

ONESNAŽENOST URBANIH TAL V IDRIJI

POLLUTION OF URBAN SOIL IN IDRIJA

UDK 504.5:631.41(497.4Idrija)

Špela Bavec

dr., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, spela.bavec@geo-zs.si

Mateja Gosar

dr., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana, mateja.gosar@geo-zs.si

Povzetek

Informacije, ki jih pridobimo z geokemičnimi raziskavami urbanih tal, so bistvene za oceno tveganj, ki bi lahko ogrožala zdravo okolje. Posebna pozornost je namenjena morebitnim škodljivim elementom, ki lahko glede na koncentracijo, kemično obliko in način vnosa oziroma izpostavljenosti pomenijo tveganje za vnos v žive organizme, tudi v človeka. Potencialno škodljivi elementi spadajo med anorganske nevarne snovi, ki se v tleh kopičijo zaradi geogenih danosti (orudena območja) ali antropogenih vplivov (procesi rudarjenja in pridelovanja rude, industrija, promet itn.) in ob povečanih koncentracijah lahko pomenijo tveganje za žive organizme in ekosisteme. Primer takega območja na slovenskem ozemlju je Idrija, naše najstarejše rudarsko mesto.

Abstract

The information, which is obtained using geochemical investigations of urban soils, is crucial to the estimation of risks that could threaten a healthy environment. Special attention is given to potentially harmful elements, which can, regarding their concentration, chemical form and type of intake or exposure, have a detrimental impact on living organisms, including human. Potentially harmful elements belong among dangerous inorganic substances, which accumulate in soil as a consequence of geogenic endowment (ore deposits) or anthropogenic influences (processes of mining and ore extracting, industry, traffic, etc.) and can present a risk to living organisms and ecosystems when their concentrations are enriched. An example of such an area in Slovenia is Idrija, our oldest mining town.

Uvod

Več kot polovica prebivalstva danes živi na urbanih območjih. Za geokemične raziskave teh območij je bil uveden izraz urbana geokemija (Kelly s sod., 1996), njena problematika pa so zapletene medsebojne interakcije med kemijskimi elementi in njihovimi spojinami v urbanih okoljih, vplivi preteklih in sedanjih antropogenih dejavnosti nanje in učinki ter posledice geokemičnih lastnosti na rastline, živali in zdravje ljudi (Thornton s sod., 2008). V središču raziskav urbane geokemije so vsebnosti in kemične oblike potencialno škodljivih elementov v urbanih okoljskih materialih, med katere spadajo tudi urbana tla. Tla so osnovni substrat za pridelavo hrane in biomase ter pomemben življenjski prostor za žive organizme. Poleg tega shranjujejo, filtrirajo, uravnavajo in spreminjajo veliko množico snovi, vključno z vodo ter anorganskimi in organskimi spojinami (Blum s sod., 2006). Naravna avtohtona tla nastajajo ob preperevanju litosfere zaradi medsebojnega delovanja glavnih pedogenetskih dejavnikov (podnebje, organizmi, matična podlaga, relief in čas) (Jenny, 1941), ki pa so na urbanih območjih precej preoblikovana in spremenjena zaradi ljudi in njihovih dejavnosti (gradnja infrastrukture, industrija, promet itn.). Za taka tla je bil uveden izraz urbana tla (Lehman in Starr, 2007). Zanje je značilno, da so glavni sprejemnik antropogenega

