

Vsebnosti svinca in drugih težkih kovin v sedimentih na območju Mežiške doline

Lead and other heavy metals in stream sediments in the area of Meža valley

Julija FUX¹ & Mateja GOSAR²

¹Ilirska 4, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: mateja.gosar@geo-zs.si

Ključne besede: svinec, težke kovine, onesnaženje, rudnik Mežica, Meža, Drava, geochemija, Slovenija

Key words: lead, heavy metals, pollution, Mežica mine, Meža, Drava, geochemistry, Slovenia

Izvleček

Na območju Mežiške doline je potekalo pridobivanje in predelava svinčevno-cinkove rude več kot 300 let, kar je v okolju pustilo močan pečat. Z zaprtjem rudnika in predelovalno-metalurških obratov, se je neposreden vnos težkih kovin v okolje močno zmanjšal. Kot posreden vir težkih kovin za okolje, pa so ostali odvali siromašne rude in odpadkov nastalih pri predelavi rude, iz katerih se težke kovine spirajo v bližnje potoke in z njimi potujejo v Mežo ter dalje v Dravo. Analiza sedimentov reke Meže in pritokov je pokazala, da je večina sedimenta Meže v Zgornji Mežiški dolini še vedno močno obremenjena s svincem, cinkom, molibdenom in kadmijem ter deloma tudi z arzenom. V okolici Raven se kot posledica tamkajšnje železarske industrije pojavljajo povišane vsebnosti kobalta, kroma, bakra in niklja. Pritoka Mušenik in Junčarjev potok prineseta v Mežo znaten delež težkih kovin, poseben primer pa je Helenski potok, v katerem so vsebnosti težkih kovin izjemno visoke.

Abstract

In the Meža valley, lead – zinc ore has been exploited and processed for more than 300 years, which has strongly influenced the environment. Previous investigations have shown increased concentrations of lead and some other metals. At the end of the 20th century, the Meža River was considered a stream with the highest concentrations of heavy metals in Slovenia. When the mine and processing plants ceased to operate, the direct transfer of heavy metals into the environment has strongly decreased. However, the deposits of poor ore and wastes from ore processing have remained as an indirect source of heavy metal pollution. From those places heavy metals have been washed out into the nearby streams, and carried into the Meža River and further into the Drava River. Chemical analysis of the Meža River and its tributaries has shown heavy pollution of the upper Meža River sediments with lead, zinc, molybdenum and cadmium, and partly with arsenic. In the lower Meža valley, those concentrations are mildly decreased. Concentrations of cobalt, chrome, copper and nickel are increased in the area around Ravne as a result of the ironworks industry. Mušenik and Jančarjev potok, both tributaries of the Meža River, contribute a high portion of heavy metal load to the Meža River. A specific case is Helenski potok, in which the concentrations of heavy metals strongly surpass the concentrations measured at all other locations. Although more than 10 years have passed since the mine and ore processing plant in the upper Meža valley were closed, the production has ceased and the rehabilitation measures have been taken, the environment in the upper Meža valley is still highly polluted.

Uvod

Namen raziskave je bil ugotoviti vsebnosti svinca, cinka ter drugih težkih kovin v sedimentu reke Meže in pritokov, ki bi lahko spirali material z odvalov flotacijskih in topilniških odpadkov ter revne rude. Ugotoviti smo želeli kako učinkoviti so bili sanacijski ukrepi, ki so bili v zadnjih nekaj letih izvedeni na teh odlagališčih oz. ali še vedno prihaja do obsežnega spiranja iz kontaminiranih območij.

Zgodovina rudarjenja v Mežiški dolini

Svinčevo rudo so v Mežici začeli pridobivati že v 16. stoletju. Proizvodnja svinca se je začela močneje razvijati v 17. stoletju, še bolj pa za časa Napoleonove Ilirije, ko so rudišča v Mežici ostala v lasti Habsburške monarhije in so veljala za najpomembnejši Avstro-Ogrski rudnik svinca (Mohorič, 1954). Manjši rudniki so bili raztreseni po vsej dolini in okolici, bogato galenitno rudo pa so topili kar tam kjer so jo pridobivali. Rudniki so bili sprva v lasti mnogih lastnikov, konec 19. stoletja pa je podjetje Bleiberg Bergwerks Union (BBU) kupilo vse manjše rudnike in začelo načrtno rudariti. Po letu 1896 se je metalurška dejavnost osredotočila v Žerjavu. Do leta 1874 so odkopavali samo svinčevo rudo, po tem letu pa so začeli izkoriščati tudi cinkovo rudo (Uran, 1965). Rudnik se je začel močno razvijati v začetku 20. stoletja, ko so se poleg rudnika začele močneje razvijati tudi spremljajoče dejavnosti. Nastalo je močno podjetje, ki je zaposlovalo tudi preko 2000 ljudi. Med leti 1921 in 1941 je bil rudnik v lasti angleške družbe in proizvodnja svinca v Mežici je v tem času dosegla 1 % svetovne proizvodnje te kovine (Uran, 1965). Po letu 1945 je bil rudnik nacionaliziran. V tem času so pobirali revne zaloge po manjših rudiščih, prodirali v globino, pri čemer sta predstavljali glavni težavi odvodnjavanje in premajhna količina dovolj bogate rude. Predelovali so tudi obsežne jalovinske nasepe iz časa angleških lastnikov, ki zaradi najdb bogatih rudnih teles njihove predelave takrat niso smatrali za ekonomsko zanimivo (Lednik, 1994).

Leta 1955 so razširili topilnico in potem poleg domače rude, zaradi pomanjkanja lastnih zalog, predelovali tudi koncentrate iz Bosne in Makedonije ter svinčeve odpad-

ke. S tem so se ekološke razmere v Mežiški dolini močno poslabšale, saj so kupljeni svinčevi koncentradi in odpadki vsebovali veliko žvepla in drugih škodljivih snovi, ki so onesnaževala okolje. Rudnik so pestile vse večje težave: premajhne zaloge in nizka vsebnost kovin v rudi, nizka cena svinca in cinka na svetovnem tržišču in okoljske obremenitve. Zato je bila leta 1993 sprejeta odločitev o prenehanju proizvodnje rude in koncentratov ter program za postopno in trajno zapiranje rudnika (Dervarič et al., 2005).

V celotnem obdobju rudarjenja so pridobili okoli 19 milijonov ton svinčeve in cinkove rude. Od leta 1947 so pridobivali tudi molibden. Rudo so predelovali v topilnici ob rudniku. Dolgo obdobje rudarjenja in topilniške dejavnosti je imelo veliko negativnih vplivov na okolje.

Dosedanje raziskave vplivov na okolje

Do prve polovice prejšnjega stoletja je bila količina predelane rude in pridobljenega svinca in cinka razmeroma majhna, zato je bilo tudi onesnaževanje omejeno predvsem na območja predelovalnih obratov. Z razvojem družbe Rudniki svinca in cinka Mežica ter predelovalnih obratov in industrije, sta se pridobivanje in predelava svinca močno povečala. Zvišali so se tudi kriteriji okoljske onesnaženosti ter ozaveščenost o vplivu onesnaženja na zdravje ljudi. Sanacija dolgoletnega onesnaževanja je postala ena izmed pomembnejših dejavnosti. Flotacijski mulj, ki je nastajal pri predelavi rude so že od leta 1979 naprej namesto spiranja v Mežo odlagali v opuščene rove rudnika (Souvent, 1994). Leta 1988 pa je bilo zaradi velikega vpliva rudnika na okolje pripravljenih in izvajanih 57 projektov sanacije Rudnika svinca in cinka v Mežici. Projekti so zajemali tri glavna področja: sanacija rudniških deponij in udorov, zavarovanje virov pitne vode ter spravilo odpadkov in opreme iz jame (Pačnik, 2002). V okviru sanacijskega ukrepa Rudnika svinca in cinka Mežica, so na deponijah uredili odvodnjavanje in jih pogozdili ter tako preprečili erozijo in zdrse materiala.

