



Geokemična porazdelitev elementov v okoljskih medijih iz okolice degradiranih območij površinskih kopov

Geochemical distribution of elements in the environmental media from the surroundings of open pit areas

Špela BAVEC^{1*}, Sonja CERAR¹, Martin GABERŠEK¹ & Željko POGAČNIK²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; *corresponding author: spela.bavec@geo-zs.si

²Georudeko d.o.o., Anhovo, SI-5210 Deskle, Slovenija

Prejeto / Received 9. 10. 2024; Sprejeto / Accepted 2. 12. 2024; Objavljeno na spletu / Published online 16. 12. 2024

Ključne besede: geokemična porazdelitev, tla, matična podlaga, potočni sediment, površinska voda, površinski kop
Key words: geochemical distribution, soil, bedrock, stream sediment, surface water, open pit

Izvleček

Predstavljeni so rezultati geokemičnih preiskav v okolici površinskih kopov Kopriva (nahajališče naravnega kamna-apnenec) in Lipovski vrh (nahajališče apnenca za industrijske namene). Izvedli smo jih v okviru evropskega projekta LIFE IP RESTART. V sklopu omenjenega projekta se na degradiranih površinah omenjenih kopov, z namenom njihove revitalizacije, predvideva vzpostavitev testnih območij vgradnje sekundarnih materialov (mešanice recikliranih materialov in mineralnih surovin). Glavni cilj te študije je opredeliti izhodiščno stanje geokemične porazdelitve elementov v okoljskih materialih (kamninah, tleh, potočnih sedimentih in površinskih vodah) pred vzpostavitvijo testnih območij. Določene vsebnosti elementov bodo podlaga za spremljanje morebitnih okoljskih vplivov vgrajenih sekundarnih materialov. Rezultati so pokazali, da v kamninah zaradi geološke sestave (pretežno apnenec) med elementi prevladuje vsebnost Ca. Glede na zakonodajne smernice za tla smo ugotovili preseganja vsebnosti Pb v enem vzorcu (izvor je lahko antropogen ali naraven) in Ni v dveh vzorcih (predvidoma naraven izvor) v Koprivi. Na območju Lipovškega vrha so v Suhem potoku v dolvodnem sedimentu vsebnosti za elemente Mg, Na, Sr, Ca, Mn in S višje kot v gorvodnem sedimentu. Višje vsebnosti pripisujemo povečanemu antropogenemu doprinosu karbonatnega materiala vzdolž potoka (izpiranje materiala iz bližnjega kamnoloma in cest). V površinski vodi Suhega potoka smo ugotovili višje vsebnosti elementov S, Sr, B, U in Zn, ki niso presegale zakonodajnih smernic.

Abstract

The results of geochemical investigations - carried out within the framework of the European project LIFE IP RESTART - in the degraded areas of the Kopriva (deposit of natural stone-limestone) and Lipovski vrh (deposit of limestone for industrial purposes) open pits are presented. There test sites of the installation of secondary raw materials (a mixture of recycled materials and mineral raw materials) with the aim of revitalizing degraded surfaces are planned. The main goal of this study is to define the baseline geochemical distribution of elements in environmental materials (rocks, soil, stream sediment and surface water) for the purpose of monitoring the potential environmental impacts of installed secondary raw materials. In rocks Ca content predominates due to the geological setting (predominantly limestone) of the studied areas. According to the legislative guidelines for soil, exceedances have been found for Pb in one sample (origin can be natural or anthropogenic) and Ni in two samples (presumably natural origin) from the area of Kopriva. In the area of Lipovski vrh in the stream Suhi Potok, higher contents of Mg, Na, Sr, Ca, Mn and S occur in the downstream sediment compared to upstream sediment. It is assumed higher contents occur due to anthropogenic contribution of carbonate material along the stream (washing of materials from nearby open pit and road). In the surface water of Suhi Potok, higher concentrations of S, Sr, B, U and Zn were determined. However, the concentrations did not exceed the legislative guidelines.

Uvod

Geokemična sestava površinskih materialov vpliva na biosfero, zato je njeno poznavanje ključno za razumevanje kroženja kemičnih prvin v okolju (Darnley et al., 1995). Porazdelitve elementov v površinskih materialih geosfere so opredeljene z njihovimi naravnimi variabilnostmi oziroma geokemičnim ozadjem (Darnley et al., 1995; Salminen et al., 2005; Gosar et al., 2019; Gassama et al., 2021). Poznavanje geokemičnega ozadja je sprva služilo predvsem odkrivanju novih mineralnih nahajališč (Hawkes, 1957). Kasneje je postalo bistvenega pomena za opredelitev in identifikacijo virov onesnaženja ter za vzpostavitev zanesljivih okoljskih meril kakovosti za tla, sedimente in površinske vode (Gałuszka & Migaszwski, 2011). Kakovost površinskih materialov skozi čas ugotavljamo z okoljskim monitoringom, ki predstavlja ključno orodje za zaščito okolja in zdravja biosfere, vključno s človekom (Artiola & Brusseau, 2006). Med najpomembnejše antropogene dejavnosti, ki povzročijo degradacijo naravnih okolij, spada izkoriščanje mineralnih surovin (Koščová et al., 2018). Slednje povzroča številne negativne vplive na okoliško krajino in prebivalstvo, kot so onesnaženje zraka, vod in tal (Šajn & Gosar, 2004; Bavec et al., 2015; Bavec & Gosar, 2016; Miler & Gosar, 2019; Miler et al., 2022). Z namenom preučitve možnih negativnih vplivov na okolje, ki bi lahko bili posledica nekdanjih rudarskih dejavnosti, je bil za Slovenijo izdelan inventar, ki vključuje informacije o 33 rudnikih kovin, 43 premogovnikih, 51 rudnikih nekovinskih mineralnih surovin, 156 odlagališčih odpadkov iz rudnikov kovin in 18 odlagališčih odpadkov iz premogovnikov (Gosar et al., 2020). Reševanje negativnih posledic zaprtih in opuščanih rudnikov ostaja v večji meri breme države (Uradni list SRS, št. 5/88; Uradni list RS, št. 26/05 – uradno prečiščeno besedilo, 43/10, 49/10 – popr., 40/12 – ZUJF, 25/14, 46/14, 82/15, 84/18 in 204/21; Uradni list RS, št. 26/05 – uradno prečiščeno besedilo; Uradni list RS, št. 22/06 – uradno prečiščeno besedilo). V letu 2022 je bilo aktivnih skupno 158 nahajališč s 180 pridobivalnimi prostori z rudarsko pravico za izkoriščanje 24 različnih mineralnih surovin, med katerimi prevladujejo prod in pesek ter tehnični in naravni kamen (Senegačnik et al., 2023). Dokončna sanacija okolja in odprava posledic rudarskih del aktivnih rudnikov je zakonsko urejena (Uradni list RS, št. 14/14 – uradno prečiščeno besedilo, 61/17 – GZ, 54/22 in 78/23 – ZUNPEOVE in 81/24) in v celoti bremeni nosilca rudarske pravice. Sanacija vključuje zapolnitev degradiranih površin z lastno inertno jalovino in odkrivotko ter

materiali (zemeljski izkop in umetno pripravljena zemljina), ki so skladni z merili okoljske zakonodaje. Ker materialov za sanacijo primanjkuje, se v sozvočju s prehodom na krožno gospodarstvo za zapolnitev degradiranih površin uporabljajo tudi t.i. geotehničnimi kompoziti iz recikliranih odpadkov (Turk et al., 2020; Đurić et al., 2023). Le ti lahko ob neustrezni izvedbi vplivajo na okolje v obliki emisij potencialno nevarnih snovi (Cerar & Bavec, 2019).

Razvoj okoljsko sprejemljivih t.i. sekundarnih materialov za zapolnitev degradiranih površin pridobivalnih prostorov je ena izmed nalog projekta LIFE IP RESTART. Namen omenjenega projekta je premostiti ovire povezane z recikliranjem odpadkov v Sloveniji, vključno s pomanjkanjem usklajene zakonodaje, nezadostnimi zmogljivostmi za recikliranje ter nizko družbeno sprejemljivostjo postopkov recikliranja in nastalih proizvodov (Internet 1). Testna območja vgradnje sekundarnih materialov z namenom revitalizacije degradiranih površin bodo vzpostavljena na območjih površinskih kopov Kopriva in Lipovski vrh.