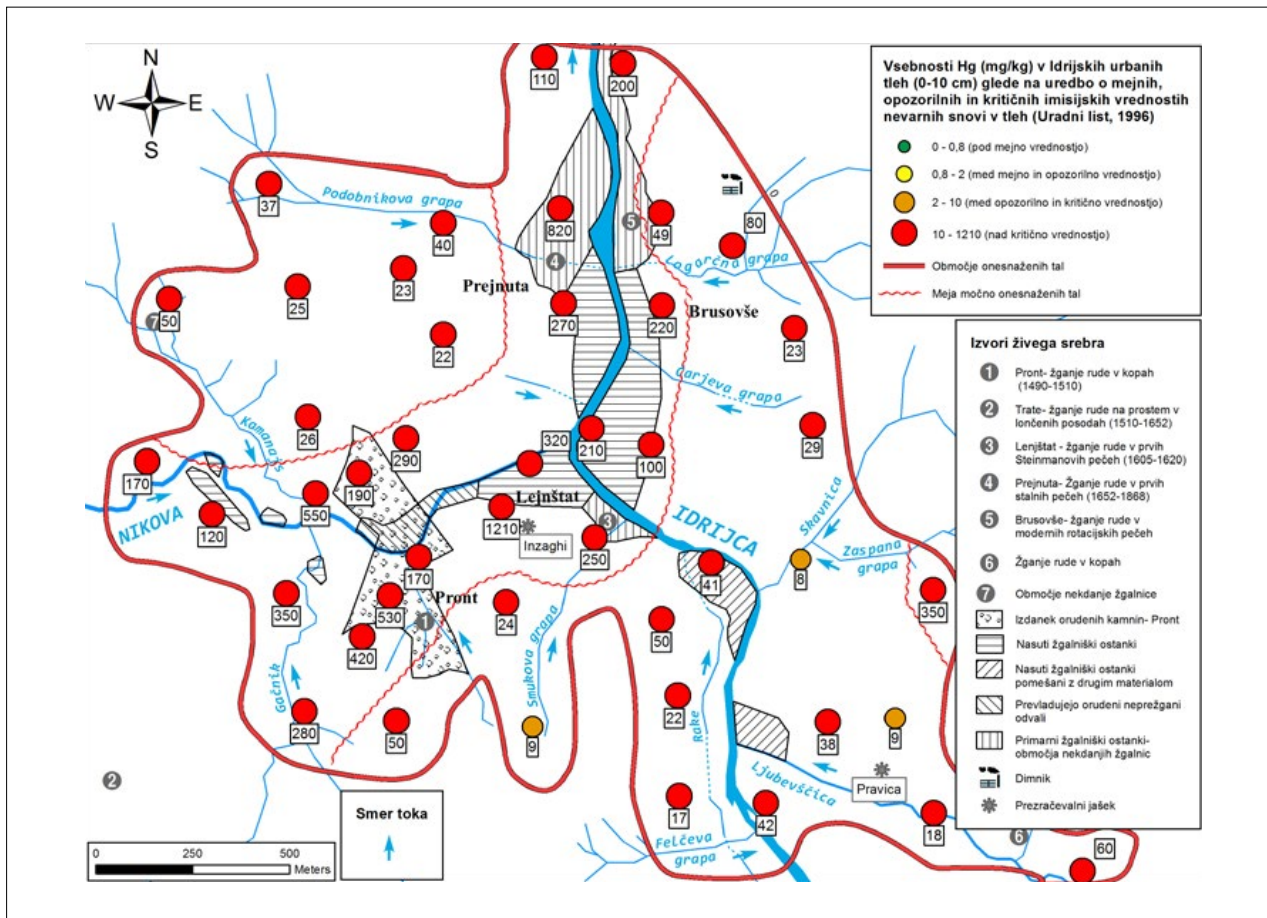
onesnaženja glede na daljša časovna obdobja tako iz razpršenih kot iz točkovnih virov in so zato najbolj primerno gradivo za spremljanje stanja onesnaževal, kot so potencialno škodljivi elementi (Johnson in Demetriades, 2011). Pomembna antropogena vira potencialno škodljivih elementov v okolju sta rudarjenje in predelava rude. Pri odkopavanju rude in njeni poznejši predelavi postanejo potencialno škodljivi elementi ali njihove spojine pogosto kemično dostopnejše. Zanimiv primer zelo onesnaženega območja zaradi rudarskopredelovalne dejavnosti je Idrija, naše najstarejše rudarsko mesto. Med delovanjem rudnika se je v 500 letih v Idrijo in okolico izgubilo skoraj 40.000 ton živega srebra (Mlakar, 1974; Miklavčič, 1999; Cigale, 2006). Posledično je na razmeroma majhnem območju mogoče raziskovati vpliv geogenih virov živega srebra in tistih, ki jih je zaradi njegovega 500-letnega pridobivanja povzročilo človekovo delovanje v okolju (Gosar in Šajn, 2001). Od leta 2010 do 2014 smo v Idriji opravili raziskave urbanih tal, ki so bila vzorčena skladno s smernicami urbane geokemije (Bavec s sod., 2015): zatravljena tla ($n = 45$; zgornji sloj 0–10 cm, spodnji sloj 10–20 cm) in obdelana vrtna tla ($n = 4$; 0–20 cm). V vzorcih smo po razklopu z zlatotopko določili vsebnosti desetih potencialno škodljivih elementov (arzen – As, kadmij – Cd, kobalt – Co, krom – Cr, baker – Cu, živo srebro – Hg, molibden – Mo, nikelj – Ni, svinec –