Večji ekološki problem kot rudnik in njegova dejavnost, je na območju Zgornje Mežiške doline predstavljala metalurška industrija svinca, zaradi katere so nastajale velike količine prahu s PbS , $PbCO_3$ in

PbSO₄. Leta 1978 so v Žerjavu zgradili odpraševalni sistem metalurških odpadkov in omejili onesnaževanje ter pričeli z rednim kvalitativnim in kvantitativnim nadzorom onesnaževanja zraka oziroma okolja s svincom. Na osnovi materialnih bilanc in nekaterih drugih tehničnih kazalnikov so izračunali, da je bila dnevna emisija prahu do leta 1978 okrog 5.000 kg (Souvent, 1992). Prevelika je bila tudi vsebnost žveplovega dioksida v dimniških plinih, in ker niso mogli zagotoviti uspešnega ekonomskega razžveplanja plina, so talilniško proizvodnjo postopno manjšali in leta 1989 tudi opustili predelavo svinčevih primarnih surovin (Souvent, 1992).

Z ugotavljanjem vplivov na okolje, ki jih je imelo pridobivanje in predelava svinca v Mežici in okolici, so se v preteklosti ukvarjale številne ustanove. Najaktivnejši in sistematični so bili delavci Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada iz Zagreba (od leta 1954) in Veterinarske fakultete (od leta 1975) (Souvent, 1992), od leta 1997 pa se z raziskovalno dejavnostjo na območju Mežiške doline ukvarjajo na Inštitutu za ekološke raziskave v Velenju (ERICo), Biotehniški fakulteti, Geološkem zavodu Slovenije, itd.

Raziskave onesnaženosti tal so pokazale, da je kritično onesnažen celoten zgornji del Mežiške doline, predvsem okolica Črne na Koroškem in Žerjava. Pas kritično onesnaženih tal se nadaljuje s prekinitvami vzdolž reke Meže vse do Raven na Koroškem (Šajn & Gosar, 2004). Najbolj onesnažena tla so v oddaljenosti do 2 km od Žerjava, na poplavnem območju Meže in v bližini rudnih nahajališč. Onesnaženost tal praviloma pada z oddaljenostjo od Žerjava in z globino v talnem profilu (Kugonič & Zupan, 1999). Pri raziskavi onesnaženosti posameznih horizontov tal so Vreča in sodelavci (2001) ugotovili povečane vrednosti Cr, Cu, Mo, Ni, Pb in Zn v organskih horizontih. Posebno visoke so bile vrednosti Pb in Zn, ki so v povprečju presegale kritične vrednosti, v okolici Žerjava pa so vrednosti Pb presegle 1.000 mg/kg. Onesnaženje se od Žerjava širi v smeri sever-jug, v smeri vzhod-zahod pa se vsebnost Pb znatno zniža, kar je verjetno posledica lokalnih vetrov in reliefa. Visoke vsebnosti Pb in Zn so posledica rudarske in metalurške dejavnosti na tem območju. Leta 1999 (Kugonič & Zupan) je bila narejena tudi raziskava onesnaženosti travniških in vrtnih tal. Ugotovljeno je bilo, da vseb-

nost Pb in Cd v krmi iz travniških tal presegala kritično vrednost na območjih severno od Žerjava v smeri Mežice, kjer so tla tudi najbolj onesnažena. Analiza vrtnih tal na obravnavanem območju je pokazala preveliko onesnaženost tal s svincom, da bi bila lahko primerna za pridelavo hrane za ljudi in živali (Kugonič & Zupan, 1999). Leta 2002 je Šajn prikazal porazdelitev svinca in ostalih kovin na območju Mežiške doline. Ugotovil je, da vsebnosti prvin v tleh iz okolice Mežice, Žerjava in Črne, presegajo slovensko povprečje za približno štirikrat. Najvišje vsebnosti so bile določene v tleh v okolici Črne in Žerjava, kjer je potekalo taljenje svinčeve rude (Šajn, 2002).

Bidovec (1997) je obravnaval štiri profile poplavnih sedimentov reke Meže. V vzorcih je ugotovil povečane vsebnosti kadmija, svinca, cinka, molibdena, antimona in arzena. Vsebnost svinca v poplavnih sedimentih je bila povsod visoka. V zgornjem toku Meže so vsebnosti Pb okoli 150 mg/kg, nato naraščajo dolvodno do vrednosti 910 mg/kg, zahodno od Prevalj pa je vsebnost svinca presegla 10.000 mg/kg. Pred izlivom v Mislinjo je bila vsebnost še vedno 3.563 mg/kg (Bidovec, 1997).

Lapajne in sodelavci (1999) so med leti 1986 in 1992 vključili v monitoring kakovosti površinskih voda tudi sedimente Meže. Ugotovili so, da je bila v tem času Meža med najbolj onesnaženimi vodotoki v Sloveniji. Koncentracije kadmija, cinka in svinca v sedimentih Meže so se v navedenih letih postopno nižale. Nižanje onesnaženosti pa je bila predvsem posledica sprememb v rudarsko-metalurški dejavnosti v Zgornje Mežiški dolini ter dinamična narava reke (Lapajne et al., 1999).

Nekoliko bolj detajlno analizo sedimenta reke Meže in nekaterih pritokov so naredili Bole in sodelavci (2002) v končnem poročilu primerjalne študije onesnaženosti okolja v Zg. Mežiški dolini. Odvzeli so 12 vzorcev sedimenta Meže od Koprivne do izliva Šumca ter analizirali vsebnosti Pb, Cd, As, Zn in Hg. Iz rezultatov analize je razvidno, da je bil vpliv rudarsko-metalurške dejavnosti v sedimentu reke Meže in pritokov še vedno znaten.

Vzorčenje sedimentov in analitika

Z vzorčenjem sedimentov Meže smo pričeli v zgornjem toku in nadaljevali v raz-

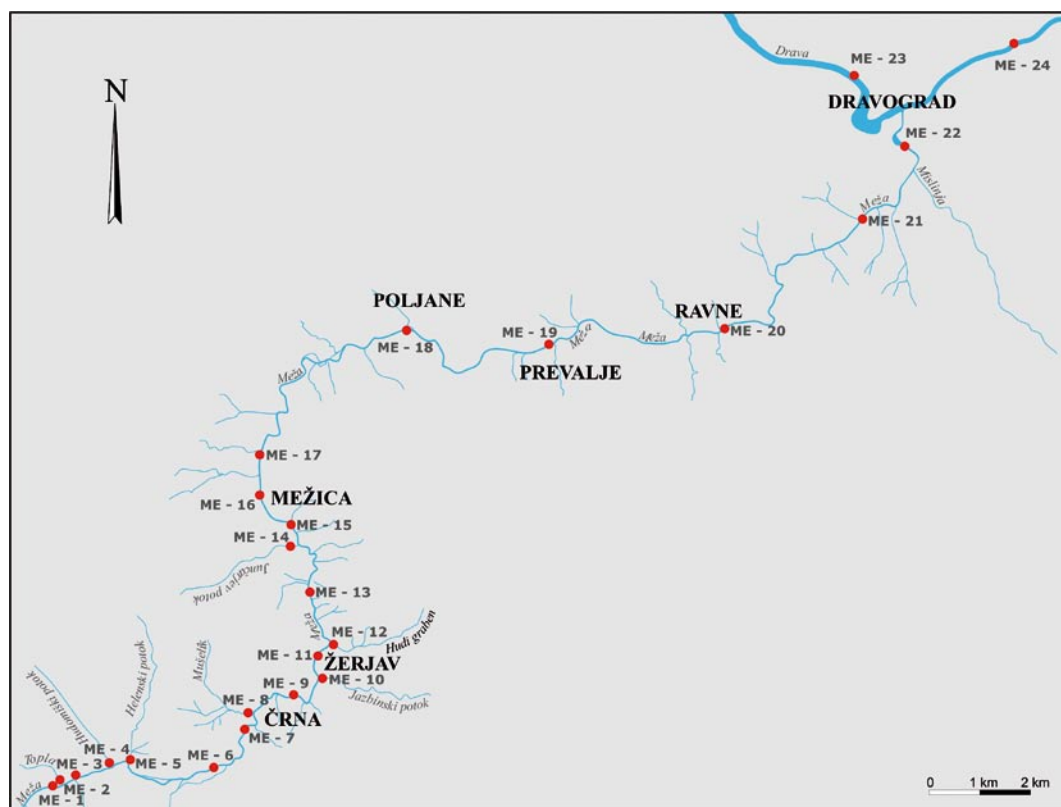
dalji približno 1 km do Mežice. V tem delu smo vzorčili tudi sedimente pomembnejših pritokov (Topla, Helenski potok, Mušenik, Jazbinski potok, Junčarjev potok). Od Mežice naprej smo razdaljo med vzorci povečali na 10 km. Na dveh lokacijah smo vzorčili tudi sedimente Drave in sicer enega pred in drugega po pritoku Meže (slika 1, tabela 1).