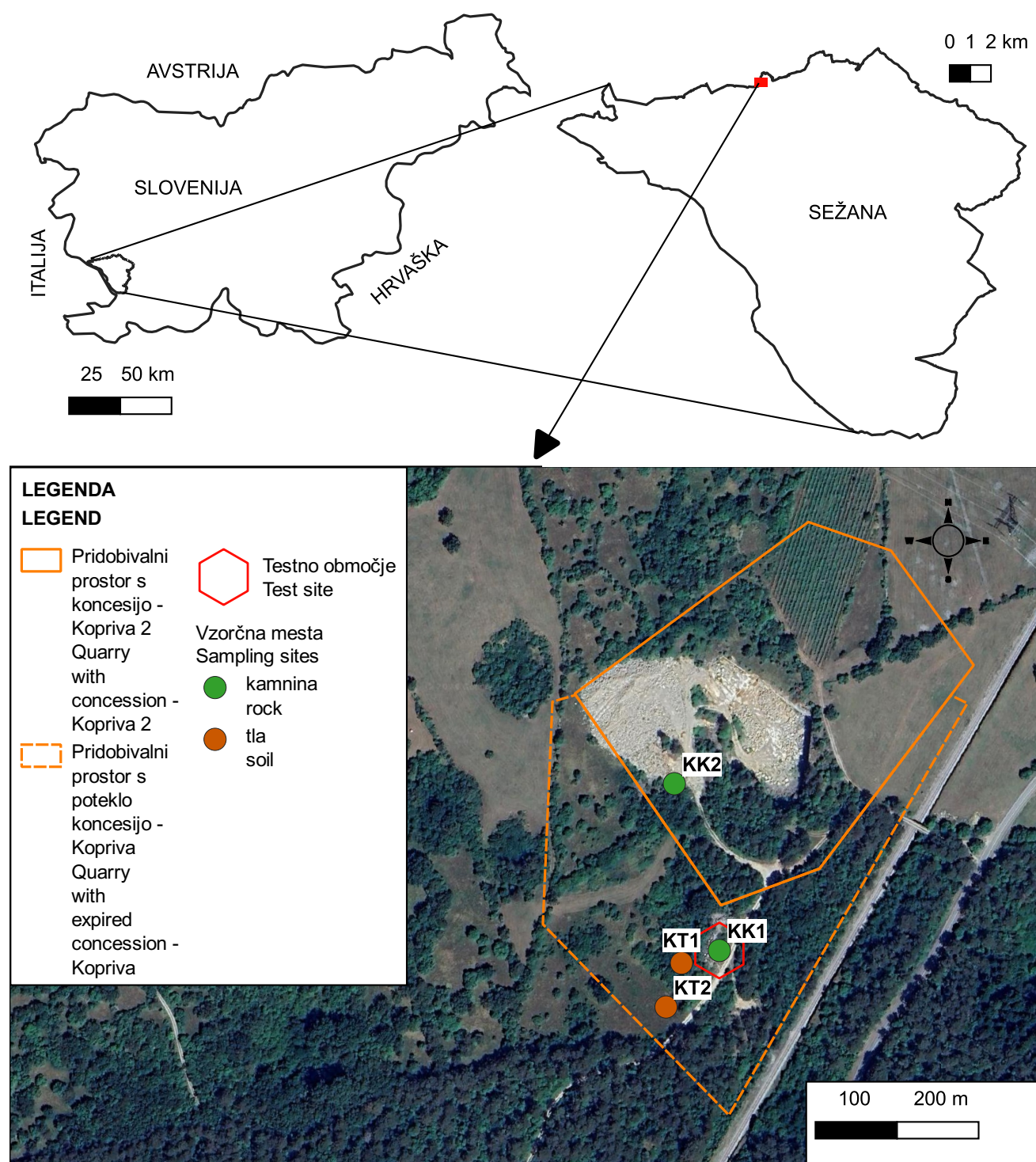
Glavni cilj tega prispevka je določitev izhodiščnega stanja geokemične porazdelitve elementov v kamninah, tleh, potočnih sedimentih in površinskih vodah iz okolice degradiranih površin pridobivalnih prostorov Kopriva in Lipovski vrh pred vzpostavitvijo testnih območij. Izhodiščne vsebnosti elementov v obravnavanih materialih bodo osnova za dolgoročno spremljanje morebitnih okoljskih vplivov vgrajenih sekundarnih surovin.

Metode

Študijsko območje

Kopriva

Površinski kop Kopriva (sl. 1) se nahaja v občini Sežana približno 1,5 km severno od naselja Kopriva, ki leži približno 60 km jugozahodno od Ljubljane na nadmorski višini okoli 285 m. V pridobivalnem prostoru Kopriva ter Kopriva 2 so izkoriščali oz. izkoriščajo naravni kamen-apnenec (Senegačnik et al., 2023). Glede na Geološko karto Krasa 1:100.000 (Jurkovšek, 2013) širše območje kamnoloma gradijo plastnati mikritni apnenci z roženci in pelagičnimi mikrofosili Repenske formacije. Sam kamnolom in območje južno od njega gradi člen Repen/Kopriva, sestavljen iz masivnega apnenca, ki vsebuje zdrobljene lupine mehkužcev, pretežno rudistov. Glede na digitalno Pedološko karto 1:25.000 (TIS/ICPVO, 1999-2010) se v ožji okolici površinskega kopa pojavljajo rendzina na apnencu in dolomitu ter rjava pokarbonatna tla na



Sl. 1. Prikaz obravnavanega območja (Kopriva) skupaj z lokacijami vzorčnih mest in predvideno lokacijo testnega območja (Podlage: Ortofoto (Geodetska uprava Republike Slovenije); Linijski podatkovni sloj hidrografije – površinske vode (Ministrstvo za okolje podnebje in energijo, Direkcija Republike Slovenije za vode); meje pridobivalnega prostora (Zbirka rudarskih podatkov)).

Fig. 1. Display of study area (Kopriva) together with sampling locations and foreseen test site location (Layers: Ortophoto Geodetic administration of Slovenia); Line data layer of hydrography - surface waters (Ministry of the Environment, Climate and Energy, Slovenian Water Agency); Quarry boundaries (Mining data registry)).

apnencu in dolomitu. Skladno z enotno državno evidenco o dejanski rabi zemljišč (MKGP, 2022) tla v ožji okolici površinskega kopa glede na rabo uvrščamo med trajne travnike, kmetijska zemljišča, porasla z gozdnim drevjem ali v zaraščanju, drevesa in grmičevje ter gozd.

Območje kamnoloma Kopriva je del vodnega telesa podzemne vode »VTPodV 5019 Obala in Kras z Brkini« in vodonosnega sistema »50621 Brestovica – Timav«. Po IAH hidrogeološki klasifikaciji leži na območju lokalnega vodonosnika ali vodonosnika s spremenljivo izdatnostjo, ali obširnega

vendar največ srednje izdatnega vodonosnika (II.b). Vodonosnik gradi zgoraj omenjeni zgornjekredni člen Repen/Kopriva. Gre za hidrodinamsko odprt kraško-razpoklinski vodonosnik z dobro do zelo dobro vodoprepustnostjo dobro zakraselih kamnin. Gladina podzemne vode zaradi kraško-razpoklinske poroznosti ni zvezna, globina do podzemne vode na ožjem območju zaradi odsotnosti vrtin in vodnjakov ni znana. Podzemna voda se na tem območju pojavlja na globini okoli 200 m pod površjem (ustni vir: Jasmina Rijavec). Napajalno zaledje vodonosnika predstavlja območje severovzhodno od obravnavanega območja. Generalna smer toka podzemne vode na območju vodonosnika Brestovica – Timav je od severovzhoda proti zahodu – jugozahodu. Glavno napajanje vodonosnika predstavljajo padavine (Mali et al., 2023). Ker gre za kraško območje, površinska voda v okolici kamnoloma ni prisotna.

Lipovski vrh

Površinski kop Lipovski vrh (sl. 2) se nahaja približno 500 m severno od naselja Briše v občini Zagorje ob Savi, ki leži približno 30 km severovzhodno od Ljubljane na nadmorski višini okoli 480 m. V pridobivalnem prostoru Lipovski vrh izkoriščajo apnenec za industrijske namene (Senegačnik et al., 2023). Širše območje kamnoloma sestavljajo miocenske sedimentne kamnine (apnenokremenovi konglomerati, ki prehajajo v peščenjak, laporovci in apnenci) ter sedimenti (prod, pesek, melj in glina), ki so se odlagali v plitvem Panonskem bazenu. Ožje območje kamnoloma gradijo srednjemiocenske (badenijske) Laške plasti, pretežno litotamnijski apnenec ter apnenčevi peščenjaki in laporovci (Premru, 1980; Križnar & Mikuž, 2014; Pogačnik, 2022). Glede na digitalno Pedološko karto 1:25.000 (TIS/ICPVO, 1999–2010) se v ožji okolici površinskega kopa pojavljajo evtrična rjava tla na različnih bazičnih kamninah in distrična rjava tla na miocenskih peskih, peščenjakih in konglomeratih. Skladno z enotno državno evidenco o dejanski rabi zemljišč (MKGP, 2022) tla v ožji okolici površinskega kopa glede na rabo uvrščamo med trajne travnike, njive, neobdelana kmetijska zemljišča, drevesa in grmičevje ter gozd.

Območje kamnoloma Lipovski vrh je del vodnega telesa podzemne vode »VTPodV 1008 Posavsko hribovje do osrednje Sotle« in vodonosnega sistema »12320 Od Litije do Zidanega mostu«. Po IAH hidrogeološki klasifikaciji leži na območju lokalnega vodonosnika ali vodonosnika s spremenljivo izdatnostjo, ali obširnega vendar največ srednje izdatnega vodonosnika (II.b). Severno in južno so manjši vodonosniki z lokalnimi ali ome-