Pb in cink – Zn), katerih dovoljene imisijske vrednosti v tleh so opredeljene v slovenski (Uradni list RS, 1996) in evropski (MHSPE, 2014) zakonodaji. Ugotovili smo, da so urbana tla Idrije močno obremenjena z živim srebrom, nekoliko manj pa tudi z arzenom, medtem ko so preostali obravnavani potencialno škodljivi elementi znotraj dovoljenih vrednosti (Bavec s sod., 2015).

Živo srebro v urbanih tleh Idrije

Vsebnosti živega srebra v urbanih tleh Idrije se gibljejo med 7 in 1550 mg/kg (Bavec s sod., 2015) in so stokrat do tisočkrat povišane glede na srednje vrednosti (mediane) v tleh, ki so bile določene za Slovenijo (0,066 mg/kg) (Šajn, 2003), Evropo (0,037 mg/kg) (Salminen s sod., 2005) in svet (0,100 mg/kg) (Ure in Berrow, 1982). Glede na zakonodajo (Uradni list RS, 1996) so onesnaženi vsi preiskovani vzorci tal, pri čemer opozorilno vrednost (2 mg/kg) presegajo trije vzorci zgornjih tal in dva vzorca spodnjih, kritično vrednost (10 mg/kg) pa 42 vzorcev zgornjih tal, 43 vzorcev spodnjih tal ter vsi vzorci vrtnih tal (n = 4). Prostorska porazdelitev vsebnosti živega srebra v zgornjem (slika

1) in spodnjem sloju tal (slika 2) je zelo podobna. Višje vsebnosti se pojavljajo vzdolž reke Nikove in reke Idrije po njenem sotočju z Nikovo. V tem predelu (glej meje močno onesnaženih tal na slikah 1 in 2) so urbana tla močno onesnažena in ležijo na kamninah, ki so orudene z živim srebrom ali na žgalniških ostankih. Hkrati so v tem predelu tudi lokacije nekdanjih predelovalnic rude (številke 1–7 na slikah 1 in 2). Zunaj tega predela, kjer tla ne pokrivajo znanih izvorov živega srebra, se njegove vsebnosti postopoma zmanjšujejo v vse smeri, a so še vedno zelo velike v primerjavi z navedenimi povprečnimi vrednostmi ter zakonodajnimi smernicami. To je posledica zračnih emisij živega srebra v obliki plinov in prašnih delcev v okolico med delovanjem predelovalnic rude. Močno onesnažena tla so v najgostejše poseljenih delih Idrije. Glede na našo zakonodajo (Uradni list RS, 1996) so urbana tla Idrije kritično onesnažena in zato zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali ter zadrževanju ali filtriranju vode. To pa povzroča skrb predvsem prebivalcem Idrije, saj je med njimi zelo pogosta samooskrba z zelenjavnim vrtnarjenjem na kritično onesnaženih tleh Idrije (slika 3). Novejše raziskave živega srebra v tkivih



Slika 1: Model porazdelitve živega srebra v urbanih zgornjih tleh Idrije (0–10 cm) glede na zakonodajne mejne, opozorilne in kritične vrednosti (Uradni list RS, 1996), skupaj s prepoznanimi izvori. Številke pod krogci pomenijo vsebnost živega srebra (mg/kg) v talnih vzorcih.

