sorazmerno majhne količine bogatih rud na primerna mesta v gozdove okrog Idrije in jih tam žgati. Z leti so se pomikali vedno globlje v idrijske gozdove (Verbič, 1970a). Več lokacij starih žgalnic je našel I. Mlakar pri geološkem kartiranju idrijske okolice, nekaj pa so jih našli kasneje (Čar, 1996). V zadnjih nekaj letih sta se Čar in Terpin lotila sistematičnega pregledovanja lokacij starih žgalnic po gozdovih v bližnji in tudi malo bolj oddaljeni okolici Idrije (Čar & Terpin, 2005). Locirala sta 20 starih žgalnic v okolici Idrije in sta mnenja, da jih gotovo obstaja še več. Prav v zadnjem času sta našla še novo, 21. lokacijo (slika 2). Rudo so tako žgali na bližnjih gričih Pront, Pringl, Pšenk, pa tudi na bolj oddaljenih krajih v Čekovniku in Kanomlji, o čemer pričajo številni ostanki razbite lončenine. Gotovo pa je bilo žgalnic še veliko več, vendar so mnoge zaradi erozije in različnih človeških posegov že povsem izginile (Čar & Terpin, 2005).

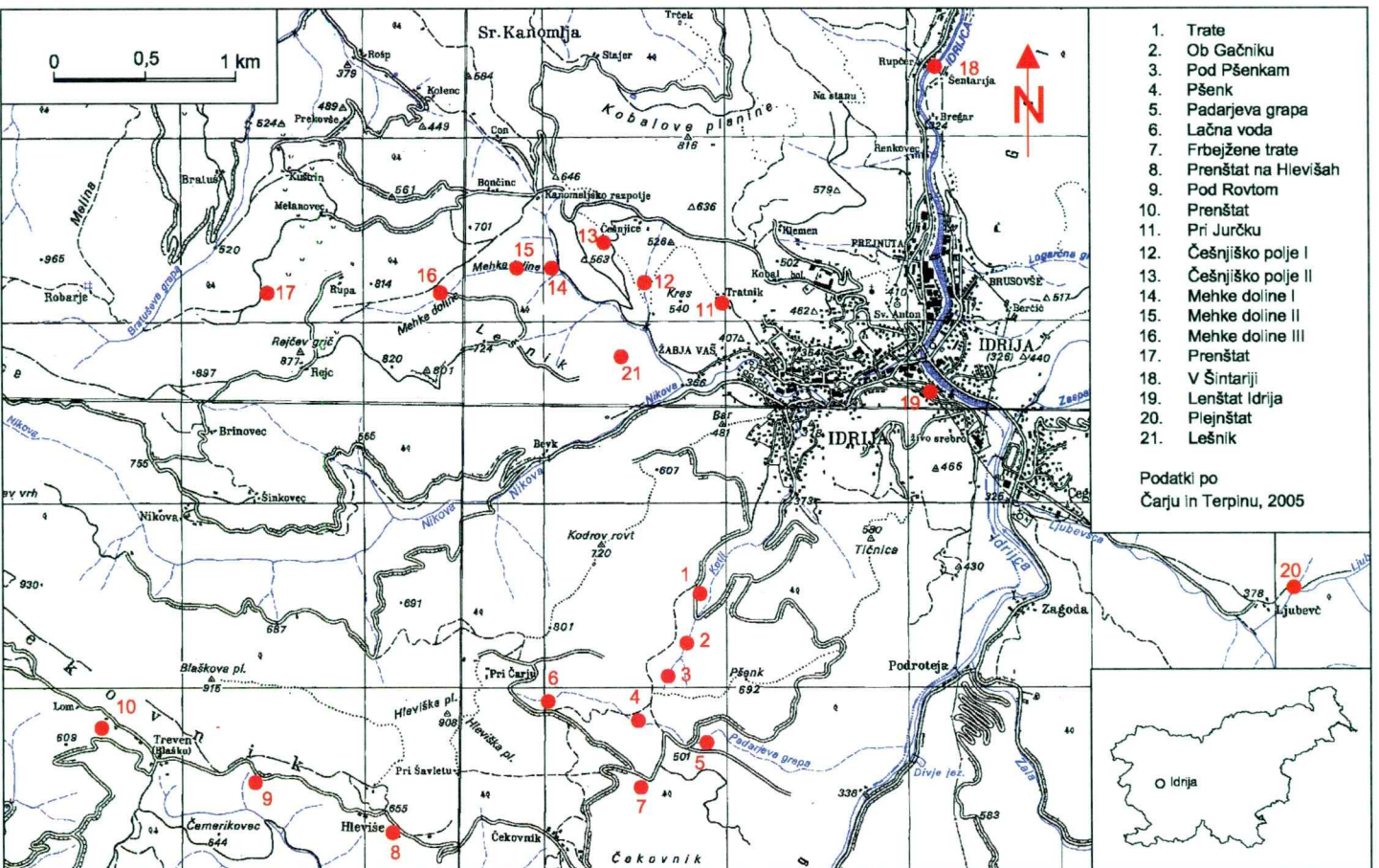
Vsebnosti in porazdelitev živega srebra v tleh in sedimentih