Zračno suhe vzorce smo presejali na sitih iz nerjaveče jeklene sitovine. S sejanjem smo izvedli granulometrično analizo in pripravili dve frakciji ($< 0,125$ mm in $< 0,063$ mm) za kemične analize. Le-te so bile izvedene v laboratoriju ACME Analytical Laboratories Ltd. v Vancouvru v Kanadi. Vsebnost težkih kovin je bila določena po postopku štirikislinskega razkroja, pri katerem se 0,5 grama vzorca raztoplja v 10 ml mešanici kislin HClO_4 , HCl , HF in HNO_3 pri temperaturi 200°C (ACME, 2003). Vsebnost prvin v raztopini so nato določili s plazemsko emisijsko spektroskopijo (ICP).

Rezultati

Zrnavost

V sedimentih Meže prevladujeta srednje- in drobnozrnat pesek. Nekoliko manj je delcev v velikosti debelo-zrnatega peska. Le redko je prisoten prod. V sedimentih pritokov reke Meže prevladujeta prod in debelo-zrnati pesek. Močno odstopanje je opaziti v sedimentu vzorca manjšega hudourniškega potoka v Škrubih (ME-4), kjer skoraj več kot polovico vzorca sestavlja prod (55 %), nekoliko manj je debelo-zrnatega peska (24 %), medtem ko je najmanj srednje- in drobnozrnatega peska in mulja (skupno 23 % vzorca). V preostalih vzorcih pritokov Meže je opaziti prevladovanje debelo- in srednje-zrnatega peska, nekoliko manj je proda, najmanj pa je prav tako drobnozrnatega peska in mulja. V vzorcih sedimenta reke Drave se, za razliko od predhodnih vzorcev, pojavlja daleč največ drobnozrnatega peska (več kot 50 % v



Slika 1. Lega raziskanega ozemlja z lokacijami vzorcev

Figure 1. Location of study area with sampling locations

Tabela 1. Preglednica vzorčevanih lokacij
Table 1. Sample locations

VZOREC	VODOTOK	MESTO ODVZEMA	Koordinate
ME-1	MEŽA	200 m pred izlivom Tople ob cesti	x: 5 485 076 y: 5 146 900
ME-2	TOPLA	Burjakova bajta (pod mostom)	x: 5 485 295 y: 5 146 983
ME-3	MEŽA	Podpeca 75 (ob cesti)	x: 5 485 633 y: 5 147 138
ME-4	HUDOURNIŠKI POTOK	Škrubi (Podpeca 65)	x: 5 486 290 y: 5 147 270
ME-5	HELENSKI POTOK	20 m po potoku navzgor pred izlivom v Mežo	x: 5 486 634 y: 5 167 433
ME-6	MEŽA	Pristava 1	x: 5 487 632 y: 5 147 088
ME-7	MEŽA	Črna na Koroškem	x: 5 489 044 y: 5 148 123
ME-8	MUŠENIK	Mušenik 6	x: 5 489 051 y: 5 148 366
ME-9	MEŽA	Mušenik 1	x: 5 489 633 y: 5 148 697
ME-10	JAZBINSKI POTOK	Žerjav	x: 5 490 442 y: 5 149 090
ME-11	MEŽA	Miklavžina	x: 5 490 415 y: 5 149 509
ME-12	HUDI GRABEN	Hudi graben	x: 5 490 650 y: 5 149 739
ME-13	MEŽA	Ladinek	x: 5 490 190 y: 5 150 803
ME-14	JUNČARJEV POTOK	Sp. Breg (pred Mežico)	x: 5 489 895 y: 5 151 702
ME-15	MEŽA	Polena	x: 5 489 856 y: 5 152 108
ME-16	MEŽA	Pod Lovskim domom Peca	x: 5 489 233 y: 5 152 691
ME-17	MEŽA	Križišče z glavno cesto (nasproti Calex-M)	x: 5 489 223 y: 5 153 403
ME-18	MEŽA	Poljane	x: 5 492 159 y: 5 156 012
ME-19	MEŽA	Prevalje	x: 5 495 008 y: 5 155 667
ME-20	MEŽA	Hotulja (za Ravnami)	x: 5 498 354 y: 5 155 941
ME-21	MEŽA	Ernetovo	x: 5 501 174 y: 5 158 087
ME-22	MEŽA	Meža 1155b (tik pred Dravogradom)	x: 5 502 152 y: 5 154 686
ME-23	DRAVA	Ob cesti proti Avstriji, 100 m iz naselja	x: 5 501 179 y: 5 161 004
ME-24	DRAVA	Stogli	x: 5 504 328 y: 5 161 718

obeh vzorcih), sledita približno enakovredni vsebnosti srednjezrnatega peska ter mulja, medtem ko je najmanj debelozrnatega peska in proda. Zrnavostno sestavo obravnavanih sedimentov prikazuje slika 2.

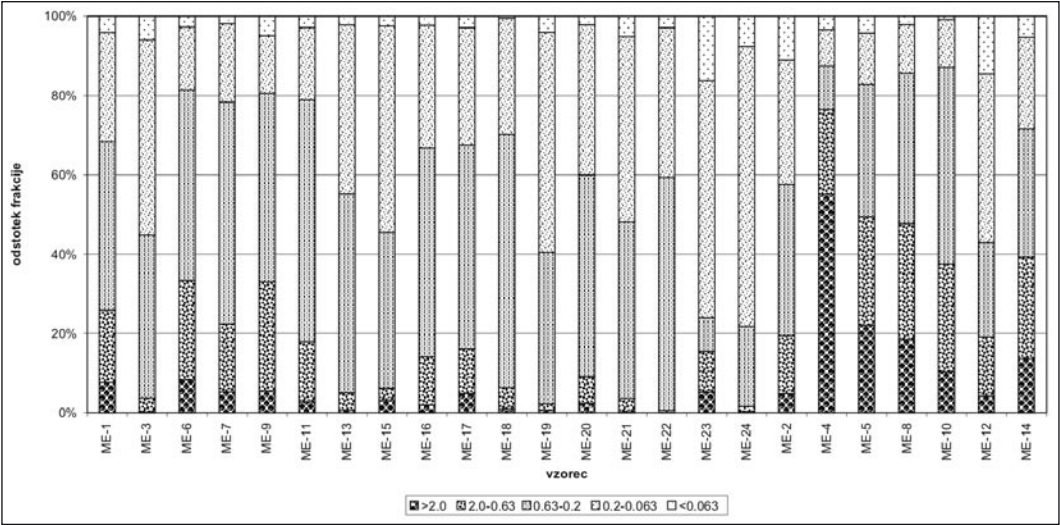
**Pregled vsebnosti težkih kovin
v sedimentih**

V tabelah 2 in 3 so prikazane osnovne statistike vsebnosti prvin za obe obravnavani frakciji (min = najmanjša ugotovljena vrednost, max = največja ugotovljena vrednost, aritmetična sredina, mediana in standardni odklon).

Svinec (Pb)

Vsebnost svineca se giblje med 80 mg/kg in 14.200 mg/kg v frakciji < 0,063 mm ter med 76 mg/kg in 19.300 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Mediana in povprečna vsebnost znašata v frakciji < 0,063 mm 1.099 mg/kg in 2.026 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm 1.223 mg/kg ter 3.261 mg/kg (tabeli 2 in 3). Vsebnosti svinca v posameznih vzorcih so prikazane na sliki 3.