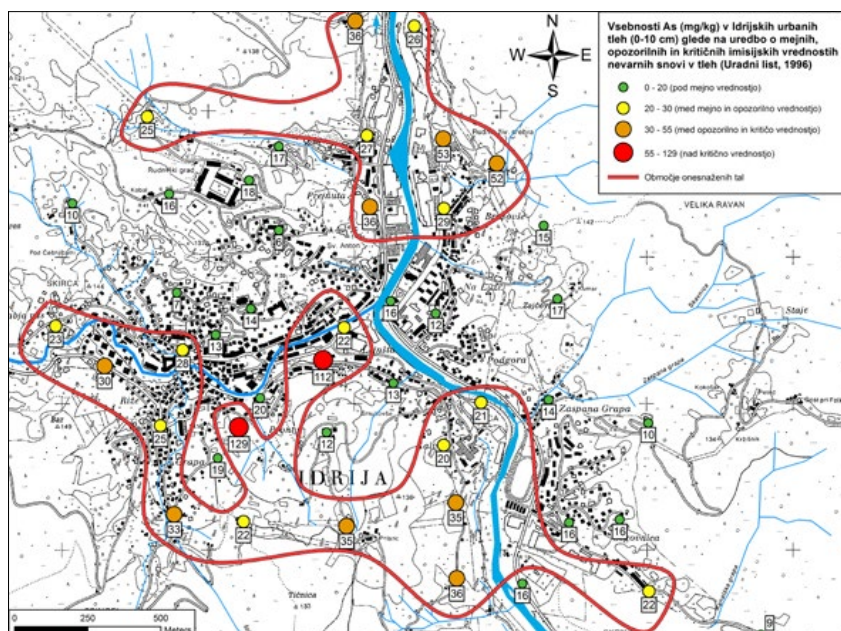
Figure 1: A model of Hg distribution in urban topsoil (0–10 cm) with regard to the legislative limit, warning and critical values (Uradni list, 1996) together with identified Hg sources. The numbers below the circles represent Hg contents (mg/kg) in the soil samples.



Slika 3: Primeri urbanih vrtov v Idriji na kritično onesnaženih urbanih tleh (foto: Š. Bavec)
 Figure 3: Examples of urban gardens in Idrija in critically polluted urban soil. (photo: Š. Bavec)