Prostorsko razporeditev koncentracij Hg v tleh na ozemlju velikem približno 100 km² z Idrijo v sredini je raziskoval Hess (1993). Vzorčeval je v pravilni mreži 1 x 1 km (127 vzorčnih lokacij) Splošna ugotovitev je bila, da so najvišje koncentracije v dolini Idrije od Idrije do Spodnje Idrije in da se vsebnosti z oddaljenostjo od Idrije hitro zmanjšujejo.

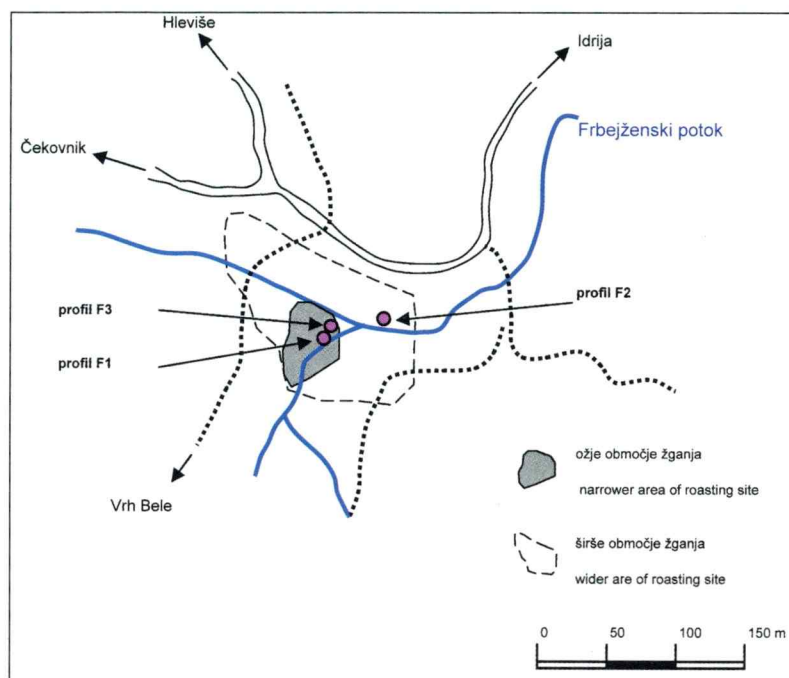
Podrobnejša študija vsebnosti in porazdelitve živega srebra v tleh na Idrijskem je potekala v letih 2000-2003. V osrednjem delu, kjer so bile že ugotovljene visoke vsebnosti, smo novo geokemično raziskavo zasnovali z gostejšo mrežo vzorčevanja (Gosar & Šajn, 2001), bolj odmaknjeno območje pa smo vzorčili z redkejšo mrežo vzorčevanja (Gosar & Šajn, 2003).

Rezultati Hessove in kasnejše raziskave (Gosar & Šajn, 2001) jasno kažejo na nekatere anomalije, kjer so vsebnosti živega srebra v tleh povišane, a njihova vsebnost ne more biti posledica glavnih virov živega srebra v Idriji in okolici kot so atmosferske emisije, odvali neprežgane in prežgane rude, ki se nahajajo večinoma vzdolž Nikove in Idrije in njihova uporaba v cestogradnji in izdanki orudenih kamnin. Z živim srebrom geogeno obogatene karbonske plasti gradijo podlago mestnega središča in izdanjajo na pobočju Kurjega vrha in spodnjega dela Prona, orudene Skonca plasti in tufiti pa izdanjajo na Prontu med Karčnikom in Albrehtom (Čar, 1998). Za preprečitev obsežnejše naravne migracije živega srebra v širšo okolico je pomembno predvsem to, da je rudišče obdano z neprepustnimi karbonskimi klastičnimi kamninami ali pa omejeno z zaglinjenimi tektonskimi conami (Čar, 1998). Torej lahko ugotovimo, da je izdanelek prostorsko zelo omejen in da na povišanje vsebnosti v tleh vpliva le na območju izdanjanja in v bližnji okolici, ter na vsebnosti v sedimentih Nikove in Idrije, ki ležijo nižje od izdanka.