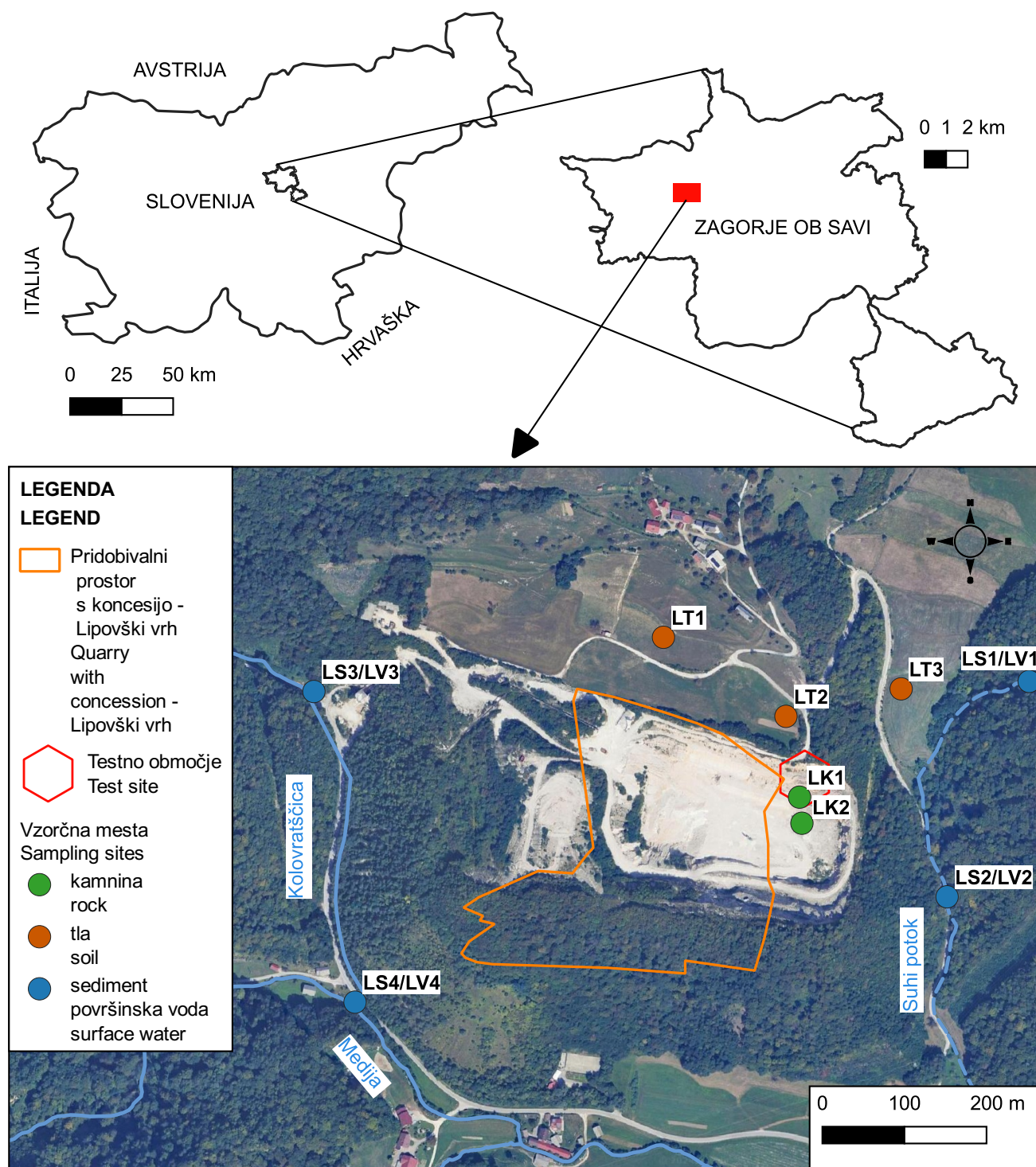
jenimi viri podzemne vode (III.a). Vodonosnik gradijo srednjemiocenske (badenijske) Laške plasti, pretežno litotamnijski apnenec ter apnenčevi peščenjaki in laporovci. Gre za hidrodinamsko odprt kraško-razpoklinski vodonosnik s srednje do slabšo vodoprepustnostjo. Gladina podzemne vode zaradi kraško-razpoklinske poroznosti ni zvezna, globina do podzemne vode pa zaradi pomanjkanja podatkov (vrtin/vodnjakov) ni znana. Napajalno zaledje vodonosnika predstavlja območje hriba Vrhlija, severno od obravnavanega območja. Glavno napajanje vodonosnika so padavine. V neposredni bližini obravnavanega območja tečeta potoka Kolovratščica na zahodu in Medija na jugu ter občasni vodotok (Suhi potok) na vzhodni strani kamnoloma. Kota struge potoka Kolovratščica je glede na podatke Atlasa okolja okoli 370 m n.v., širina struge je 2–5 m. Vodotok je stalen. Severozahodno od kamnoloma potok teče po naravni strugi površinsko. Ob zahodnem robu kamnoloma, vse do izliva v potok Medija, teče ob vznožju hribovja skozi pokrit kanal ob cesti. Odsek Kolovratščice je po kategorizaciji urejanja vodotokov uvrščen v 2. razred, tj. med sonaravno urejene vodotoke. Južno od kamnoloma teče stalen potok Medija v katerega dolvodno od naselja Briše doteka tudi občasen vodotok (Suhi potok), ki teče vzhodno od kamnoloma.

Vzorčenje

Da bi ugotovili izhodiščno geokemično porazdelitev vsebnosti elementov v okoljskih materialih, smo na obeh območjih vzorčili matično podlago in tla, na območju Lipovškega vrha pa še potočni sediment in površinsko vodo. Karbonatno matično podlago, ki je podrobneje opisana v prejšnjem poglavju, smo vzorčili z odvzemom svežih kosov kamnin znotraj obeh kamnolomov (v Koprivi vzorčno mesto KK2, v Lipovškem vrhu vzorčni mesti LK1, LK2). V Koprivi bo testno območje locirano ob obstoječem odprtem kopu, na manjšem odlagališču karbonantnega jalovinskega materiala, zato smo kose kamnin vzorčili tudi znotraj tega območja (vzorčno mesto KK1).

V okolici površinskega kopa Kopriva smo dve vzorčni mesti za tla (KT1 in KT2) (sl. 1) določili v neposredni bližini testnega območja, kjer pričakujemo, da bodo morebitni vplivi (potencialno onesnaženje predvsem zaradi delovanja vetra in padavin) najbolj izraženi.

V okolici površinskega kopa Lipovski vrh smo določili tri vzorčna mesta za tla (LT1, LT2 in LT3) ter gorvodno in dolvodno vzorčno mesto (glede na lokacijo kamnoloma) potočnih sedimentov in površinskih vod v vodotokih Suhi potok (LS1/LV1,



Sl. 2. Prikaz obravnavanega območja (Lipovški vrh) skupaj z lokacijami vzorčnih mest in predvideno lokacijo testnega območja (Podlage: Ortofoto (Geodetska uprava Republike Slovenije); Linijski podatkovni sloj hidrografije – površinske vode (Ministrstvo za okolje podnebje in energijo, Direkcija Republike Slovenije za vode); meje pridobivalnega prostora (Zbirka rudarskih podatkov)).

Fig. 2. Display of study area (Lipovški vrh) together with sampling locations and foreseen test site location (Layers: Ortophoto Geodetic administration of Slovenia); Line data layer of hydrography - surface waters (Ministry of the Environment, Climate and Energy, Slovenian Water Agency); Quarry boundaries (Mining data registry)).

LS2/LV2) in Kolovratščica (LS3/LV3 in LS4/LV4) (sl. 2). Vzorčnih mest za tla v neposredni bližini testnega območja ni bilo mogoče vzpostaviti, saj je testno območje predvideno znotraj opuščene območja pridobivalnega prostora, kjer so bila tla odstranjena zaradi pridobivanja mineralnih su-

rovin. Zaradi tega smo vzorčne lokacije določili v bližnji okolici (sl. 2), kjer predvidevamo možnost potencialnega onesnaženja. Slednje je kratkoročno gledano možno tekom transporta in vgradnje sekundarnih materialov, dolgoročno pa zaradi delovanja vremenskih dejavnikov.

Tla smo vzorčili na površinah travnikov, z izjemo vzorčnega mesta KT1 (območje Koprive), ki je bilo izvedeno na dnu vrtače, poraščeno z gostim grmičevjem. Skladno s smernicami SIST ISO 18400-205:2019 in SIST ISO 18400-104/2019 smo odvzeli prostorske kompozitne vzorce v enakomerni vzorčni mreži. Na ta način smo pridobili informacije o povprečnih geokemičnih lastnostih tal v ožji okolici preiskovanih območij. Na vzorčnih mestih KT1 in KT2 (območje Kopriva), kjer se glede na Pedološko karto Slovenije pojavlja rendzina na apnencu in dolomitu, ter LT1 (območje Lipovski vrh), kjer se glede na Pedološko karto Slovenije pojavljajo evtrična rjava tla na različnih bazičnih kamninah, smo izkopali po 3 talne profile (do globine 40 m) v medsebojni razdalji 5 m. Vzorčili smo dve globini, in sicer zgornji sloj tal (0–10 cm; oznaka G1) ter spodnji sloj tal (20–30 cm; oznaka G2), pri čemer smo posamezne sloje iz treh talnih profilov združili v skupni vzorec. Dve globini smo vzorčili z namenom ugotavljanja variabilnosti parametrov z globino. Na vzorčnih mestih LT2 in LT3 (območje Lipovski vrh) smo ugotovili, da so tla antropogena in plitva, zato smo odvzeli le zgornji sloj tal (0–5 cm), pri čemer smo v skupni vzorec združili podvzorce iz 6 lokacij v medsebojni razdalji 5 m. Pod tlemi se nahaja antropogeno nasutje (karbonaten gramoz). Organski horizont Oh smo pred vzorčenjem odstranili. Odvzeli smo 5 kg posameznega vzorca tal.

Potočni sediment smo vzorčili na istem vzorčnem mestu kot površinsko vodo. Odvzet je bil kompozitni vzorec, število podvorcev je bilo odvisno od naravnih danosti, to je količine posameznih žepov drobnozrnatega sedimenta znotraj struge. Podvzorci so bili odvzeti s plastično lopatko do 10 m po strugi navzdol od lokacije vzorčenja površinske vode. Odvzem vzorcev površinske vode smo izvedli skladno s standardom SIST ISO 5667-10:1996, upoštevajoč potrebna določila SIST EN ISO 5667-6:2015. Pred vzorčenjem smo izvedli meritve terenskih fizikalno-kemičnih parametrov vode (temperatura vode, pH, specifična električna prevodnost, raztopljeni kisik, nasičenost s kisikom in redoks potencial) z uporabo vodoodpornega multimetra HI98194 proizvajalca HANNA instruments Inc (Hanna instruments, 2020a). Točnost meritev terenskih parametrov, ki je podana v priloženem gradivu o lastnostih uporabljenega instrumenta (Hanna instruments, 2020a) znaša za $\text{pH} \pm 0,02$, za temperaturo vode $\pm 0,15$ °C, za električno prevodnost ± 1 %, raztopljeni kisik oziroma nasičenost s kisikom $\pm 1,5$ –3 %, in redoks potencial ± 1 mV.