Vsebnost svinca v sedimentu reke Meže je v vzorcih pred izlivom Helenskega potoka (ME-1 in ME-3) relativno nizka. Po izlivu Helenskega potoka se vsebnost poveča na okoli 700 mg/kg. Povišanje vsebnosti



Slika 2. Zrnavost obravnavanih sedimentov
Figure 2. Granulometric composition of sediments

Tabela 2. Ocene srednjih vrednosti, razponi (vse v mg/kg) in standardni odkloni vsebnosti v obravnavanih sedimentih (frakciji < 0,063 mm)

Table 2. Medians and ranges of elements (mg/kg) in fraction < 0.063 mm of the researched sediments

Element	Št. vzorcev	Min	Max	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
Cu	24	3,10	277,90	38,90	28,80	56,20
Pb	24	80,70	14200,00	2026,51	1099,85	2945,58
Zn	24	260,00	22500,00	2378,58	1238,50	4514,98
Ni	24	4,40	657,30	60,55	21,60	139,19
Co	24	1,20	26,50	9,59	8,60	5,93
As	24	4,00	39,00	15,48	13,00	9,60
Cd	24	1,30	144,20	13,86	6,80	28,64
Cr	24	7,80	3279,00	228,26	47,50	683,13

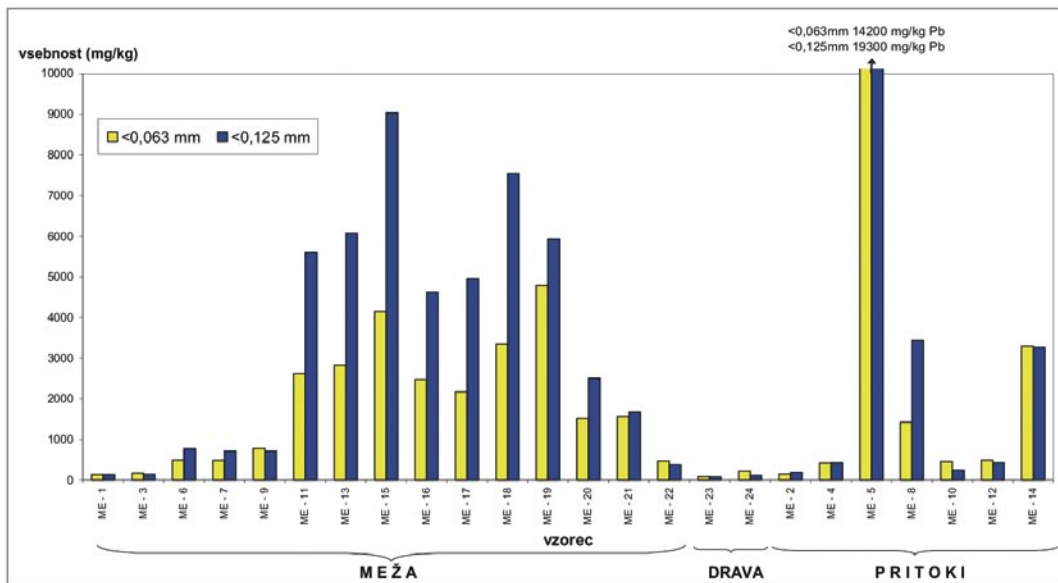
Tabela 3. Ocene srednjih vrednosti, razponi (vse v mg/kg) in standardni odkloni vsebnosti prvin v obravnavanih sedimentih (frakciji < 0,125 mm)

Table 3. Medians and ranges of elements (mg/kg) in fraction < 0.125 mm of the researched sediments

Element	Št. vzorcev	Min	Max	Aritmetična sredina	Mediana	Standardni odklon
Mo	24	0,80	267,20	41,73	23,10	60,38
Cu	24	3,10	277,90	38,90	28,80	56,20
Pb	24	80,70	14200,00	2026,51	1099,85	2945,58
Zn	24	260,00	22500,00	2378,58	1238,50	4514,98
Ni	24	4,40	657,30	60,55	21,60	139,19
Co	24	1,20	26,50	9,59	8,60	5,93
As	24	4,00	39,00	15,48	13,00	9,60
Cd	24	1,30	144,20	13,86	6,80	28,64
Cr	24	7,80	3279,00	228,26	47,50	683,13

svinca v vzorcih je verjetno posledica izliva, s težkimi kovinami močno onesnaženega Helenskega potoka v Mežo in splošnega onesnaženja okolja, predvsem tal, v okolici Žerjava. S približevanjem Meže Mežici vsebnosti svinca hitro naraščajo ter dosežejo najvišjo vsebnost (4.147 mg/kg; ME-15) v vzorcu sedimenta reke Meže pri Poleni. Naraščanje vsebnosti je pričakovano, saj je na tem območju potekala glavna rudarsko-predelovalna industrija svinčevo-cinkove rude in je hkrati tudi glavni vir onesnaže-

vanja. Z oddaljevanjem Meže od Mežice se vsebnosti postopoma nižajo, vendar kljub temu ostajajo zelo visoke (preko 2.000 mg/kg v frakciji < 0,063 mg/kg in preko 4.000 mg/kg v frakciji < 0,125 mm). Ponovno se povečajo v vzorcu sedimenta Meže pri Poljanah (ME-18) na 3.286 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in na 7.553 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Za Poljanami se vsebnosti zmanjšujejo in po sotočju Meže z Mislinjo (ME-22) zopet padejo pod 500 mg/kg. Primerjava vzorcev reke Drave pred izlivom Meže (ME-23) in za



Slika 3. Vsebnosti svinca (Pb) v obravnavanih sedimentih

Figure 3. Lead (Pb) contents in sediments

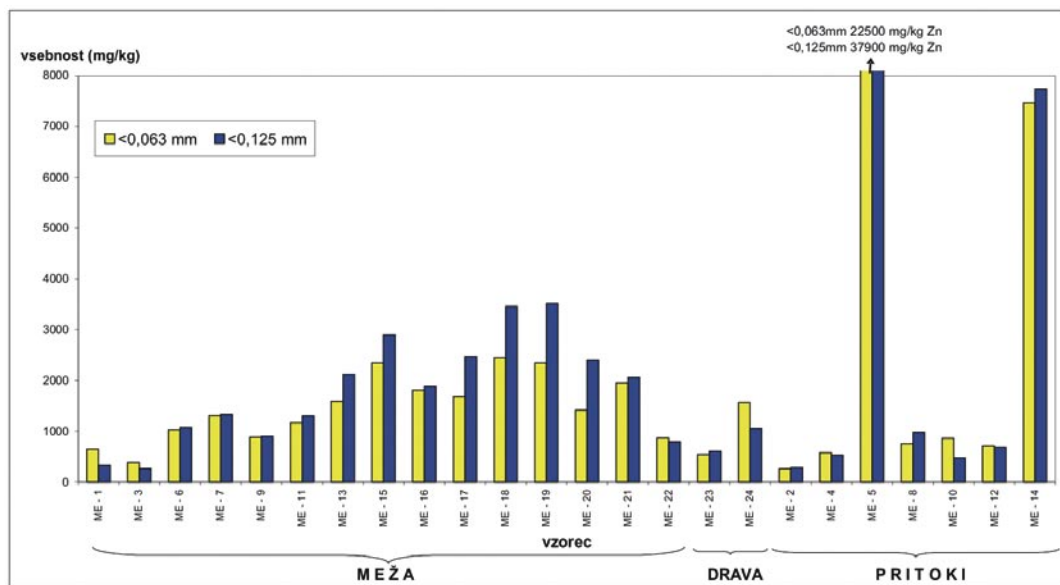
izlivom Meže (ME-24) kaže, da je vsebnost svinca v drugem vzorcu nekoliko večja glede na prvega. V frakciji < 0,063 mm se vsebnost poveča z 81 na 221 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm z 76 na 111 mg/kg. Povečanje vsebnosti svinca v drugem vzorcu je torej lahko posledica izliva s težkimi kovinami obremenjene reke Meže.

Med vsebnostmi določenimi v vzorcih sedimentov pritokov reke Meže najbolj izstopa vsebnost svinca v sedimentu Helenškega potoka (ME-5), saj znaša v frakciji < 0,063 mm 14.200 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm 19.300 mg/kg. Dokaj visoke vsebnosti svinca so bile določene tudi v sedimentu potoka Mušenik (ME-8), kjer znašajo v frakciji < 0,063 mm 1.423 mg/kg ter v frakciji < 0,125 mm 3.437 mg/kg ter v sedimentu potoka v Jančarjevi grapi (ME-14), kjer sta vsebnosti v obeh frakcijah nekaj čez 3.250 mg/kg. V sedimentih ostalih pritokov reke Meže so vsebnosti svinca sicer nekoliko povečane, a bistveno ne presegajo zakonsko določenih kritičnih vrednosti za tla (530 mg/kg; Uradni list RS 68/96).