Pri podrobnejšem vrednotenju rezultatov Hessa (1993) smo postali pozorni na povišano vrednost (56,2 mg/kg) na lokaciji 131, ki je Hess (1993) ni komentiral. To je lokacija na travniku na Hlevišah, ki je manj kot 200 m oddaljena od lokacije žgalnice Prenštat na Hlevišah (št. 8), ki sta jo opisala Čar in Terpin (2005). Torej je povišana vsebnost živega srebra na tej lokaciji gotovo po-



Slika 2. Lokacije starih žgálnic po podatkih Čarja in Terpina (2005), dodana št. 21
Figure 2. Localities of old roasting sites after data by Čar and Terpin (2005), with addition of
site no. 21



Slika 3. Skica lokacije Frbežene trate

Figure 3. Sketch-map of the Frbežene trate locality

sledica žganja rude v bližini. Tudi na lokaciji 103 (Tratnik) je vsebnost živega srebra nepričakovano visoka (115,4 mg/kg). Vzorec je bil vzet na vplivnem območju žgalnice Pri Jurčku (št. 11), (Čar & Terpin, 2005).

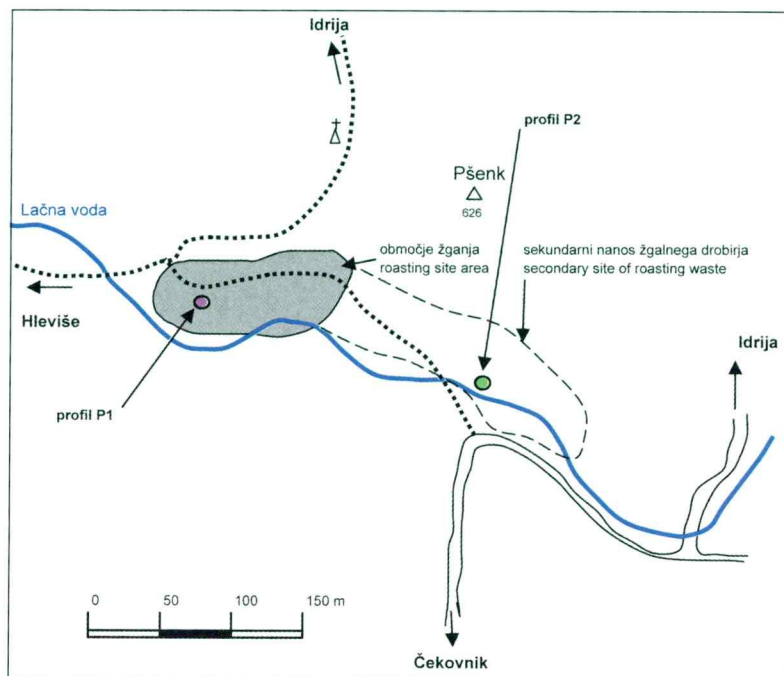
Gosar in Šajn (2001) sta ugotovila povišane vrednosti živega srebra na območju hriba Pšenk, JZ od Idrije. Verjetno tako visoka koncentracija živega srebra (57 mg/kg) ni posledica atmosferskih emisij ali naravnih danosti, ker na tem območju ne izdajajo rudonosne kamnine. Lahko pa je posledica žganja rude v preteklosti po gozdovih (Gosar & Šajn, 2001). Zanimivo je, da je v bližini vzorčeval tudi Hess, a povišanja vrednosti ni zaznal. Če primerjamo lokacije žgalnic (Čar & Terpin, 2005) s porazdelitvijo živega srebra (Gosar & Šajn, 2001; Gosar & Šajn, 2003) vidimo, da lokacijsko sovpadata tudi anomalija v Ljubevču z žgalnico Plejnjštat (št. 20), vendar so na tej lokaciji možni tudi drugi vplivi.

Opis obravnavanih lokacij starih žgalnic

Žgalniško območje Frbežene trate (lokacija 7 na sliki 2 in slika 3) se nahaja na obsežni dolomitni izravnavi na levi strani

ceste Idrija - Čekovnik. Cesta je bila zgrajena v osemdesetih letih preteklega stoletja, sicer pa čez Frbežene trate vodi stara steza iz Pšenka proti Vrhu Bele ter steza iz Pšenka proti Zagrebencu. Čez območje, ki je poraščeno s smrekovim gozdom, tečeta dobršen del leta sicer suha potočka, ki se na obrobju Frbeženih trat združita in stekata nekoliko nižje v grapo Padarce. Posamezne koščke lončenine, prevlečene s cinobrom, najdemo po celotni izravnavi na površini nekaj čez 100 m² (širše območje nekdanjih žgalnic), največ pa med obema potokoma, ki je veliko približno 35 x 30 m. V levi brežini Frbeženskega potoka je debelina lončenega odvala z črno zemljo v podlagi debela od 30 do 40 cm, na desni strani pa jo ocenjujemo na približno meter do meter in pol (dopolnjen opis po Čar & Terpin, 2005).