Vzorce tal in potočnih sedimentov smo shranili v 3 L polietilenske (PE) posode, vzorce površinske vode pa v steklenice, plastenke in viale različnih dimenzij, pri čemer so bile za določene parametre dodane ustrezne tekočine (kisline ali baze) za stabilizacijo. Vzorce vod smo na terenu vseskozi hladili v hladilnih torbah. Vzorce vod smo do pošiljanja v laboratorij hranili v hladilniku, vzorce kamnin, tal in sedimentov pa v temnem prostoru na temperaturi < 10 °C.

Priprava vzorcev in kemijske analize

Priprava vzorcev in kemijske analize so bile opravljene v akreditiranem laboratoriju ALS Czech Republic, s.r.o. Kvaliteta analitike v laboratoriju ALS Czech Republic s.r.o. je skladna z ISO/IEC 17025:2017.

Za določitev vsebnosti elementov v trdnih materialih so bili vzorci pripravljani z razklopom z zlatotopko ($\text{HNO}_3:\text{HCl}=1:3$). Za določitev mobilnih vsebnosti elementov v trdnih materialih so bili pripravljani vodni izlužki v razmerju 10 litrov vode na 1 kg vzorca v skladu s standardom za izlužek odpadka (EN 12457-4). Vzorce površinskih vod so bili pred analizo filtrirani ($0,45 \mu\text{m}$) in homogenizirani ter mineralizirani z dušikovo kislino v avtoklavu pod visokim pritiskom in temperaturo.

Vsebnosti elementov (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Ti, Tl, V, W, Zn in Zr) v vzorcih kamnin, tal in potočnih sedimentov po razklopu z zlatotopko in v vodnem izlužku (EN 12457-4) so bile izmerjene z metodo ICP-OES (Induktivno sklopljena plazma z optično emisijsko spektroskopijo) oziroma ICP-MS (Induktivno sklopljena plazma z masno spektroskopijo). Z omenjenima metodama so bile izmerjene tudi vsebnosti elementov v raztopljeni obliki in v obliki trdnih delcev v površinski vodi. Vrednosti Hg so bile v vseh vzorcih izmerjene z AFS (atomska fluorescentna spektrometrija). Vsebnosti Cr(VI) so bile določene z ionsko kromatografijo s spektrofotometrično detekcijo in izračunom trivalentnega kroma iz izmerjene vrednosti. Kvaliteta analize je bila sledeča. Vsebnosti v slepih vzorcih so bile zanemarljive oziroma pod mejo določljivosti. Točnost (izkoristek %) analitike vseh obravnavanih vzorcev po razklopu z zlatotopko, v vodnih izlužkih, kot tudi v raztopljeni obliki in obliki trdnih delcev v vodi, je bila dobra (90–110 %). Ponovljivost (relativna odstotna razlika oziroma RPD) je bila za večino elementov ter za Cr(VI) v vseh obravnavanih materialih dobra (<10 %). Izjeme so Ba, Ca, Li, P, Sr, S in V v trdnih materialih po razklopu z zlatotopko ter Ba in Zn v vodnih izlužkih, kjer je

bila ponovljivost zadovoljiva (<20 %). Ponovljivost je bila slaba za Zn v obliki trdnih delcev v površinski vodi (44 %).

Vrednotenje rezultatov

Izmerjene vsebnosti v tleh smo primerjali z medianami in geokemičnimi zgornjimi mejami naravne variabilnosti (P97,5 oz. 97,5. percentil) (Gosar et al., 2019). Geokemična zgornja meja naravne variabilnosti se uporablja za določitev območij z nenavadno visokimi vsebnostmi elementov. Z geokemičnimi zgornjimi mejami naravne variabilnosti izdvojimo območja tal, ki zahtevajo večjo pozornost in morda nadaljnje analize in študije (Reimann et al., 2018). Za oceno stanja tal smo rezultate celokupnih vrednosti ovrednotili z opozorilnimi in kritičnimi imisijskimi vrednostmi nevarnih snovi v tleh, ki so določene v Prilogi 1 Uredbe o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (Ur. l. RS št. 68/96, 41/04-ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2). Opozorilna imisijska vrednost (v nadaljnjem besedilu: opozorilna vrednost) je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, ki pomeni pri določenih vrstah rabe tal verjetnost škodljivih učinkov ali vplivov na zdravje človeka ali okolje. Kritična imisijska vrednost (v nadaljnjem besedilu: kritična vrednost) je gostota posamezne nevarne snovi v tleh, pri kateri zaradi škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje onesnažena tla niso primerna za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode. V uredbi (Ur. l. RS št. 68/96, 41/04-ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2) so sicer podane tudi mejne vrednosti, pri katerih se ne poslabšuje kakovost podzemne vode ter rodovitnost tal oz. so učinki ali vplivi na zdravje človeka ali okolje še sprejemljivi, zato teh vrednosti nismo vključili v obdelavo podatkov.

Razliko vsebnosti elementov v potočnih sedimentih in v površinski vodi na dolvodni lokaciji v primerjavi z gorvodno lokacijo smo izračunali kot obogatitveno razmerje (ER), in sicer s količnikom med vsebnostjo v potočnem sedimentu oziroma površinski vodi dolvodno in koncentracijo v potočnem sedimentu oziroma površinski vodi gorvodno. Za vrednosti pod mejo določljivosti merilne metode (LOQ) smo za izračun uporabili polovično vrednost LOQ.

Za oceno stanja površinske vode smo rezultate ovrednotili glede na najvišje dovoljene koncentracije okoljskega standarda kakovosti (NDK-OSK), ki so določene z Uredbo o stanju površinskih voda (Ur. l. RS št. 14/09, 98/10, 96/13, 24/16 in 44/22 – ZVO-2).

Rezultati in razprava

Vrednosti, ki so bile izmerjene > LOQ so podane v tabelah, in sicer v tabeli 1 za kamnine, tabeli 2 za tla, v tabeli 3 za potočne sedimente, v tabeli 4 za površinske vode in v tabeli 5 za izlužke kamnin, tal in potočnih sedimentov.

Geokemična porazdelitev elementov

Na območju Koprive so vsebnosti elementov v kamninah (tabela 1), ki so bile odvzete iz odlagališča jalovine, kjer je predvideno testno območje, podobne vsebnostim elementov v svežih vzorcih kamnin iz pridobivalnega prostora. Analize potrjujejo, da je material v podlagi, na katerem bo vzpostavljeno testno območje, jalovina iz pridobivalnega prostora. Vsebnosti elementov so si podobne tudi v obeh vzorcih na območju Lipovškega vrha. V vzorcih kamnin iz Koprive in Lipovškega vrha vsebnosti Ca znatno prevladujejo (tabela 1). Geološko podlago obravnavanih območij pretežno gradijo apnenci (Repen/Kopriva masivni apnenec v Koprivi in Litotamnijski apnenec ter apnenčevi peščenjaki in laporovci v Lipovškem vrhu). Analize vodnih izlužkov so pokazale, da se iz kamnin v vodo izlužujejo Ca, Mg, Sr, Al, Ba, V in Zn (tabela 5). Iz kamnin iz območja Koprive se izlužuje še Na, iz kamnin iz Lipovškega vrha pa K.

V vzorcih tal so na splošno na obeh obravnavanih območjih vsebnosti elementov višje od median za slovenska tla (Gosar et al., 2019), z izjemo Hg v vseh vzorcih (z izjemo vzorčnega mesta LT2G1), P v vseh vzorcih (z izjemo vzorčnega mesta LT2G1) in Mg v vzorcih iz Koprive, katerih izmerjene vsebnosti so nekoliko nižje.

Glede na zgornje meje naravne variabilnosti za Slovenijo (Gosar et al., 2019) so izmerjene vrednosti na območju Koprive višje na vzorčnem mestu KT1 in KT2 v obeh slojih za elementa Al in Li, ter za Be in Fe v KT2. Fe in K sta povišana tudi v spodnjem sloju KT1. V zgornjem sloju KT2 sta povišana Cr in Pb. V Lipovškem vrhu so vsebnosti na vzorčnem mestu LT1 višje za Li v obeh slojih in La v spodnjem sloju. Na vzorčnem mestu LT2 je povišan B in na vzorčnem mestu LT3 je povišan Sr. Na obeh obravnavanih območjih se iz tal v vodo izlužujejo Al, Ba, Ca, Fe, Hg, Mg, Mn, Na in Sr (tabela 5). V posameznih vzorcih so bili v vodnem izlužku zaznani tudi Cu (KT1G1, LT1G1, LT3G1), K (LT1G1, LT2G1, LT3G1), V (KT2G2, LT2G1) in Zn (KT2G1, KT2G2, LT1G1).

Za vsa zgoraj navedena preseganja elementov (z izjemo Pb v Koprivi in B v Lipovškem vrhu) predvidevamo, da so naravnega izvora, na kar nakazujejo naslednja dejstva. Vsi obravnavani vzorci tal na območju Koprive ter vzorec tal na vzorčnem mestu

Tabela 1. Vsebnosti elementov v kamnini.

Table 1. Element contents in rock.