Cink (Zn)

Vsebnost cinka v vzorcih se giblje med 260 mg/kg in 22.500 mg/kg v frakciji < 0,063 mm ter med 264 mg/kg in 37.900 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Medi-

ana in povprečna vsebnost znašata v frakciji < 0,063 mm 1.238 mg/kg in 2.378 mg/kg ter v frakciji < 0,125 mm 1.188 mg/kg in 3.209 mg/kg (tabeli 2 in 3; slika 4). Vsebnosti cinka v posameznih vzorcih so prikazane na sliki 4. Vsebnost cinka v vzorcih sedimenta reke Meže pred izlivom Helenškega potoka (ME-5) je nizka. Po izlivu Helenškega potoka vsebnost cinka prvič preseže 1.000 mg/kg in se nato nizvodno počasi zvišuje. V sedimentu Meže pri Poleni (ME-15) doseže vsebnost cinka vrednosti 2.343 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in 2.898 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Izjema je vsebnost v vzorcu sedimenta Meže pred Žerjavom (ME-9), kjer se vsebnost zniža pod 1.000 mg/kg. Znižanje je verjetno posledica razredčenja zaradi pritoka potoka Mušenik (ME-8), ki ima v sedimentu razmeroma nizko vsebnost cinka. Z oddaljevanjem Meže od Polene se vsebnost cinka najprej nekoliko zniža (ME-16, okoli 1.800 mg/kg v obeh frakcijah), nato pa se zopet postopno zvišuje in doseže v sedimentu Meže pri Poljanah (ME-18) in na Ravnah na Koroškem (ME-19) najvišjo vsebnost, ki znaša približno 2.500 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in približno 3.500 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Vsebnosti cinka v sedimentu Meže se od Raven naprej zopet postopno znižujejo. V vzorcih sedimenta reke Drave (ME-23 in ME-24) se vsebnost cinka, v primerjavi z vsebnostjo za izlivom Meže, opaz-



Slika 4. Vsebnosti cinka (Zn) v obravnavanih sedimentih

Figure 4. Zinc (Zn) contents in sediments

no poveča. V frakciji < 0,063 mm se vsebnost poveča s 544 na 1.568 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm s 604 na 1.056 mg/kg. V sedimentih pritokov Meže ima najvišjo vsebnost cinka sediment Helenskega potoka (ME-5), ki znaša 22.500 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in 37.900 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Prav tako je zelo visoka vsebnost cinka v sedimentu potoka v Jančarjevi grapi (ME-14), in sicer v frakciji < 0,063 mm 7.472 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm 7.746 mg/kg.

Kadmij (Cd)

Vsebnosti Cd v sedimentu reke Meže so do Mežice le malenkostno povišane glede na ozadje. S približevanjem Meže Mežici vsebnost Cd v sedimentu postopno narašča do Polene (ME-15), kjer doseže vsebnost 13,8 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in 16,7 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Z oddaljevanjem od Polene se vsebnosti najprej nekoliko znižajo, nato pa se ponovno pričnejo večati in dosežejo najvišje vsebnosti v sedimentu Meže na Poljanah (ME-18) ter v sedimentu Meže na Ravnah na Koroškem (ME-19). Od Raven se vsebnosti Cd v sedimentu reke Meže zopet postopno znižujejo. V sedimentu Drave se vsebnost Cd po pritoku Meže nekoliko poveča (slika 5).

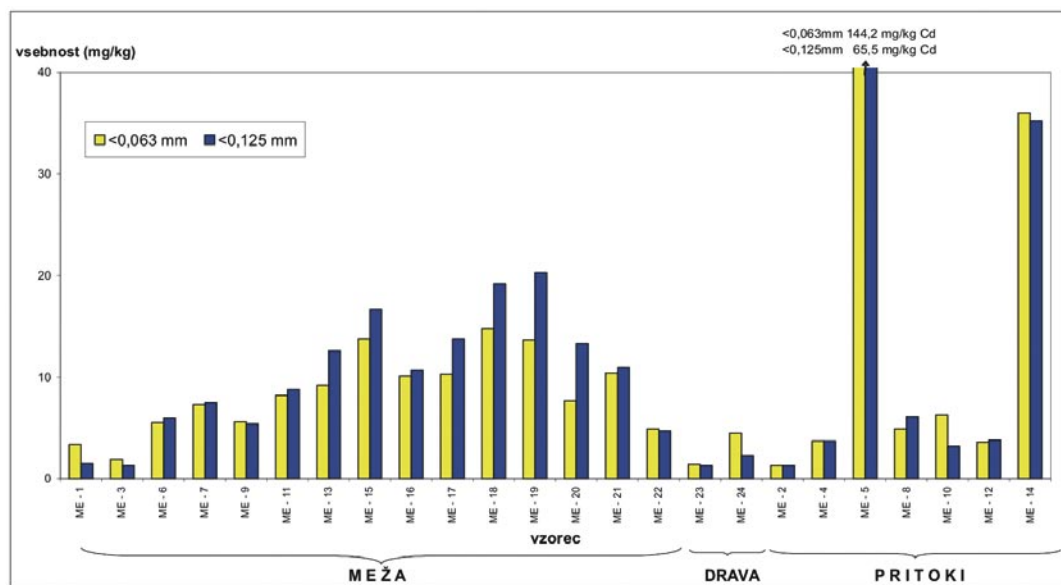
V sedimentih pritokov Meže vsebnosti Cd sicer povsod presegajo 2 mg/kg, kar je

zakonsko določena opozorilna vrednost za tla (Uradni list RS 68/96), a kritično vrednost presežejo le v dveh vzorcih: v vzorcu sedimenta Helenskega potoka (ME-5), kjer je bila določena tudi najvišja vsebnost Cd izmed vseh analiziranih vrednosti in znaša v frakciji < 0,063 mm 144,2 mg/kg ter v frakciji < 0,125 mm 265,5 mg/kg in v vzorcu v Jančarjevi grapi, kjer znaša vsebnost v frakciji < 0,063 mm 36 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm 35 mg/kg.

Molibden (Mo)

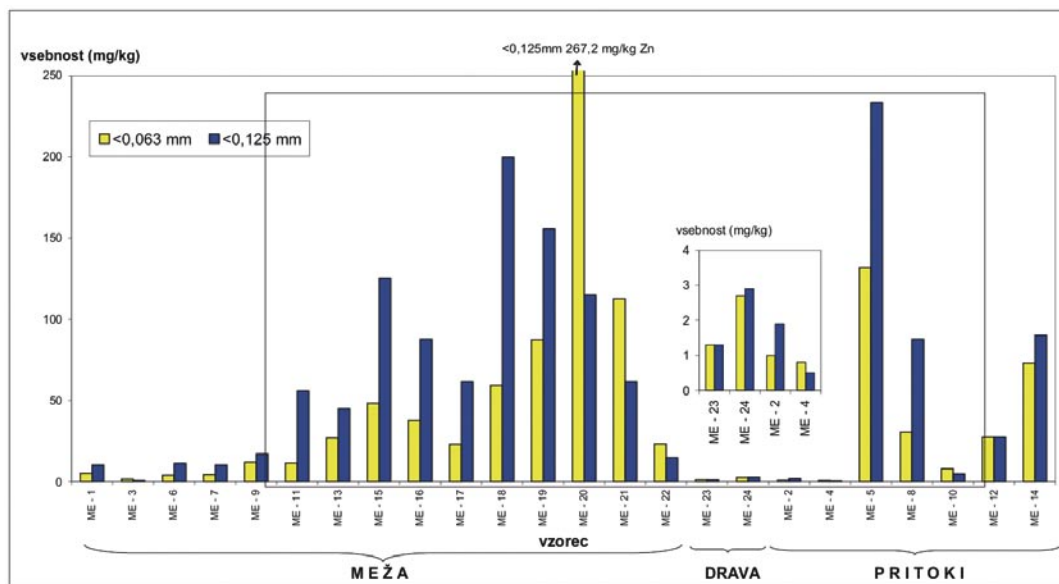
V sedimentu reke Meže do Žerjava so vsebnosti Mo nizke, nato počasi naraščajo do Polene (ME-15), kjer znaša vsebnost 48 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in 126 mg/kg v frakciji < 0,125 mm. Z oddaljevanjem od Polene se vsebnosti zopet nekoliko znižajo, a se v vzorcu sedimenta v Poljanah (ME-18) zopet povečajo. Zanimivo je, da se z oddaljevanjem Meže od Poljan vsebnost Mo v frakciji < 0,125 mm enakomerno niža, v frakciji < 0,063 mm pa v vzorcu na Ravnah (za Železarno Ravne; ME-20) naenkrat poskoči na 267 mg/kg in ostaja višja v primerjavi z vsebnostjo v frakciji < 0,125 mm vse do izliva Meže v Dravo (slika 6).