Profil F1 je naravni usek ob potoku, ki seka odval lončenine. Na vrhu je plast spranih ostankov keramike. Potem sledi 10 do 20 cm tal, ki so zaradi organske snovi črno obarvana (A horizont), sledi do globine 90 cm rjava ilovica z ostanki lončenine in redkimi koščki oglja, pod njo do globine 200 cm leži glinena opečnato rjava ilovica, ki skoraj ne vsebuje skeleta. Na globini 200 cm smo našli na preperel dolomit, ki je podlaga.



Slika 4. Skica lokacije Pšenk

Figure 4. Sketch-map of the Pšenk locality

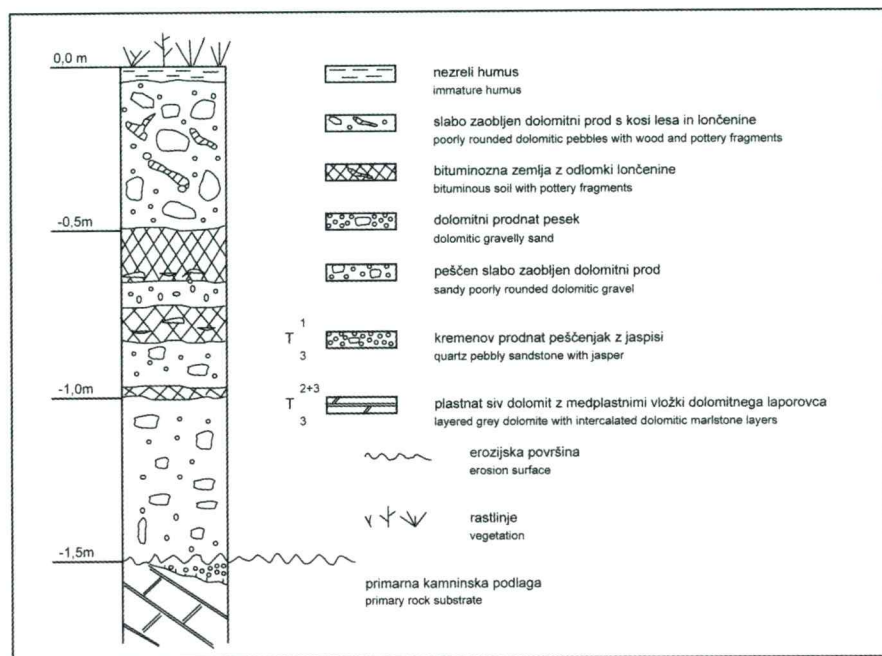
Nekoliko nižje ob potoku smo vzorčili profil F2. Tudi na tej lokaciji smo si pomagali z naravnim usekom ob potoku. Vrhnji del profila F2 sestavlja 20 cm humoznih tal, ki jih lahko označimo kot A horizont, do globine 45 cm sledi prav tako temna plast humoznih tal, v kateri prevladujejo ostanki lončenine, nekateri v kosih velikih do 10 cm. Do podlage na globini 75 cm sledi sivo rjava ilovica, v kateri je le malo ostankov lončenine.

Profil F3 je 9 m v smeri severa oddaljen od F1. Njegove značilnosti so podobne tistim opisanim v profilu F1: zgornjih 25 cm je A horizont, sledi ilovica.

Pšenk (lokacija št. 4 na sliki 2 in slika 4) je eno večjih nahajališč drobirja žgalniških posod. Razteza se na levem bregu potoka Lačne vode, ki priteka izpod Hleviš in se nekoliko nižje pretoči v Padarjevo grapo. Največje količine lončenine najdemo v zgornjem zahodnem obrobju območja, tik pod potjo proti Hlevišam. Menimo, da gre za ožje območje nekdanjih žgalnic. Predel je po oceni dolg okrog 130 m in širok do 50 m. Na tem območju smo vzorčili profil P1. Sicer pa najdemo posamezne odlomke lončenih žgalnih posod po celotni prodišču ob potoku na dolžini približno 270 m in širini do 50 m. Pri-