Element	Enota / Unit	LOQ ¹	Kopriva		Lipovški vrh	
			KK1	KK2	LK1	LK2
Al	%	0,0001	0,02	0,03	0,22	0,23
As	mg/kg	0,50	<LOQ	0,76	1,50	1,95
B	mg/kg	1,0	<LOQ	1,9	2,6	2,4
Ba	mg/kg	0,20	1,3	1,3	6,1	5,9
Be	mg/kg	0,01	<LOQ	0,01	0,09	0,09
Ca	%	0,005	31,9	33,0	32,4	31,8
Ce	mg/kg	0,500	<LOQ	<LOQ	4,4	3,7
Co	mg/kg	0,20	<LOQ	<LOQ	0,54	0,51
Cr	mg/kg	0,50	0,76	0,64	6,69	6,68
Cr(VI)	mg/kg	0,060	<LOQ	<LOQ	0,064	0,221
Cu	mg/kg	1,0	<LOQ	3,3	3,6	2,9
Fe	%	0,0010	0,02	0,02	0,15	0,17
K	%	0,0005	0,0048	0,0047	0,0382	0,0370
La	mg/kg	0,50	<LOQ	<LOQ	3,0	2,8
Li	mg/kg	1,0	<LOQ	<LOQ	6,2	7,3
Mg	%	0,0005	1,15	1,09	0,43	0,32
Mn	mg/kg	0,50	16,6	11,2	24,6	21,8
Na	%	0,0015	0,0155	0,0216	0,0249	0,0249
Ni	mg/kg	1,0	<LOQ	<LOQ	4,8	5,6
P	mg/kg	5,0	20,5	14	366	391
Pb	mg/kg	1,0	<LOQ	<LOQ	1,8	2,0
S	mg/kg	30	101	119	232	184
Sr	mg/kg	0,10	244	276	709	663
Ti	mg/kg	0,20	3,86	4,03	24	21,9
V	mg/kg	0,10	0,94	1,06	6,79	6,61
Zn	mg/kg	3,0	<LOQ	<LOQ	5,6	5,7

¹Meja kvantifikacije / Limit of Quantification;

LT1 v Lipovškem vrhu so bili odvzeti v tleh, ki ležijo na prvotni matični podlagi. Matično podlago v Lipovškem vrhu glede na OGK List Ljubljana predstavlja Litotamnijski apnenec (tortonij) (Premru, 1983) v Koprivi pa glede na OGK List Gorica (Buser, 1968) temno siv gost skladovit apnenec v menjavi z rudistnim apnencem (tortonij). Tla, ki so bila odvzeta na vzorčnih mestih LT2 in LT3 (Lipovški vrh), so antropogena, ki ležijo na antropogenem nasutju, in sicer jalovini iz bližnjega pridobivalnega prostora. Vsebnosti elementov v antropogenih tleh LT2 so zelo podobne vsebnostim elementov v tleh iz vzorčnega mesta LT1. Vsebnosti elementov v antropogenih tleh LT3 se za večino elementov precej razlikujejo od tistih v vzorcih tal iz vzorčnih mest LT2 in LT1 (tabela 2). Geokemična porazdelitev elementov v vzorcu antropogenih tal LT2G1 nakazuje, da gre verjetno za premeščen talni material iz lokalnega okolja, v vzorcu antro-

pogenih tal LT3G1 pa, da gre za premeščen talni material, ki ni iz lokalnega okolja.

Pučko in sodelavci (2024) so na podlagi primerjave porazdelitve elementov v zgornjem in spodnjem sloju v tleh Slovenije ugotovili, da so v spodnjem sloju tal Slovenije povišane vsebnosti elementov, kot so Th, Na, Cs, Sc, Co, Rb, Al, La, Fe, Li, Mn, itd., ki so tipični gradniki mineralov v kamninah, naravnega izvora (matična podlaga). Poleg tega so za tla, ki ležijo na karbonatni matični podlagi, značilne nekoliko višje vsebnosti nekaterih elementov v sledovih, kot so na primer Mo, Ni, As, V, Hg, Sb, Bi, U, Cu, Li, Cr, Co (Gosar, 2007). Preiskave tal, ki se nahajajo na različnih apnenčastih karbonatnih podlagah (Sežanska, Lipiška in Liburnijska formacija), so pokazale, da porazdelitev elementov v tleh na splošno odraža porazdelitev elementov v matični kamnini, vendar pa ni zgolj odraz netopnega ostanka karbonatne

Tabela 2. Vsebnosti elementov v tleh skupaj z zakonodajnimi vrednostmi in vrednostmi ozadja za tla Slovenije.

Table 2. Element contents in soil together with legislation values and Slovenian soil background concentrations.

Element	Enota / Unit	LOQ ¹	Kopriva				Lipovški vrh				opozorilna & kritična ² / warning & critical ²	Md ³ Slo	GT ⁴ Slo
			KT1G1	KT1G2	KT2G1	KT2G2	LT1G1	LT1G2	LT2G1	LT3G1			
Al	%	0,0001	<u>3,7</u>	<u>4,2</u>	<u>5,1</u>	<u>5,1</u>	3	3,3	3,4	0,5	-	1,8	3,5
As	mg/kg	0,5	18,1	23,6	23,6	25,6	13,8	14,5	17,8	8,8	30 / 55	11	34
B	mg/kg	1	6,2	5,3	5,4	5	7,3	6,5	<u>10,3</u>	4,4	-	2	9,5
Ba	mg/kg	0,2	127	143	132	130	111	114	112	16,2	-	75	200
Be	mg/kg	0,01	2	2,3	<u>2,5</u>	<u>2,7</u>	1,6	1,6	1,6	0,2	-	0,9	2,4
Ca	%	0,005	0,76	0,65	0,51	0,64	0,73	0,71	1,29	<u>20</u>	-	0,4	14
Cd	mg/kg	0,4	0,74	0,73	0,76	0,76	1,4	1,2	1,98	0,47	2 / 12	0,5	4
Ce	mg/kg	0,5	58,9	66,1	54,3	59	64,4	71,4	56,2	8,9	-	38	80
Co	mg/kg	0,2	22,3	24,1	21	21,4	18,4	17,3	15,3	4,09	50 / 240	14	38
Cr	mg/kg	0,5	71,3	79,6	<u>98,7</u>	96,5	56,4	61,5	59,6	10,5	150 / 380	34	89
Cr(VI)	mg/kg	0,06	<LOQ	0,206	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,224	<LOQ	- / 25	-	-
Cu	mg/kg	1	42,4	51,3	40,1	39,8	24,3	23,1	33	11,6	100 / 300	20	68
Fe	%	0,001	4,4	<u>4,9</u>	<u>5,5</u>	<u>5,9</u>	3,7	3,9	3,9	1,2	-	2,9	4,5
Hg	mg/kg	0,2	0,09	0,07	0,08	0,08	0,05	0,05	0,14	0,09	2 / 10	0,10	0,66
K	%	0,005	0,3	<u>0,33</u>	0,3	0,3	0,27	0,28	0,33	0,11	-	0,1	0,32
La	mg/kg	0,5	30,7	35	30	32,4	36,7	<u>40,7</u>	32,2	5,2	-	17	39
Li	mg/kg	1	<u>54,4</u>	<u>61,1</u>	<u>65</u>	<u>66,7</u>	<u>57,1</u>	<u>61,6</u>	<u>64</u>	15,2	-	19	43
Mg	%	0,0005	0,4	0,41	0,43	0,42	0,53	0,55	0,62	0,68	-	0,5	6,5
Mn	mg/kg	0,5	1740	1840	1480	1400	1090	938	842	139	-	790	2700
Mo	mg/kg	0,4	1,63	1,69	1,99	2,04	1,28	1,07	1,52	0,5	40 / 200	0,7	6,8
Na	%	0,0015	0,01	0,01	0,01	0,02	0,09	0,01	0,01	0,02	-	0	0,02
Nb	mg/kg	0,5	1,02	0,88	1,36	1,36	1,06	0,8	1,04	<LOQ	-	0,6	2,3
Ni	mg/kg	1	58,1	64,2	75,8	77,1	49,6	46,9	66	17,8	70 / 210	29	94
P	mg/kg	5	793	683	646	629	854	675	1160	673	-	1000	1800
Pb	mg/kg	1	40,1	40,5	122	38,4	33,2	30,4	34,9	6,6	100 / 530	34	110
S	mg/kg	30	612	566	718	586	604	345	947	586	-	300	1700
Sn	mg/kg	1	2,5	2,7	2,4	2,5	1,3	1,3	1,8	<LOQ	-	1,1	3
Sr	mg/kg	0,1	19,8	21,7	19,1	20,8	35,8	37,3	52,7	<u>498</u>	-	14	180
Ti	%	0,0002	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,003	-	0,006	0,07
V	mg/kg	0,1	90,8	99,5	118	123	69,3	69,8	77,6	14,7	-	40	150
Zn	mg/kg	3	87,3	89,9	95,1	82,7	83,2	81,8	111	28	300 / 720	72	170

¹Meja kvantifikacije / Limit of Quantification; ²Zakonodajna vrednost za tla / soil legislation value (Ur. L. RS. št. 68/96, 41/04 – ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2); ³Mediana za tla Slovenije / Median for Slovenian soil (Gosar et al., 2019); ⁴Zgornja meja naravne variabilnosti za Slovenijo (P97,5, percentil) / Geochemical threshold (97,5th percentile) (Gosar et al., 2019); **s krepkim slogom** pisave so predstavljene vrednosti, ki presegajo zakonodajne vsebnosti / **in bold** values, which exceed legislation values are shown; s podčrtanim slogom pisave so predstavljene vrednosti, ki presegajo zgornje meje naravne variabilnosti / in underlined values, which exceed geochemical thresholds, are shown.

podlage, temveč tudi materiala, ki se pojavlja med karbonatnimi plastmi, ravno tako je verjeten tudi eolski doprinos (Zupančič et al., 2018). Pri tem velja dejstvo, da primerjava netopnega ostanka matične kamnine s tlemi vključuje domnevo, da so tla v osnovi nastala z raztapljanjem stratigrafsko višjih plasti kamnin, ki so enake vzorčeni matični podlagi, kar pa lahko drži ali ne drži; v slednjem primeru bi tudi to lahko vplivalo na razlike

v geokemični porazdelitvi (Šušteršič et al., 2009). Preiskave pedoloških parametrov in porazdelitve elementov ter mineralne sestave v talnih horizontih (A, E in Bt), ki so se razvili na karbonatnih podlagah, so pokazale, da na razporeditev elementov v talnem profilu pomembno vplivajo pedološki procesi (eluvialno-iluvialno procesi) (Turniški et al., 2023). Z uporabo statističnih metod je bil preučen tudi morebiten vpliv klimatskih faktorjev

Tabela 3. Vsebnosti elementov v potočnih sedimentih in obogatitveno razmerje (ER).