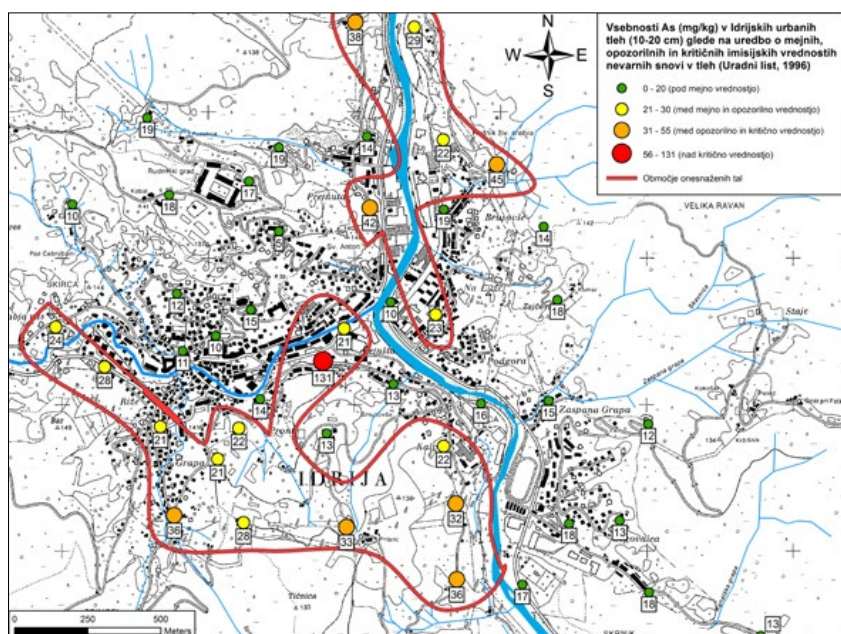
tri glavne načine izpostavljenosti: zaužitje, vdihavanje in absorpcija skozi kožo (Plumlee and Ziegler, 2003). Živo srebro je kovina, v naravi jo srečamo v treh oksidacijskih stanjih (0, +1 in +2). Glede na toksikološke lastnosti se deli v tri glavne skupine: elementarno živo srebro ter anorganske in organske oblike (Plumlee and Ziegler, 2003; WHO, 2003). Ob izpostavljenosti elementarnemu živemu srebru je vdihavanje njegovih hlapov najbolj nevarno in lahko povzroči nepovratne poškodbe centralnega in perifernega živčnega sistema ter ledvic, pri zaužitju ali absorpciji skozi kožo pa so škodljivi učinki malo verjetni. Nasprotno pa velja za anorganske spojine živega srebra. Te se po zaužitju v prebavnem traktu lahko spremenijo v topno obliko in absorbirajo v telesna tkiva. Škodljivi učinki so znani predvsem v ledvicah in centralnem živčnem sistemu. Organskim oblikam smo izpostavljeni v glavnem prek zaužitja rib in drugih morskih organizmov. V njih se tako imenovane metilne

oblike živega srebra kopičijo in prek prehranjevalne verige povečujejo, kar pomeni, da bo v večjih ribah več metilnega živega srebra kot v manjših (Plumlee and Ziegler, 2003; WHO, 2003). Arzen je polkovina in se v naravi pojavlja v štirih oksidacijskih stanjih (-3, 0, +3 in +5) (IPCS, 2001). Glede na toksikološke lastnosti ga delimo v tri glavne skupine: anorganske oblike, organske oblike in plin arzin. Anorganske oblike arzena se v telesu kopičijo predvsem prek pitne vode, ki vsebuje povišane vsebnosti arzena. Daljša izpostavljenost vnosu anorganskih oblik arzena lahko privede do kronične zastrupitve, ki se kaže v poškodbah kože, ter kardiovaskularnih in rakavih obolenjih. Organskim oblikam smo najpogosteje izpostavljeni zaradi morske hrane, a so te manj škodljive in se hitro izločijo iz telesa. Izpostavljenost plinasti obliki arzena zaradi vdihavanja pa lahko povzroči poškodbe prebavnega trakta in centralnega ter perifernega živčnega sistema (IPCS, 2001).



Slika 4:
Model porazdelitve arzena v urbanih zgornjih tleh Idrije (0–10 cm) glede na zakonodajne mejne, opozorilne in kritične vrednosti (Uradni list RS, 1996), skupaj z urbano infrastrukturo Idrije. Številke pod krogi pomenijo vsebnost arzena (mg/kg) v talnih vzorcih.

Figure 4:
A model of As distribution in urban topsoil (0–10 cm) with regard to the legislative limit, warning and critical values (Uradni list, 1996) together with the urban infrastructure of Idrija. The numbers below the circles represent As contents (mg/kg) in the soil samples.



Slika 5:
Model porazdelitve arzena v urbanih spodnjih tleh Idrije (10–20 cm) glede na zakonodajne mejne, opozorilne in kritične vrednosti (Uradni list RS, 1996), skupaj z urbano infrastrukturo Idrije. Številke pod krogi pomenijo vsebnost arzena (mg/kg) v talnih vzorcih.