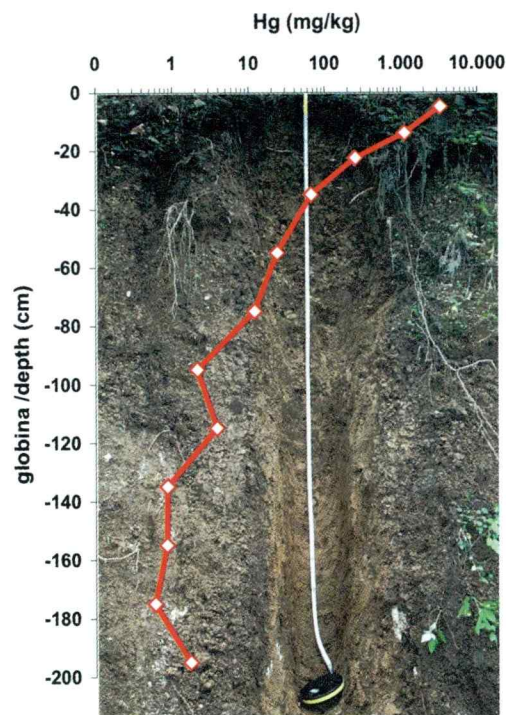
bližno na sredini prodišča je bil leta 2003 v levi brežini potoka odprt profil P2 (slika 5). V podlagi je ležal značilen plastnat zgornjetriasni norijsko-retijski dolomit s cm debelimi medplastnimi vložki dolomitnega laporovca. Na njem so ležali kosi rdečkasto rjavega karnijskega kremenovega prodnatega peščenjaka. Na erodiranem dolomitu je bilo odloženo okrog 0,5 m peščenega, slabo zaobljenega dolomitnega proda. Sledil je do 5 cm debel vložek črne bituminozne zemlje, nad njim pa okoli 15 cm prodnatega dolomitnega peščenjaka. Sledéča 10 cm debela plast črne bituminozne gline je bila v podlagi bogata s odlomki lončenine. Prekrivalo jo je nekaj centimetrov dokaj sortiranega dolomitnega proda. Nad prodom je ležala 13 cm debela plast bituminozne zemlje z drobirjem žgalnih posod. Profil se je zaključil z 0,5 cm zelo slabo sortiranega peščenega dolomitnega proda s številnimi odlomki lesa in redkimi ostanki lončenine.

Opisane razmere potrjujejo, da predstavljajo tri plasti s »črno zemljo z lončenino« presedimentirani material iz ožjega območja nekdanjih žgalnic na Pšenk. Glede na morfologijo terena in splošne prostorske razmere na prodišču domnevamo, da se razmere od profila do profila hitro spreminjajo.



Slika 5. Skica profila P2 na lokaciji Pšenk

Figure 5. Profile P2 at the Pšenk locality



Slika 6. Vsebnosti živega srebra v profilu F1 na lokaciji Frbežene trate

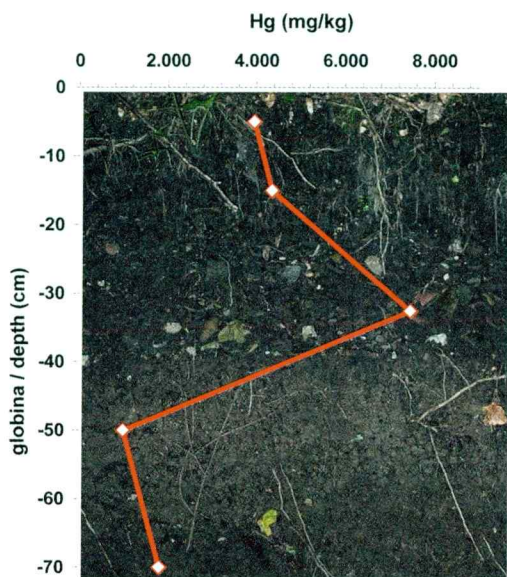
Figure 6. Mercury contents in F1 profile at the Frbežene trate site

Ali gre za presedimentacijo iz obdobja žganja, ali pa so se erozijski dogodki dogodili kasneje, bi bilo potrebno še raziskati.

Vzorčevanje in analitika

Profila F1 in F2 smo vzorčili z brazdo, ker smo naravni usek ob potoku le poglobili, profila F3 in P1 pa smo do globine 24 oz. 36 cm izkopali, globlji vzorci pa so bili vzeti z ročno vrtno garnituro.

Laboratorijska obdelava vzorcev je obsegala sušenje pri temperaturi 30°C in drobljenje sprijetih grud, ne pa skeleta, v keramični terilnici. S suhim sejanjem smo pridobili frakcijo manjšo od 2 mm, to smo potem mleli na analitsko zrnastost (<0,063 mm). Vsebnost živega srebra in ostalih prvin je bila določena z neplamensko atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS) po izluževanju z zlatotopko (mešanica HCl : HNO₃ : H₂O v razmerju 3:1:2; 1 ura/95°C). Vzorci so bili analizirani v laboratoriju ACME v Vancouveru v Kanadi. Vzorce in naključno izbrane dvojnice ter standardne materiale smo poslali v laboratorij po naključnem vrstnem zaporedju. S tem smo zagotovili nepristranskost analitike in enakomerno porazdelitev morebitnega spreminjanja analiznih pogo-