Tudi pri Mo smo določili visoko vrednost v Helenskem potoku (ME-5; 132 mg/kg v frakciji < 0,063 mm in 234 mg/kg v frakciji



Slika 5. Vsebnosti kadmija (Cd) v obravnavanih sedimentih

Figure 5. Cadmium (Cd) contents in sediments



Slika 6. Vsebnosti molibdena(Mo) v obravnavanih sedimentih

Figure 6. Molybdenum (Mo) contents in sediments

<0,125 mm). Povišane vsebnosti so se pojavile tudi v sedimentu Mušenika (ME-8) in Hudega Grabna (ME-10).

Arzen (As)

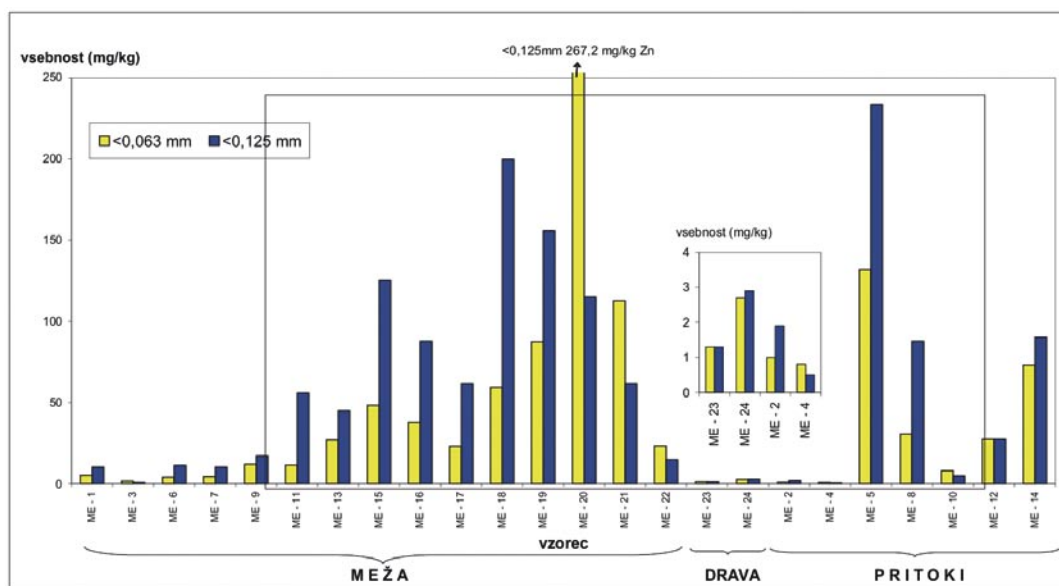
Vsebnosti As v vzorcih sedimenta reke Meže so pod 20 mg/kg, kar je zakonsko določena mejna vrednost za tla (20 mg/kg; Uradni list RS 68/96). Le sediment na Poleni (ME-15) vsebuje nekoliko več As. Zanimivo je, da je v sedimentu reke Drave več As kot v sedimentu Meže. V obeh vzorcih sedimenta Drave (ME-23 in ME-24) vsebnost v frakciji < 0,125 mm preseže zakonsko določeno mejno vrednost (27 mg/kg v ME-23 in 23 mg/kg v ME-24), vsebnost v frakciji < 0,063 mm pa preseže tudi zakonsko določeno opozorilno vrednost (30 mg/kg v ME-23 in 36 mg/kg v ME-24) (Uradni list RS 68/96). V vzorcih sedimenta pritokov Meže so vsebnosti As nizke, razen v dveh vzorcih. V sedimentu Helenskega potoka (ME-5) je bila izmerjena najvišja vsebnost As, ki znaša v frakciji < 0,063 mm 39 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm 59 mg/kg in je hkrati edina vrednost, ki preseže zakonsko določeno kritično vrednost. Povišane pa so bile tudi vsebnosti As v sedimentu v Jančarjevi grapi (ME-14), ki znašajo v frakciji < 0,063 mm 39 mg/kg in v frakciji < 0,125 mm 27 mg/kg (slika 7).

Kobalt, krom, baker in nikelj (Co, Cr, Cu in Ni)

Vsebnosti ostalih težkih kovin so v vzorcih sedimenta Meže in njenih pritokov do Raven na Koroškem nizke (ME-1 do ME-19). V bližini Železarne Ravne (ME-20) pa se močno povečajo vsebnosti Co, Cr, Cu in Ni. Visoke vsebnosti se sicer z oddaljevanjem Meže od Raven do izliva v Dravo nekoliko znižajo, a še vedno ostajajo relativno visoke (ME-21 in ME-22) in so pokazatelj območja vpliva onesnaženja železarne na Ravnah na Koroškem. V vzorcih sedimenta reke Drave (ME-23 in ME-24) se vsebnosti omenjenih prvin ne razlikujejo bistveno pred in za izlivom Meže in se za izlivom Meže celo nekoliko znižajo.

Razprava in zaključki

Povprečne vsebnosti Pb in Zn v sedimentu Meže in pritokov presegajo vsebnosti slovenskega povprečja za potočne sedimente (Sotlar, 1995) za približno stokrat pri Pb in tridesetkrat pri Zn. Tudi primerjava z evropskim povprečjem za potočne in poplavne sedimente (Salminen et al., 2005) kaže na izjemno visoke vsebnosti teh prvin v meziških sedimentih.



Slika 7. Vsebnosti arzena (As) v obravnavanih sedimentih

Figure 7. Arsenic (As) contents in sediments

Najvišje vsebnosti Pb so bile izmerjene v sedimentu reke Meže na širšem območju Mežice ter med Poljanami in Prevaljami. Enako velja tudi za vsebnosti Zn. Povečane vsebnosti obeh prvin v okolici Mežice in na Poleni so posledica onesnaženosti območja zaradi nekdanje predelovalnice rude, prav tako je v bližini Polene odval rudniških odpadkov in flotacijske jalovine (Glančnik), iz katerega lahko prihaja do spiranja (Budkovič et al., 2006). V sedimentu Meže med Poljanami in Prevaljami se vsebnost Pb in Zn ponovno poveča. Po podatkih Prestorja in sodelavcev (2003) ter Dervariča in sodelavcev (2005) je bilo po zaprtju rudnika poplavljenih skoraj 1.700.000 m³ nekdanjih rudniških rovov, v katere je bilo odloženih tudi okoli 360.000 m³ flotacijskega mulja, rudniška voda pa sedaj odteka po 6 km dolgem rovu do Prevalj. Ker v okolici Prevalj nismo ugotovili nobenega drugega vira onesnaženja s težkimi kovinami, domnevamo, da so povečane vsebnosti torej posledica iztekanja rudniških voda v Mežo.

Enak trend lahko opazujemo tudi pri Cd, Mo in As, ki se pogosto pojavljajo skupaj s Pb in Zn v rudnih mineralih. Pri Mo je zanimivo, da doseže najvišjo vsebnost (267 mg/kg) v frakciji < 0,063 mm v vzorcu sedimenta Meže za železarno Ravne, medtem ko doseže v frakciji < 0,125 mm najvišjo vsebnost (200 mg/kg) v vzorcu sedimenta

Meže pri Poljanah. Prav tako lahko opazimo, da je vsebnost Mo v frakciji < 0,063 mm nižja od vsebnosti v frakciji < 0,125 mm do železarne, nato pa se močno poveča glede na frakcijo < 0,125 mm in ostaja višja vse do izliva Meže v Dravo. Zaradi omenjenega trenda domnevamo, da je sprememba vsebnosti ene frakcije glede na drugo posledica vpliva Železarne Ravne in je verjetno vezana na postopke predelave v železarni.