Figure 5:
A model of As distribution in urban subsoil (10–20 cm) with regard to the legislative limit, warning and critical values (Uradni list, 1996) together with the urban infrastructure of Idrija. The numbers below the circles represent As contents (mg/kg) in the soil samples.

Sklepne misli

V Idriji živi približno 6000 prebivalcev, ki so dolgoročno zaradi zunanjih aktivnosti, kot so vrtnarjenje, otroške igre in podobne dejavnosti na urbanih zelenicah, izpostavljeni onesnaženim tlem. Vsebnosti arzena so le ponekod povečane in povsem verjetno ne pomenijo večje obremenitve za prebivalstvo. Izjemno velike vsebnosti živega srebra na celotnem urbanem območju Idrije pa so brez dvoma velika obremenitev okolja in lahko povzročijo povišane koncentracije živega srebra ter arzena v rastlinah, živalih in ljudeh v Idriji. Da bi lahko konkretno svetovali prebivalcem glede uporabe tal in stopnje škodljivosti živega srebra in arzena v njih, so nujni poglobljene raziskave njune prisotnosti v urbanih tleh, interdisciplinaren pristop različnih strokovnjakov in sodelovanje z lokalnim prebivalstvom. Raziskave oblik živega srebra v urbanih tleh sicer že tečejo, raziskave oblik

arzena v tleh pa še niso bile narejene. Prav tako niso bile upoštevane druge lastnosti tal, ki vplivajo na dostopnost elementov rastlinam oziroma niso bile opravljene meritve biodostopne frakcije arzena in živega srebra. Glede na to, da so zaradi zmanjševanja porabe fosilnih goriv in vedno težje sledljivosti izvora in načina pridelave uvožene zelenjave sodobne težnje usmerjene k povečanju samooskrbe (lokalno pridelane hrane), se v Idriji pojavlja vprašanje, kakšna je kakovost doma pridelanih vrtnin. Biodostopnost živega srebra in arzena v tleh je odvisna od njune kemične oblike, pH, vsebnosti organske snovi, redoks potenciala, deleža glin v tleh, železovih in manganovih oksidov ter kationov in anionov v talni raztopini (Leštan, 2002). Novejše raziskave so pokazale, kakšen je razpon celotnih vsebnosti živega srebra, ki so bile določene v ng/g suhe snovi, v tkivih užitnih rastlin z območja Idrije. Rezultati so: 53–627 za zelje ($n = 10$), 86–12.700 radič ($n = 12$), 125–759 peteršilj ($n = 10$),

196–781 blitvo ($n = 12$), 346–17100 gobe ($n = 5$) in 336–642 za solato ($n = 2$) (Miklavčič s sod., 2013). Z raziskavo so ugotovili tudi, da je v povprečju do 90 odstotkov živega srebra v tkivih užitnih rastlin z območja Idrije v anorganski obliki, medtem ko je preostali del v metilni obliki (Miklavčič s sod., 2013). Kot preliminarna informacija lokalnim prebivalcem in državnim organom pri odločanju o rabi urbanih tal Idrije pa so na voljo karte onesnaženja z živim srebrom in arzenom (slike 1, 2, 4 in 5) v tem prispevku.