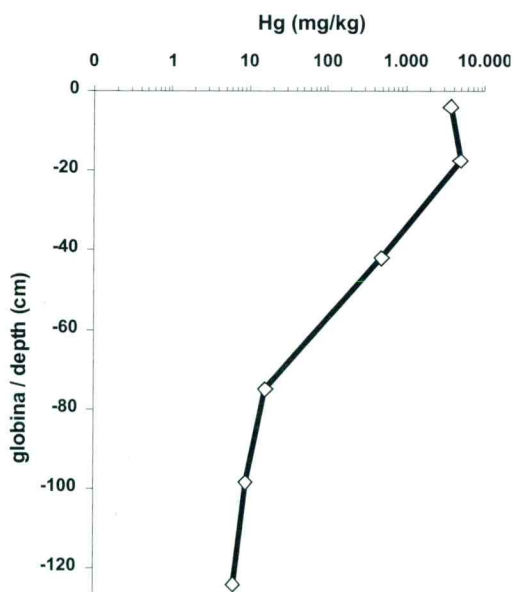
Slika 7. Vsebnosti živega srebra v profilu F2 na lokaciji Frbežene trate

Figure 7. Mercury contents in F2 profile at the Frbežene trate site

jev preko vseh vzorcev. Zanesljivost kemičnih analiz smo ocenili kot zelo zadovoljivo.

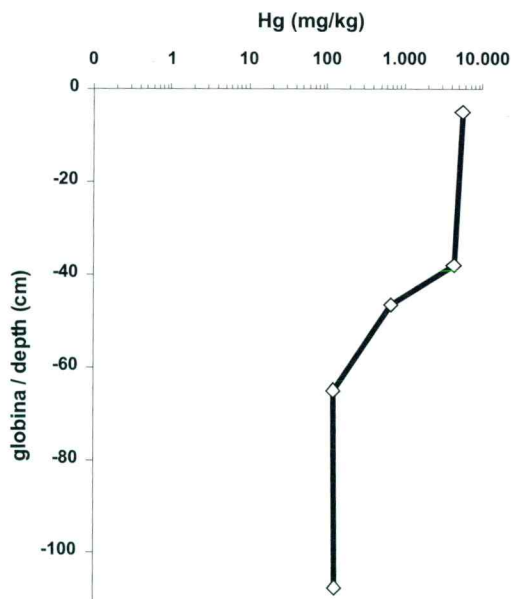
Rezultati in razprava

Vsi trije profili na lokaciji žgalnice Ferbežane trate vsebujejo v zgornjem z organsko snovjo bogatem horizontu tal zelo visoke vsebnosti živega srebra (od 3.000 do 4.000 mg/kg). Potem vsebnosti v profilu F1 in F3 hitro z globino padajo in že na globini 0,5 m vsebujejo približno za 10x manj Hg (slike 6 in 7). Nižje se vsebnosti živega srebra počasi znižujejo in dosežejo v globini 1,3 m vsebnost nekaj mg/kg živega srebra. V profilu F2 zgornji humozni plasti sledi prav tako humozna plast, ki pa vsebuje zelo veliko ostankov lončenine (do 50%, slika 8). V tej plasti smo določili najvišjo vsebnost živega srebra, kar 7.474,4 mg/kg. Vzorec je bil vzet tik nad spodaj ležečo ilovico. Verjetno je prišlo do koncentriranja živega srebra nad slabo prepustno ilovico, v kateri pa smo tudi določili visoke vsebnosti živega srebra (995,5 mg/kg na globini 50 cm in 1.817,5 mg/kg na globini 70 cm).



Slika 8. Vsebnosti živega srebra v profilu F3 na lokaciji Frbežene trate

Figure 8. Mercury contents in F3 profile at the Frbežene trate site



Slika 9. Vsebnosti živega srebra v profilu P1 na lokaciji Pšenk

Figure 9. Mercury contents in P1 profile at the Pšenk site

Na lokaciji Pšenk smo v profilu P1 v zgornji okoli 45 cm debeli humozni plasti določili res zelo veliko živega srebra (od 4.000 do 5.000 mg/kg). V globljih delih profila je okoli 100 mg/kg živega srebra (slika 9).

Izračun količine in teže živega srebra, nakopičenega na lokaciji Pšenk, smo izvedli po enačbi 1. Prostornino smo izračunali tako, da smo pomnožili površino osnovne ploskve (A_i , v m^2) z višino kontaminiranega materiala (d_i , v m). ρ pomeni gostoto materiala (v kg/m^3), ki je bila ocenjena po literaturnih podatkih na 1.330 kg/m^3 (SImetric, 2004), C_{Hg} pa vsebnost živega srebra v mediju.

$$m_{Hg} = A_i \cdot d_i \cdot \rho \cdot C_{Hg} \quad (1)$$

Na lokaciji Pšenk sta Čar in Terpin (2005) ocenila, da je površina žgalnice obsegala okoli 600 m^2 . Na podlagi lastnega opazovanja in ugotovitev iz profila P1 ocenjujemo, da je plast, ki je močno obremenjena z živim srebrom debela okoli 0,4 m. Vsebuje od 4.000 do 5.000, ocenimo da povprečno 4.500 mg/kg živega srebra. Po zgornji enačbi smo izračunali, da je na lokaciji Pšenk v tleh oz. v odvalih nekdanje žgalnice nakopičenega približno $1,4 \text{ t}$ živega srebra.