Vsebnosti ostalih težkih kovin (Co, Cr, Cu in Ni) so v sedimentu Meže nizke. Izrazito se povečajo le na Ravnah na Koroškem v okolici Železarne Ravne. Njihova vsebnost pa se z oddaljevanjem od železarne počasi znižuje. Narava razporeditve omenjenih prvin kaže, da je povišana vsebnost na Ravnah posledica železarske industrije. V okolici Raven na Koroškem so bile v sedimentu Meže ugotovljene tudi povišane vsebnosti prvin Mn, Fe, Na in Y, katerih vsebnost se prav tako znižuje z oddaljevanjem od Raven. Tudi povišanje vsebnosti teh prvin je posledica železarske industrije na tem območju. Zanimivo je, da se vsebnosti Co, Ni, Cr, Cu in tudi Mo v sedimentu Meže na Ravnah (ME-20) v frakciji < 0,063 mm močno povišajo glede na vsebnosti v frakciji < 0,125 mm in ostajajo povišane vse do izliva Meže v Dravo, medtem ko so vsebnosti omenjenih prvin v ostalih vzorcih sedimenta Meže približno enake v obeh frakcijah ali celo višje v frakciji

$< 0,125$ mm. Obrat v vsebnosti prvin v eni frakciji glede na drugo je torej posledica predelovalnih postopkov v železarni.

Podobno kot v sedimentu Meže so bile tudi v sedimentu pritokov Meže ugotovljene povišane vsebnosti Pb, Zn, Cd, Mo in As. Izjemno visoke vsebnosti teh prvin so bile določene v sedimentu Helenskega potoka (ME-5). Po podatkih g. Pungartnika (ustno sporočilo) iz RSCM – Gradbeni materiali d.o.o. je prišlo do dveh vdorov Štoparjeve halde v Helenski potok, in sicer oktobra 2000 ter junija 2001 (Bole in sod., 2002). Dobljene visoke vrednosti obravnavanih kovin so tako verjetno posledica vdora Štoparjeve halde, ki se nahaja ob Helenskem potoku. Zaradi izrazito visokih vsebnosti, ki smo jih tod ugotovili, se postavlja vprašanje ali so ugotovljene vsebnosti ostanki onesnaženja sedimenta zaradi vdorov halde v letih 2000 in 2001, ali morda še vedno prihaja do stalnega spiranja tega odvala v potok, in ali ni morda prišlo do vdora katerega od drugih bližnjih odvalov (v neposredni bližini potoka je odval jamske jalovine Helena, v okolici potoka pa je tudi odval mešanih rudniških odpadkov ter flotacijske jalovine Navršnik). Za razjasnitev omenjenega vprašanja, bi bilo potrebno dodatno vzorčenje in analiza sedimenta vzdolž potoka.

Povišane vsebnosti težkih kovin smo ugotovili tudi v sedimentu Junčarjevega potoka (ME-14). Vsebnosti Pb in Mo sta sicer povišani, a ne presegata vsebnosti Pb in Mo določenih v sedimentu Meže na tem območju. Za razliko od Pb in Mo, so vsebnosti Zn, Cd in As višje od vsebnosti dobljenih v sedimentu Meže na tem odseku in presegajo tudi vsebnosti ugotovljene na drugih odsekih. Kažejo na vpliv Polene, kjer so nekoč predelovali rudo, poleg tega je v bližini potoka odval separacijske jalovine in revne rude Fridrih, iz katerega lahko prihaja do spiranja.

V preostalih obravnavanih sedimentih pritokov reke Meže so vsebnosti težkih kovin sicer nekoliko povišane, kar je za obravnavano območje pričakovano, a ne kažejo kakšnih značilnih posebnosti. Najnižje vsebnosti so bile določene v sedimentih pritokov Tople. Čeprav je v okolici zgornjega toka Tople nekaj odvalov rudniških odpadkov, pa kaže, da njihov vpliv ni opazen. V preostalih štirih pritokih (Hudourniški potok v Škrubih (ME-4), Mušenik (ME-8), Jazbinski potok (ME-10) in potok Hudi graben (ME-12)) so vsebnosti težkih kovin relativno

nizke glede na vsebnosti v sedimentu Meže, pojavljajo pa se le posamezna majhna odstopanja pri nekaterih prvinah.

Primerjava obeh vzorcev sedimenta reke Drave kaže na povečanje vsebnosti Pb, Zn, Cd in Mo po pritoku onesnažene Meže. Vsebnosti Cu, Cr, Co in Ni se kljub visokim vsebnostim v Meži, v Dravi po pritoku Meže ne zvišajo opazno. Lahko zaključimo, da onesnaženost Meže zaradi železarske industrije na Ravnah nima opaznega vpliva na kvaliteto sedimenta reke Drave. Primerjava vsebnosti ostalih prvin ne kaže vpliva onesnaženosti reke Meže, posamezne razlike v vsebnostih so tako posledica naravnega ozadja reke in samega onesnaženja Drave.

Primerjava analize vsebnosti prvin v frakcijah $< 0,125$ mm in $< 0,063$ mm je pokazala, da je vsebnost Pb, Zn, Cd in As v sedimentu Meže višja v frakciji $< 0,125$ mm. Za prvine Cr, Cu, Ni ter Mo pa velja, da se njihova vsebnost poveča v frakciji $< 0,063$ mm, glede na frakcijo $< 0,125$ mm, na Ravnah na Koroskem in ostaja višja do izliva Meže v Dravo. Tudi v sedimentu Drave je bila ugotovljena višja vsebnost težkih kovin v drobnejzrnatih analiziranih frakcijah.

Primerjava s predhodnimi raziskavami sedimentov kaže, da smo v letu 2005 ugotovili višje vsebnosti težkih kovin v obravnavanih sedimentih, kot so jih ugotovili v predhodnih raziskavah. V poročilu so Lapajne in sodelavci (1999) v raziskavo kakovosti površinskih voda vključili tudi analizo sedimenta Meže za elemente Pb, Zn in Cd, v letih 1986, 1987, 1988, 1991 in 1992. Odvzemno mesto sedimenta Meže je bilo v bližini Otiškega Vrha. V tej raziskavi (Lapajne et al., 1999) so določili nižje vsebnosti težkih kovin, kot smo jih na tem območju ugotovili mi. Zaradi pomanjkljivih podatkov o odvzemnem mestu, velikosti analizirane frakcije in uporabljeni kemijski metodi v predhodni raziskavi (Lapajne et al., 1999) ne moremo ustrezno primerjati ugotovljenih vsebnosti. Bole in sodelavci (2002) so opravili nekoliko bolj podrobno raziskavo vsebnosti Pb, Cd, As, Zn in Hg v sedimentih Meže ter tudi nekaterih pritokov. V tabeli 4 je prikazana primerjava rezultatov analize vzorcev sedimenta reke Meže in pritokov ter raziskave Bole in sodelavcev (2002), ki so bili odvzeti na približno istih krajih. Primerjava vsebnosti v sedimentu Tople kaže, da je vsebnost Pb v obeh frakcijah vzorca ME-2 višja za približno polovico, vsebnosti Zn in Cd za nekaj manj kot trikrat, medtem ko je vsebnost As za ne-

Tabela 4. Primerjava vsebnosti Pb, Cd, As, Zn in Hg (mg/kg) v sedimentu Meže in pritokov, v raziskavi Bole in sodelavci (2002) ter v obravnavani raziskavi sedimenta

Table 4. Comparison of Pb, Cd, As, Zn and Hg contents (mg/kg) in sediments in previous investigation (Bole et al., 2002) and in this study