Viri in literatura

1. Bavec, Š., Gosar, M., Biester, H., Grčman, H., 2015. Geochemical investigation of mercury and other elements in urban soil of Idrija (Slovenia). *Journal of geochemical exploration*, sprejeto v tisk 4. 11. 2014.
2. Blum, W. E. H., Warkentin, B. P., Frossard, E., 2006. Soil, human society and the environment. V: *Function of Soils for Human Societies and the Environment*. London, Geological Society, 266, 1–8.
3. Cigale, M., 2006. Rudnik živega srebra Idrija od 1490 do 2006. V: 2. slovenski geološki kongres, Zbornik povzetkov. Rudnik živega srebra v zapiranju, d. o. o., Idrija, 13–16.
4. Drovenik, M., Pleničar, M., Drovenik, F., 1980. Nastanek rudišč v SR Sloveniji. *Geologija*, 1980, 23, 1, 1–57.
5. ES št. 1881/2006. Uredba komisije (ES) št. 1881/2006 z dne 19. decembra 2006 o določitvi mejnih vrednosti nekaterih onesnaževal v živilih (Besedilo velja za EGP), 14.
6. Gosar, M., in Šajn, R., 2001. Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia). *Geologija*, 44, 1, 137–159.
7. IPCS, 2001. International Programme on Chemical Safety. Arsenic and arsenic compounds, 2nd ed. Geneva, World Health Organization, (Environmental Health Criteria 224) http://whqlibdoc.who.int/ehc/WHO_EHC_224.pdf
8. Jenny, H., 1941. *Factors of soil formation: A System of Quantitative Pedology*. Canada, General Publishing Company, 264.
9. Johnson, C. C., Demetriades, A., Locutura, J., Ottesen, R. T., 2011. *Mapping the Chemical Environment of Urban Areas*. West Sussex, John Wiley & Sons, 616.
10. Kelly, J., Thornton, I., Simpson, P. R., 1996. Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Applied Geochemistry*, 11, 363–370.
11. Lehman, A., Stahr, K., 2007. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *Journal of soils and sediments*, 7, 4, 247–260.
12. Leštan, D., 2002. *Ekopedologija, študijsko gradivo*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za pedologijo in varstvo okolja, 268.
13. Miklavčič, V., 1999. Mercury in the Town of Idrija (Slovenia) After 500 Years of Mining and Smelting. V *Mercury Contaminated Sites: Characterization, Risk assessment and Remediation*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, 259–270.
14. Miklavčič, A., Mazej, D., Jačimovič, R., Dizdarevič, T., Horvat, M., 2013. Mercury in food items from the Idrija Mercury Mine area. *Environmental Research*, 125, 61–68.
15. Mlakar, I., 1974. Osnovni parametri proizvodnje rudnika Idrija skozi stoletja do danes. *Idrijski razgledi*, 19, 3-4, 1–40.
16. Plumlee, G. S., Ziegler, T. L., 2003. The Medical geochemistry of Dusts, Soils, and Other Earth Materials. V *Treatise on Geochemistry, Volume 9*. Elsevier, 263–310.
17. Salminen, R., Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P. J., Olsson, S. Å., Ottesen, R. T., Petersell, V., Plant, J. A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A., Tarvainen, T., 2005. *Geochemical Atlas of Europe. Part 1 – Background Information, Methodology and Maps*. Geological survey of Finland, 526.
18. Šajn, R., 2003. Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. *Journal de Physique*, 107, 1173–1176.
19. Teršič, T., 2010. *Okoljski vplivi starih žgalnic na Idrijskem: doktorska disertacija*. Univerza v Ljubljani, 201.
20. Thornton, I., Farago, M. E., Thums, C. R., Parrish, R. R., McGill, R. A. R., Breward, N., Fortey, N. J., Simpson, P., Young S. D., Tye, A. M., Crout, N. M. J., Hough, R. L., Watt, J., 2008. Urban geochemistry: research strategies to assist risk assessment and remediation of brownfield sites in urban areas. *Environmental Geochemistry Health*, 30, 565–576.
21. Uradni list RS, 1996. Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. Ljubljana, Uradni list RS, 68, 5773–5774.
22. Ure, A. M., Berron, M. L. The Elemental Constituents of Soils. V: *Environmental chemistry, Volume 2*, 94–204.
23. WHO. World Health Organisation. Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health perspectives, 2003. < <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf>>.
24. Zupan, M., Grčman, H., Hodnik, A., Lobnik, F., Kralj, T., Ruprecht, J., Šporar, M., Lapajne, S., Tič, I., Šijanec, V., Gogič, S., Mohorovičič, B., Ilc, R. and Kopal, M., 2008. *Raziskave onesnaženosti tal Slovenije*. Ljubljana, Agencija RS za okolje, 63.