Zanimivo je tudi, da sta Čar in Terpin (2005) našla literaturo iz leta 1911, ko je Grund pisal o najdbi velike količine s cinobrom prevlečenega lončenega drobirja na lokaciji Pšenk. Ugotovili so v povprečju $0,6 \text{ m}$ debelo plast, v kateri je bilo veliko razbite lončenine. Živo srebro se je nahajalo predvsem kot tanke prevleke cinobra na odlomkih žgalnih posod, našli pa so tudi samorodno živo srebro. V drobnem materialu na tej lokaciji so v dveh vzorcih določali vsebnost živega srebra in ugotovili od $0,45$ in $0,7 \%$ živega srebra, in v razbiti lončenini $2,09 \%$ živega srebra. Z živim srebrom najbogatejši vzorec lončenine se je nahajal med koreninami jelke in je bil dobro zaščiten pred izpiranjem. Ugotovitve izpred približno 100 let se torej izjemno dobro skladajo z našimi ugotovitvami. Plast ostankov je bila ocenjena za nekoliko bolj obsežno. Seveda se na celotni lokaciji spreminja in je pravo oceno brez natančnejših raziskav težko podati. Če bi vzeli debelino onesnažene plasti $0,6 \text{ m}$, bi bilo na lokaciji Pšenk okoli 2 t živega srebra. In če se še malo poigramo s številkami lahko ocenimo, da je na vseh 20 lokacijah

žgalnic, ki sta jih opisala Čar in Terpin (2005), okoli 40 t živega srebra. Pri tem je treba poudariti, da je opisana lokacija na Pšenk po ocenah Čarja gotovo ena bolj obsežnih in dalj časa delujočih žgalnic. Tako lahko našo oceno označimo kot zelo veliko in predvidevamo, da danes leži na teh lokacijah verjetno manj živega srebra. Ocena velikostnega reda pa je pravilna. Zanimivo je razmišljati dalje. Iz Mlakarjevih (1974) podatkov o proizvodnji in izgubah sta Čar in Terpin (2005) ocenila, da se je v obdobju pridobivanja živega srebra v žgalnicah po gozdovih (16. in prva polovica 17. stoletja) kar okoli 4.500 t živega srebra izgubilo v okolju. Seveda danes te izgube ne sledimo le v vsebnostih živega srebra na lokacijah starih žgalnic, ampak so bile izgube tudi v izhajanju živosrebrnih hlapov, ki so pogojevali atmosferske vplive daleč okoli. Nedvomno je prišlo tudi do spiranja močno onesnaženega materiala in odnašanja v nižje ležeče predele. To dokazujejo t.i. pozitivni vzorci iz potočnih sedimentov, ki so jih ugotavljali raziskovalci, ko so še iskali rudo, pa povišanih vsebnosti niso mogli razložiti s zgradbo rudišča in izdajanjem orudenih kamnin (Mlakar, 1966). Tudi vsebnosti sedimentov reke Idrijce v zadnjih 15-tih letih, ko se izvaja monitoring rečnih sedimentov Idrijce (Gosar et al., 1997; Gosar, 2003), kažejo povišane vsebnosti v sedimentih zgornjega toka Idrijce. Še posebno je jasen vpliv Padarce, ki spira material ravno iz lokacij Frbežene trate, Pšenk in Padarjeve grape. Ker pa sodimo, da bi verjetno vsaj polovica živega srebra ostala na sami lokaciji, se nam zdi razmerje med izgubljenimi 4.500 t tonami in ugotovljenimi 40 t tonami, ki naj bi danes ležale na lokacijah starih žgalnic, preveliko. Potreben bi bil ponovni premislek predpostavk o izgubah in kvaliteti rude, ki jih je pri izračunih leta 1974 uporabil Mlakar in poiskati še preostale žgalnice v gozdovih, ki do sedaj morebiti še niso bile ugotovljene. Za ugotovitev dejanskega stanja in tudi za zgodovinsko opredelitev pomena in obsega žgalnic po gozdovih so potrebne še nadaljne raziskave. Nedvomno pa lahko ugotovimo, da so v tleh na lokacijah starih žgalnic zelo visoke vsebnosti živega srebra, ki po koncentraciji živega srebra presegajo vse do sedaj opisane lokacije v Idriji in okolici (Hess, 1993; Palinkaš et al., 1995; Horvat et al., 2003; Gnamuš et al., 2000; Go-

sar & Šajn, 2001; Biester et al., 1999; 2000).