Table 3. Element contents in stream sediments and enrichment ratio (ER).

Element	Enota /Unit	LOQ ¹	Suhi potok			Kolovratščica		
			LS1	LS2	ER ²	LS3	LS4	ER
Al	%	0,0001	0,148	0,176	1,2	0,336	0,105	0,3
As	mg/kg	0,50	0,94	1,3	1,4	1,93	0,98	0,5
B	mg/kg	1,0	2,2	3,4	1,5	4,8	2,1	0,4
Ba	mg/kg	0,20	4,24	7,88	1,9	7,54	3,96	0,5
Be	mg/kg	0,010	0,116	0,141	1,2	0,193	0,073	0,4
Ca	%	50	0,812	4,46	5,5	8,97	12,8	1,4
Ce	mg/kg	0,500	7,11	8,59	1,2	10,6	4,38	0,4
Co	mg/kg	0,20	1,17	3,67	3,1	2,71	0,64	0,2
Cr	mg/kg	0,50	2,82	4,14	1,5	6,08	2,27	0,4
Cr(VI)	mg/kg	0,060	0,06	<LOQ	0,5	0,126	<LOQ	0,2
Cu	mg/kg	1,0	<LOQ	1,1	2,2	2,9	0,5	0,2
Fe	%	10	0,286	0,364	1,3	0,722	0,146	0,2
Hg	mg/kg	0,20	<LOQ	<LOQ	-	<LOQ	0,01	2,0
K	%	5,0	0,042	0,058	1,4	0,09	0,035	0,4
La	mg/kg	0,50	4,13	5,13	1,2	5,69	2,86	0,5
Li	mg/kg	1,0	1,2	2,3	1,9	6,8	2,5	0,4
Mg	%	5,0	0,058	0,392	6,8	3,65	6,38	1,7
Mn	mg/kg	0,50	53,1	199	3,7	134	48,1	0,4
Mo	mg/kg	0,40	<LOQ	<LOQ	-	0,57	<LOQ	0,4
Na	%	15	<LOQ	66	8,8	113	139	1,2
Ni	mg/kg	1,0	3	4,4	1,5	6	2	0,3
P	mg/kg	5,0	89	132	1,5	205	107	0,5
Pb	mg/kg	1,0	1,8	3,4	1,9	4	1,4	0,4
S	mg/kg	30	<LOQ	73	4,9	240	145	0,6
Sr	mg/kg	0,10	9,45	92,1	9,7	85,5	86,6	1,0
Ti	%	0,20	29	79,4	2,7	73,1	27,4	0,4
V	mg/kg	0,10	3,26	4,35	1,3	6,73	3,03	0,5
Zn	mg/kg	3,0	5,7	5,8	1,0	8,1	3,8	0,5

¹Meja kvantifikacije / Limit of Quantification; ²Obogatitveno razmerje ER = enrichment ratio; s **krepkim slogom** pisave so predstavljene vrednosti ER ≥ 3; **in bold** values of ER ≥ 3 are shown.

na porazdelitve kovin (Co, Cr, Cu, Ni, Pb in Zn) v zgornjem sloju tal (0–15 cm), ki se nahajajo na enaki karbonatni matični podlagi (zgornji triasni dolomit) na različnih koncih Slovenije (Zupančič, 2017). Avtorica ugotavlja, da so vsebnosti Co, Cr in Ni visoke (mestoma presegajo tudi mejne ali celo kritične zakonodajne vrednosti) zaradi naravnih danosti (preperevanja matične podlage), pri čemer obstaja verjetnost, da na njihovo porazdelitev vplivajo tudi pospešeno izluževanje tal zaradi padavin in vetrni transport iz bližnjih flišnih kamnin. Za vsebnosti Pb, Zn in Cd povezave s klimatskimi pogoji niso bile ugotovljene, so pa bile vsebnosti Pb in Zn na nekaterih lokacijah povišane, katerim je

bil pripisan naravni izvor (bioakumulacija) zaradi odsotnosti očitnih virov onesnaževanja na obravnavanih lokacijah.

Na podlagi zgornje razprave lahko za visoke vsebnosti Pb v tleh iz območja Koprive predvidevamo, da so naravnega ali antropogenega izvora. V neposredni bližini obravnavanega območja ni aktivnih antropogenih dejavnosti. Približno 70 m SSV se nahaja odkopna površina, kjer poteka izkoriščanje naravnega kamna-apnenca. Glede na to, da se vrednost Pb z globino zniža za 3×, bi bilo možno, da so višje vrednosti posledica zračnih emisij ali bioakumulacije. Izvor B na vzorčnem mestu LT2 na območju Lipovškega vrha ni znan.

Tabela 4. Rezultati parametrov v površinskih vodah.

Table 4. Results of parameters in surface water.

Parameter	Enota / Unit	LOQ ¹	LV1	LV2	ER ²	LV3	LV4	ER ²	NDK-OSK ³
Osnovni kemijski parametri / Basic chemical parameters									
Ca	mg/L	0,05	99,2	125	-	75,7	83,9	-	-
Mg	mg/L	0,0005	2,48	20,6	-	20,4	14,8	-	-
Na	mg/L	0,03	3,39	22,4	-	4,13	6,64	-	-
K	mg/L	0,05	0,526	7,6	-	1,56	1,88	-	-
Cl	mg/L	0,5	9,21	11,3	-	4,24	6,25	-	-
F	mg/L	0,02	0,062	0,182	-	0,066	0,106	-	6,8
Nitrati	mg/L	0,04	0,757	4,95	-	2,69	6,33	-	6,59,5
Sulfat	mg/L	0,5	11,2	170	-	15,5	29,4	-	-
Hidrogenkarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/L	0	311	341	-	314	275	-	-
Karbonati (CO ₃ ²⁻)	mg/L	0	0	0	-	4,42	0	-	-
Prosti ogljikov dioksid kot CO ₂	mg/L	0	4,88	0	-	0	0	-	-
Skupni ogljikov dioksid kot CO ₂	mg/L	0	229	246	-	230	199	-	-
Agresiven CO ₂	mg/L	0	0	0	-	0	0	-	-
Ortofosfat	mg/L	0,04	0,063	0,089	-	0,123	0,07	-	-
Skupni ogljik	mg/L	0,5	66,5	69,7	-	65,5	56,5	-	-
Nitriti	mg/L	0,04	<LOQ	<LOQ	-	<LOQ	0,041	-	-
Mikroelementi v raztopljeni obliki / Microelements in dissolved form									
Ba	µg/L	0,5	7,63	22,1	2,9	8,84	9,24	1,0	-
B	µg/L	10	<LOQ	24	4,8	<LOQ	<LOQ	1,0	1830
Fe	µg/L	2	11,5	<LOQ	0,1	3,9	<LOQ	0,5	-
Li	µg/L	1	<LOQ	1,2	2,4	<LOQ	<LOQ	1,0	-
Mn	µg/L	0,5	<LOQ	0,6	2,4	3,18	0,79	0,2	-
Mo	µg/L	2	<LOQ	1,9	1,9	<LOQ	<LOQ	1,0	200
Se	µg/L	10	<LOQ	1,4	0,3	<LOQ	<LOQ	1,0	72
Sr	µg/L	1	85,6	641	7,5	104	257	2,5	-
S	mg/L	30	2,75	57,7	21,0	4,69	10,5	2,2	-
U	µg/L	0,1	0,77	2,6	3,4	0,6	0,87	1,5	-
Zn	µg/L	3	<LOQ	4,6	3,1	3,6	16,8	4,7	82,2
Elementi v obliki trdnih delcev / Elements in particulate form									
Al	µg/L	10	54	<LOQ	0,1	76	59	0,8	-
Ba	µg/L	0,5	7,92	35,3	4,5	10,2	20,7	2,0	-
B	µg/L	10	<LOQ	22	4,4	<LOQ	<LOQ	1,0	1830
Fe	µg/L	5	8,8	15,1	1,7	49,5	23,4	0,5	-
Mn	µg/L	0,5	0,65	1,13	1,7	6,33	1,53	0,2	-
S	mg/L	0,1	2,61	47,3	18,1	4,32	8,36	1,9	-
Ti	µg/L	1	1	<LOQ	0,5	1,2	1,1	0,9	-
Zn	µg/L	3	<3	7,5	5,0	<LOQ	<LOQ	1,0	82,2

¹Meja kvantifikacije / Limit of Quantification; ²Obogatitveno razmerje / Enrichment ratio; ³Največja dovoljena koncentracija okoljskega standarda kakovosti za kemijsko in ekološko stanje površinske vode / the maximum permissible concentration of the environmental quality standard for the chemical and ecological state of surface water.

Tabela 5. Rezultati vsebnosti elementov v izlužku.
Table 5. Results of element contents in leachates.