Vzorec / vsebnost		Pb	Cd	As	Zn	Hg
Topla (Bole et al., 2002)		93	0,5	0,62	88	< 0,1
ME-2	< 0,063 mm	147	1,3	0,07	260	/
	< 0,125 mm	187	1,3	0,07	284	0,01
Helenski potok (Bole et al., 2002)		4861	92,3	22,60	12961	0,25
ME-5	< 0,063 mm	14200	144,2	39,00	22500	/
	< 0,125 mm	19300	265,6	59,00	37900	0,31
Meža pred Žerjavom (Bole et al., 2002)		573	3,7	2,73	544	< 0,1
ME-9	< 0,063 mm	777	5,6	9,00	879	/
	< 0,125 mm	714	5,4	10,00	897	0,20
Jazbinski potok (Bole et al., 2002)		2242	5,0	4,12	624	0,10
ME-10	< 0,063 mm	452	6,3	6,00	859	/
	< 0,125 mm	242	3,2	4,00	474	0,05
Meža za Šumcem (Bole et al., 2002)		4279	14,9	8,11	2412	0,26
ME-17	< 0,063 mm	2169	10,3	10,00	1683	/
	< 0,125 mm	4957	13,8	12,00	2468	0,09

kaj manj kot devetkrat nižja od vsebnosti ugotovljene v raziskavi Bole in sodelavcev (2002). Zanimiva je primerjava vsebnosti v sedimentu Helenskega potoka. Vsebnosti ugotovljene v vzorcu ME-5 so veliko višje od vsebnosti, ki so jih določili Bole in sodelavci (2002). Izrazito povišanje vsebnosti Pb, Zn, Cd, As in Hg v sedimentu Helenskega potoka pomeni, da verjetno prihaja do stalnega spiranja težkih kovin iz Štoparjeve halde oz. iz katerega od drugih bližnjih odvalov. Za podrobnejšo razjasnitev problema bi bilo potrebno območje podrobneje pregledati in opraviti še kakšno analizo tako sedimenta, kot vode Helenskega potoka. Vsebnosti v sedimentu Meže pred Žerjavom so sicer nekoliko povišane v vzorcu ME-9, a so še vedno dokaj primerljive. Odstopanje se kaže le v vsebnosti As, ki je v vzorcu ME-9 za približno trikrat višja. Primerjava vsebnosti težkih kovin v sedimentu Jazbinskega potoka kaže na bistveno zmanjšanje vsebnosti Pb, medtem ko ostajajo vsebnosti ostalih obravnavanih prvin približno enake. Morda je to pripisati sanacijskim ukrepom, ki so bili narejeni v Žerjavu.

Čeprav je od zaprtja rudnika in prenehanja predelovalne industrije kovin v Zgornji Mežiški dolini minilo že več kot 10 let

in kljub temu, da so bili ob zaprtju sprejeti in izvedeni sanacijski ukrepi, s katerimi so zmanjšali stopnjo onesnaženja, je v Zgornji Mežiški dolini obremenjenost okolja še vedno zelo velika.

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. Prikazana raziskava sedimentov v Mežiški dolini je obravnavana tudi v diplomskem delu Julije Fux (2007), ki ga je opravila na Naravoslovnotehniški fakulteti pod mentorstvom prof. dr. Pezdicha in somentorstvom dr. Mateje Gosar. Za pomoč pri zbiranju podatkov o odvalih flotacijskih in topilniških odpadkov ter revne rude v Mežiški dolini se zahvaljujemo mag. S. Fajmut-Štruel in g. Pungartniku iz RSCM – Gradbeni materiali d.o.o. Le-te so podrobno predstavljene v nalogi, ki smo jo opravili v letu 2005 za Sektor za rudarstvo, Ministrstva za gospodarstvo (Budkovič et al., 2006), njegovo predstavitev širši javnosti pa pripravljamo za naslednjo številko Geologije.

Literatura

- ACME ANALYTICAL LABORATORIES L.t.d., 2003: Assays and geochemical analysis, Acme analytical laboratories L.t.d., Vancouver B.C., str. 18.
- Bidovec, M., 1997: Uporaba poplavnega sedimenta za ugotavljanje geokemičnega ozadja in stopnje onesnaženja. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Ljubljana, str. 132.
- Bole, M., Druks, P., Rošar Drev, A. & Vetrih, M., 2002: Meža s pritoki – sediment, segment vode. – V: Ribarič Lasnik C.: Primerjalna študija o onesnaženosti okolja v Zg. Mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001, končno poročilo, str. 106–125.
- Bowen, H. J., 1979: Environmental chemistry of the elements. – Academic Press, London, str. 318.
- Budkovič, T., Šajn, R., Gosar, M. & Fux, J., 2006: Usklajevanje z aktivnostmi Evropske unije: aktivnosti v zvezi z EU direktivo o ravnanju z odpadki iz rudarskih in drugih ekstraktivnih dejavnosti: inventar odlagališč jamskih, flotacijskih in topilniških deponij odpadkov v GIS okolju na območju Rudnika svinca in cinka Mežica: poročilo o izvedenih delih v letu 2005, (Strokovne podlage za delo sektorja za rudarstvo). Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 1 zv. (loč. pag.).
- Dervarič, E., Herlec, U., Likar, J., Bajželj, U. & Strahovnik, V. (ur.), 2005: Rudniki in premogovniki v Sloveniji. – Argos, Ljubljana, str. 175.
- Fux, J. 2007: Težke kovine v sedimentih reke Meže in pritokov kot posledica 300-letnega rudarjenja na območju Mežiške doline: diplomsko delo. – Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 95 str., Ljubljana.
- Kugonič, N. & Zupan, M., 1999: Vsebnosti Pb, Cd in Zn v tleh in nekaterih rastlinah v Zgornji mežiški dolini. V: Ribarič-Lasnik C. et al.: Problem težkih kovin v Zgornji Mežiški dolini: zbornik referatov, Inštiut za ekološke raziskave ERICo, Velenje, str. 66–78.
- Lapajne, S., Zupan, M., Bole, M., Rošar-Drev, A. & Janet, E., 1999: Posnetek obstoječe vodooskrbe in kakovosti površinskih voda na območju Mežiške doline. – V: Ribarič Lasnik, C. et al.: Problem težkih kovin v Zgornji Mežiški dolini: zbornik referatov, Inštiut za ekološke raziskave ERICo, Velenje, str. 87–95.
- Lednik, Š., 1994: Mežica 1994, O podobi in preteklosti kraja ob njegovi 840-letnici. – Samozaložba avtorja, Mežica, str. 66–96.
- Mohorič, I., 1954: Industrializacija Mežiške doline. – Založba obzorja, Maribor, str. 130–208.
- Pačnik, L., 2002: Uvod. – V: Ribarič Lasnik C.: Primerjalna študija o onesnaženosti okolja v Zg. Mežiški dolini med stanji v letih 1989 in 2001, končno poročilo, str. 1–32.
- Prestor, J., Štruel, S. & Pungartnik, M., 2003: Mežica lead and zinc mine closure impact on hydrogeological conditions in upper Meža valley. – RMZ, Materials and Geoenvironment, 50/1, 313–316, Ljubljana.
- Salminen, R., Batista, M. J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamič, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P., Olsson, S. A., Ottesen, R. T., Petersell, V., Plant, J., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steinfelt, A. & Tarvainen, T., 2005: Geochemical atlas of Europe. Part 1, Background information, methodology and maps. – Espoo: Geological Survey of Finland, 525 pp.
- Sotlar, K., 1995: Potočni sediment kot vzorčno sredstvo za izdelavo geokemične karte Slovenije. Diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Oddelek za geologijo, Ljubljana, str. 114.
- Souvent, P. 1992: Svinec, metalurgija svinca, okolje. – Rudarsko-metalurški zbornik, Ljubljana, str. 447–469.
- Souvent, P. 1994: Rudnik Mežica nekoč, danes, jutri. – V: Lah, A.: Okolje v Sloveniji: zbornik, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 533–541.
- Šajn, R. 2002: Vpliv rudarjenja in metalurške dejavnosti na kemično sestavo tal in podstrešnega prahu v Mežiški dolini. – Geologija, 45/2, 547–552, Ljubljana.
- 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, Grenoble.
- Šajn, R. & Gosar, M. 2004: Pregled nekaterih onesnaženih lokacij zaradi nekdanjega rudarjenja in metalurških dejavnosti v Sloveniji. – Geologija, 47/2, 249–258, Ljubljana.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, H. K., 1961: Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. – Bull. Geol. Soc. Am, 72, 175–192.
- 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.
- Uran, S., 1965: Zgodovina rudarstva v Mežiški dolini. – V: Golčer, T. & Pobežnik, R.: Med Peco in Pohorjem, Založba obzorja, Maribor, str. 49–86.