Literatura

Agricola, G., 1556: De re metallica. Basileae. (nemško: Carl Schiffner, 1928, Berlin, izdala Agricola-Gesellschaft beim Deutschen Museum).

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, Washington.

Biester, H., Gosar, M. & Müller, G. 1999: Mercury Speciation in Tailings of the Idrija Mercury Mine. - Journal of Geochemical Exploration, 65/3, 195-204, Amsterdam.

Car, J. & Terpin, R. 2005: Stare žgalnice živosrebrove rude v okolici Idrije. - Idrijski razgledi 50/1, Idrija.

Car, J. 1998: Mineralized rocks and ore residues in the Idrija region. - In: Idrija as a natural and anthropogenic laboratory, Mercury as a global pollutant: Proceedings, 10-15, Idrija.

Car, J. 1996: Mineralized rocks and ore residues in the Idrija region. In: Idrija as natural and anthropogenic laboratory. Mercury as a major pollutant. 10-15, Idrija.

Gnamuš, A., Byrne, A.R. & Horvat, M. 2000: Mercury in the soil-plant-deer-predator food chain on a temperate forest in Slovenia. - Environ. Sci. Technol., 34/16, 3337-3345, Washington.

Gosar, M., Pirc, S., Bidovec, M. 1997: Mercury in the Idrija River sediments as a reflection of mining and smelting activities of the mercury mine Idrija. - Journal of Geochemical Exploration, 58, 125-131, Amsterdam.

Gosar, M. 2003: Mercury distribution in the Idrija river sediments in 1991, 1995 and 2001. V: 6th International Symposium on Environmental Geochemistry : final programme and book of abstracts, str. 213, Edinburgh.

Gosar, M., 2004: Mechanisms of mercury dispersion in the Idrija mercury mine surroundings through history. - RMZ-mater. geoenviron., 51/1, 93-96, Ljubljana.

Gosar, M. & Šajn, R. 2001: Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia). - Geologija, 44/1, 137-159, Ljubljana.

Gosar, M. & Šajn, R. 2003: Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia. - Journal de Physique IV, 107, 561-565, Paris.

Hess, A. 1993: Verteilung, Mobilität und Verfügbarkeit von Hg in Böden und Sedimenten am Beispiel zweier hochbelasteter Industriestandorte.- Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen, Band 71, 171 S., Heidelberg.

Horvat, M., Kontić, B., Ogrinc, N., Jerreb, 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, Philadelphia.

Mlakar, I., 1966: Prognostna karta perspektivnosti posameznih območij idrijsko-cerkljanskega ozemlja na Hg, merilo 1: 25.000. Rokopisna karta, Arhiv RŽS Idrija.

Mlakar, I., 1974: Osnovni parametri proizvodnje rudnika Idrija skozi stoletja do danes. Idrijski razgledi 19/3-4, 1-40, Idrija.

Palinkaš, L.A., Pirc, S., Miko, S.F., Durn, G., Namjesnik, K. & Kapelj, S. 1995: The Idrija mercury mine, Slovenia, a semi-millennium of continuous operation: an ecological impact.- In: M. Richardson M.(ed.), Environmental toxicology assessment. - Taylor & Francis, 317-341, London.

Simetric web page, dostopno na URL <http://www.simetric.co.uk/si_materials.htm>, last upgraded 9.10.2004, quoted 24.5.2005.

Valentinitsch, H., 1981: Das landesfürstliche Quecksilbergwerk Idria 1575-1659. 1-440, Graz.

Verbič, M. (1965): Idrijski rudnik do konca 16. stoletja. Inavguralna disertacija, 1-250, Ljubljana. (neobjavljeno).

Verbič, M., 1963: Gospodarski stiki Loke z Idrijo v 16. in 17. stoletju.- Loški razgledi, 10, 97-103, Škofja Loka.

Verbič, M., 1970a: Fuzine ob Kanomlji v Spodnji Idriji.- Idrijski razgledi, 15/1, 1-10, Idrija.

Verbič, M., 1970b: O lesu za idrijski rudnik, prvih idrijskih grabljah in klavžah. Idrijski razgledi. - 15/2, 89-99, Idrija.

Verbič, M., 1990: Rudnik živega srebra v Idriji in tehnične naprave v njem do konca 16. stoletja. Idrijski rudnik skozi stoletja, Razstava Zgodovinskega arhiva Ljubljana in Mestnega muzeja v Idriji (katalog), 17-48, Idrija - Ljubljana.

Verbič, M., 1993: Naselbina do konca 16. stoletja. Idrijska obzorja, Pet stoletij rudnika in mesta. - Mestni muzej Idrija, 29-40, Idrija.