Kamnina / Rock			Tla / Soil								Potočni sediment / Stream sediment						
Parameter	Unit / Enota	KK1	KK2	LK1	LK2	KT1G1	KT1G2	KT2G1	KT2G2	LT1G1	LT1G2	LT2G1	LT3G1	LS1	LS2	LS3	LS4
Al	mg/kg	2,92	3,36	1,88	2,2	1,81	2,26	0,588	0,718	3,24	0,259	5,4	<LOQ	5,94	6,06	3,37	2,39
B	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,14	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Ba	mg/kg	0,13	0,17	0,13	0,16	0,186	0,194	0,152	0,637	0,278	0,0845	0,234	0,22	0,13	0,08	0,18	1,02
Ca	mg/kg	54,6	58,2	90,9	89,8	166	102	114	151	396	252	483	424	94,8	111	135	124
Cu	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,132	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,202	<LOQ	<LOQ	0,133	0,02	<LOQ	0,05	<LOQ
Fe	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,92	1,15	0,267	0,352	1,93	<LOQ	2,79	<LOQ	2	0,65	3,01	1,4
Hg	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,16	0,16	0,19	0,22	0,12	<LOQ	0,12	0,12	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ
K	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	10	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	22,4	<LOQ	11,6	56,4	3,99	13,3	9,31	7,65
Mg	mg/kg	10,3	8,84	11,0	7,18	12	2,98	6,91	5,62	25,9	5,76	20,7	49,2	3,71	11,8	29,6	25,2
Mn	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,0616	0,0277	0,0394	0,0428	0,0282	<LOQ	0,0309	0,0141	0,09	0,03	0,06	0,08
Na	mg/kg	6,72	10,5	<LOQ	<LOQ	5,66	4,17	10,6	7,32	5,3	<LOQ	4,94	5,66	7,17	22	6,15	17,5
P	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,8	<LOQ	<LOQ	<LOQ
Sr	mg/kg	0,61	0,72	1,04	1	0,224	0,142	0,151	0,222	0,994	0,572	1,25	1,73	0,17	0,44	0,22	0,32
S	mg/kg	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	19,6	<LOQ	<LOQ
V	mg/kg	0,01	0,02	0,02	0,02	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,016	<LOQ	<LOQ	0,03	<LOQ	0,02	0,02	0,02	0,03
Zn	mg/kg	0,44	0,47	0,54	0,46	<LOQ	<LOQ	0,388	2,43	0,414	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,02	<LOQ	0,06	0,63

¹Meja kvantifikacije / Limit of quantification

Vzorčno mesto se nahaja na kmetijski površini (pašnik, v bližini so njive). Na obravnavanem območju Lipovškega vrha so v ožji okolici možni antropogeni viri kmetijstvo, promet in izkoriščanje mineralnih surovin (apnenec za industrijske namene in tehnični kamen, ki ima veljavno koncesijo od leta 2000 (ZRP, 2024)). Dejstvo pa je, da so tla na vzorčnem mestu LT2 antropogena, od kod so bila tla pripeljana pa ni znano.

Ob upoštevanju zakonodajnih smernic za tla (Ur. l. RS št. 68/96, 41/04-ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2), so vsebnosti za As, Cd, Cr, Cr(VI), Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb in Zn pod opozorilnimi oz. kritičnimi vrednostmi (tabela 2), z izjemo Pb (122 mg/kg) v zgornjem sloju vzorčnega mesta KT2, ki presega opozorilno vrednost za tla (100 mg/kg), in Ni v zgornjem (75,8 mg/kg) ter spodnjem sloju (77,1 mg/kg) tal vzorčnega mesta KT2, ki na obeh globinah presega opozorilno vrednost (70 mg/kg). Na podlagi zgornje meje naravne variabilnosti za Ni (94 mg/kg) (Gosar et al., 2019) in dejstva, da se v tleh nastalih na karbonatni podlagi lahko pojavljajo višje vsebnosti Ni (Gosar, 2007; Zupančič, 2017; Zupančič et al., 2018; Pučko et al., 2024; Turniški et al., 2024) smatramo, da so višje vsebnosti Ni naravnega izvora. Za višje vsebnosti Pb smatramo, da so lahko antropogenega (emisije iz zraka) ali naravnega izvora (bioakumulacija). Glede na rezultate v izlužkih sta tako Ni kot Pb slabo vodotopna (slabo mobilna) v obeh slojih, izmerjeni vrednosti sta bili < LOQ oz. < 0,02 mg/kg za Ni in < 0,05 mg/kg za Pb.

Vsebnosti elementov v gorvodnih in dolvodnih potočnih sedimentih ter površinskih vodah iz območja Lipovškega vrha so podane v tabelah 3 in 4.

V Suhem potoku so v dolvodnem sedimentu višje vsebnosti Sr (9,7×), Na (8,8×), Mg (6,8×), Ca (5,5×), S (4,9×), Mn (3,7×) in Co (3,1×). Ostali elementi so bili višji za manj kot trikrat, kar smatramo za zanemarljivo. Višje vsebnosti (>3×) elementov kažejo na povečan doprinos karbonatnega

materiala vzdolž Suhega potoka na vzhodni strani pridobivalnega prostora. Glede na to, da se geološka sestava v zaledju in vzdolž potoka bistveno ne spremeni, višje vsebnosti pripisujemo antropogenim vplivom (izpiranje materiala iz pridobivalnega prostora in cest). V površinski vodi Suhega potoka so bili na dolvodni lokaciji (LV2) v raztopljeni obliki višji naslednji elementi: S (21×), Sr (7,5×), B (4,8×), U (3,4×) in Zn (3,1×). V obliki trdnih delcev so bili povišani S (18,1×), Ba (4,5×) in B (4,4×). Elementa B (vzorčno mesto LT2) in Sr (vzorčno mesto LT3) sta višja tudi v tleh drenažnega zaledja Suhega potoka. Elementa Sr in S sta višja tudi v dolvodnem sedimentu Suhega potoka.

V potoku Kolovratščica je v sedimentu večina vsebnosti elementov na dolvodni lokaciji (LS4) nižja. V površinski vodi Kolovratščice (LV3, LV4) je bil na dolvodni lokaciji (LV4) višji samo Zn (4,7×) v raztopljeni obliki.

Vrednosti raztopljenih elementov v površinski vodi so v obeh obravnavanih vodotokih pod mejnimi vrednostmi za ekološko stanje površinskih voda (Ur. l. RS, št. 14/09, 98/10, 96/13, 24/16 in 44/22 – ZVO-2).

Analiza vodnih izlužkov je pokazala, da se v obeh vodotokih iz gorvodnega in dolvodnega sedimenta v vodo izlužujejo Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Sr, V in Zn. Iz gorvodnih sedimentov se izlužuje še Cu v obeh vodotokih in B ter P v Suhem potoku (LS1). V dolvodnem sedimentu Suhega potoka se izlužuje S.

Rezultati osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov površinske vode (tabela 6) so pokazali, da je bila temperatura površinske vode v času vzorčenja na obeh vodotokih med 10,8 in 12,5 °C. Voda je imela pH vrednost med 7,6 in 8,5. Izmerjene vrednosti so v okviru sprejemljivih vrednosti za vode naravnega okolja. Prav tako so pri izmerjeni temperaturi vode razmere s kisikom oksidativne. Izmerjene vsebnosti raztopljenega kisika so bile med 9,69 (LV1) in 10,53 (LV2) mg/L O₂.

Tabela 6. Rezultati terenskih meritev v površinski vodi.
Table 6. Results of field measurements in surface water.

Parameter	Enota / Unit	LV1	LV2	LV3	LV4
Temperatura vode	°C	10,8	11,9	12,5	10,8
Električna prevodnost	mS/m	50,7	83,0	49,9	49,0
pH vrednost	-	7,58	8,06	8,48	7,85
Oksidacijsko-redukcijski potencial	mV	-46	-38	-55	-37
Raztopljen kisik	mg/L	9,69	10,53	9,93	10,14
Nasičenost s kisikom	%	91,3	101,1	96,6	95
Motnost	NTU	0,2	0,38	1,5	1,07

Električna prevodnost, kot merilo raztopljenih ionsko aktivnih snovi, je bila na obeh vzorčnih mestih na vodotoku Kolovratščica ter na gorvodnem vzorčnem mestu L1 na občasnem vodotoku na vzhodni strani kamnoloma podobna in je znašala okoli 50,0 mS/cm. Izjema je dolvodno vzorčno mesto LV2 na občasnem vodotoku na vzhodni strani, kjer je bila izmerjena električna prevodnost nekoliko višja, 83,0 mS/cm. Povišana vrednost električne prevodnosti na vzorčnem mestu LV2 je posledica višjih koncentracij karbonatnih komponent (Ca , Mg , HCO_3^-) ter Na , K in SO_4 v površinski vodi. Razlog za višje vrednosti ionov je lahko geogen (karbonatno zaledje), možni so tudi površinski dotoki iz dovoznih površin (ceste), njiv in travnikov v zaledju.

Zaključek

Na območju Koprive porazdelitev elementov v vzorcih kamnin kaže, da podlago, kjer bo vzpostavljeno testno območje, sestavlja jalovina iz pridobivalnega prostora. V vzorcih kamnin iz obeh območij prevladuje vsebnost Ca . Vsebnosti večine elementov v tleh so na obeh območjih višje od mediane za slovenska tla. Glede na primerjavo z zgornjimi mejami naravne variabilnosti, so v tleh na območju Koprive povišani Al , Be , Fe , Li in K , na območju Lipovškega vrha pa Li , La , Sr in B . Slednje je posledica naravnih danosti (razvoj tal na karbonatni matični podlagi). Glede na zakonodajne smernice (opozorilne vrednosti) so bile na območju Koprive v travniških tleh zaznane povišane vsebnosti Pb v zgornjem sloju, ter Ni v zgornjem in spodnjem sloju. Za povišane vsebnosti Pb smatramo, da so lahko antropogenega ali naravnega izvora. Višje vsebnosti Ni pripisujemo naravnemu izvoru. V potoku Kolovratščica je bila porazdelitev elementov v sedimentih in površinski vodi na dolvodni in gorvodni lokaciji podobna. V Suhem potoku smo v dolvodnem sedimentu ugotovili višje vsebnosti za elemente (Mg , Na , Sr , Ca , Mn in S), kar kaže na povečan antropogen doprinos karbonatnega materiala vzdolž potoka (izpiranje karbonatnega materiala iz bližnjega kamnoloma in cest). V površinski vodi Suhega potoka smo ugotovili višje vsebnosti elementov S , Sr , B , U in Zn , ki pa niso presegle zakonodajnih smernic.

Zahvala

Raziskave smo izvedli s finančno podporo evropskega projekta LIFE20 IPE/SI/000021 - LIFE IP RESTART "Boosting waste recycling into valuable products by setting the environment for a circular economy in Slovenia" in Javne agencije za znanstvenoraziskovalno

in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) preko raziskovalnega programa »Podzemne vode in geokemija (P1-0020)«.

Literatura

- Artiola, H.F. & Brusseau, M.L. 2006: Environmental & pollution science. In: Pepper, I.D., Gerba, C.P. & Brusseau, M.L. (eds.): The Role of Environmental Monitoring in Pollution Science, second edition Chapter 12: 170–182.
- 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, 154: 213–223. <https://doi.org/10.1016/j.jexp-2014.10.011>
- Bavec, Š. & Gosar, M. 2016: Speciation, mobility and bioaccessibility of Hg in the polluted urban soil of Idrija (Slovenia), Geoderma, 273: 115–130. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.015>.
- Cerar, S. & Bavec, Š. 2019: Analiza vpliva vgrajenega sanacijskega materiala na rekultivacijo opuščene peskokopa. Acta agriculturae Slovenica, 114/2: 293–311. <http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-MY5QDWC2>
- Darnley, A.G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, J.A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xuejing, Xie., Garrett, R.G. & Hall, G.E.M. 1995: A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. Recommendations for International Geochemical Mapping – Final Report of IGCP Project 259. Earth Science Report 19. UNESCO Publishing, Paris: 122 p. https://www.globalgeochemicalbaselines.eu/datafiles/file/Blue_Book_GGD_IGCP259.pdf
- Đurić, M., Zalar Serjun, V. Mladenović, A., Mauko Pranjic, A., Milačić, R., Ščančar, J., Urbanc, J., Mali, N., Pavlin, A., Turk, J. & Oprčkal, P. 2023: Environmental Acceptability of Geotechnical Composites from Recycled Materials: Comparative Study of Laboratory and Field Investigations. Int. J. Environ. Res. Public Health, 20/3: 2014. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032014>
- EN 12457-4:2002: Characterisation of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction).
- Gałuszka A. & Migaszewski, Z. 2011: Geochemical background - an environmental perspective.

- Mineralogia, 42/1: 7–17. <https://doi.org/10.2478/v10002-011-0002-y>
- Gassama, N., Curie, F., Vanhooydonck, P., Bourrain, X. & Widory, D. 2021: Determining the Regional Geochemical Background for Dissolved Trace Metals and Metalloids in Stream Waters: Protocol, Results and Limitations—The Upper Loire River Basin (France). *Water*, 13/13: 1845. <https://doi.org/10.3390/w13131845>
- Gosar, M. 2007: Porazdelitev slednih prvin v treh kraških talnih profilih v Sloveniji = Trace element distribution in three karst soil profiles from Slovenia. *Geologija* 50/1: 147–156. <https://doi.org/10.5474/geologija.2007.012>
- Gosar, M., Šajn, R., Bavec, Š., Gaberšek, M., Pezdir, V. & Miler, M. 2019: Geochemical background and threshold for 47 chemical elements in Slovenian topsoil. *Geologija*, 62/1: 7–59. <https://doi.org/10.5474/geologija.2019.001>
- Gosar, M., Šajn, R., Miler, M., Burger, A. & Bavec, Š. 2020: Overview of existing information on important closed (or in closing phase) and abandoned mining waste sites and related mines in Slovenia. *Geologija*, 63/2: 221–250. <https://doi.org/10.5474/geologija.2020.018>
- Hawkes, 1957: Principles of geochemical prospecting. *Bulletin 1000-F*: 225–355. <https://doi.org/10.3133/b1000F>
- Jurkovšek, B. 2013: Geološka karta Krasa = Geological map of Kras (Slovenia). Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
- Koščová, M., Hellmer M., Anyona, S. & Gvozdkova, T. 2018: Geo-Environmental Problems of Open Pit Mining: Classification and Solutions. *E3S Web of Conferences*, 41: 01034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101034>
- Križnar, M. & Mikuž, V. 2014: Kamnolom Lipovica in njegove paleontološke zanimivosti. *Scopolia*, 82: 1–120. <http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:doc-A2JZF7YE>
- Kumar Das, A. & Purkait, A. 2020: Boron dynamics in soil: classification, sources, factors, fractions, and kinetics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51/22: 2778–2790. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1849261>
- Mali, N., Urbanc, J., Serianz, L., Lapanje, A., Pepelnik, T., Meglič, P., Levičnik, L., Pestotnik, S., Peternel Rikanovič, R., Koren, K., Novak, M., Milanič, B., Mencin Gale, E., Jež, J., Pucihar, B. & Šolar, J.T. 2023: Hidrogeološka karta Slovenije 1: 25.000. Območje Brestovica: tolmač. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 120 p.
- Miler, M. & Gosar, M. 2019: Assessment of contribution of metal pollution sources to attic and household dust in Pb-polluted area. *Indoor Air*, 29/3: 487–498. <https://doi.org/10.1111/ina.12548>
- Miler, M., Bavec, Š. & Gosar, M. 2022. The environmental impact of historical Pb-Zn mining waste deposits in Slovenia. *Journal of Environmental Management*, 308: 114580. <https://doi.org/10.1016/j.jenv-man.2022.114580>
- MKG, 2022: Grafični podatki RABA za celo Slovenijo (Enotna državna evidenca o dejanski rabi zemljišč). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano; Služba za register kmetijskih gospodarstev, Ljubljana. <https://rkg.gov.si/vstop/>
- Pogačnik, Ž. 2022: Opis geoloških razmer v okolici površinskega kopa Lipovski vrh. Dopis GeoRudEko d.o.o. št. 778-1140/2022-GRE: 10 p.
- Premru, U. 1980: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Ljubljana. Zvezni geološki zavod Beograd: 75 p.
- Pučko, E., Žibret, G. & Teran, K. 2024: Comparison of elemental composition of surface and subsurface soils on national level and identification of potential natural and anthropogenic processes influencing its composition, *Journal of Geochemical Exploration*, 258: 107422. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107422>
- Reimann, C., Fabian, K., Birke, M., Filzmoser, P., Demetriades, A., Négrel, P., Oorts, K., Matschullat, J., de Caritat, P., Albanese, S., Anderson, M., Baritz, R., Batista, M.J., Bel-Ian, A., Cicchella, D., De Vivo, B., De Vos, W., Dinelli, E., Đuriš, M., Dusza-Dobek, A., Eggen, O.A., Eklund, M., Ersten, V., Flight, D.M.A., Forrester, S. et al. 2018: GEMAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil, *Applied Geochemistry*, 88/B: 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.01.021>
- Salminen R. (Chief Editor), 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: FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps. *Geological Survey of Finland, Espoo*: 526 p. <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/>

- Senegačnik, A., Burger, A. & Karničnik, B. 2023: Stanje na področju mineralnih surovin v Sloveniji v letu 2022. Mineralne surovine v letu 2022, 19/1: 12–22. https://www.geo-zs.si/PDF/PeriodicnePublikacije/Bilten_2022.pdf
- SIST ISO 5667-10:1996: Water quality - Sampling - Part 10: Guidance on sampling of waste waters.
- SIST EN ISO 5667-6:2015: Water quality - Sampling - Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams.
- SIST ISO 18400-205:2019: Soil quality - Sampling - Part 205: Guidance on the procedure for investigation of natural, near-natural and cultivated sites.
- SIST ISO 18400-104:2019: Soil quality - Sampling - Part 104: Strategies.
- Šajn, R. & Gosar, M. 2004: An overview of some localities in Slovenia that became polluted due to past mining and metallurgic activities. *Geologija*, 47/2: 249–258. <https://doi.org/10.5474/geologija.2004.020>
- Šušteršič, F., Rejšek, K., Mišič, M. & Eichler, F. 2009: The role of loamy sediment (terra rossa) in the context of steady karst surface lowering. *Geomorphology* 106: 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.024>
- TIS/ICPVO, 1999–2010. Pedološka karta 1:25 000. Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. 1961: Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72/2: 175–192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTAIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTAIS]2.0.CO;2)
- Turk, J., Urbanc, J., Mladenovič, A., Pavlin, A., Oprčkal, P., Fifer Bizjak, K., Likar B., Brodnik M. & Mali, N. 2020: Izgradnja lizimetrov za preučevanje izpiranja potencialno nevarnih snovi iz gradbenih proizvodov. *Geologija*, 63/2: 271–280. <https://doi.org/10.5474/geologija.2020.020>
- Turniški, R., Zupančič, N. & Grčman, H. 2023: Geochemical evidence of illuvial processes in clay-rich soils on limestones in a humid temperate climate. *Geoderma* 429: 116266. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116266>
- Uradni list RS, št. 68/96, 41/04-ZVO-1 in 44/22 – ZVO-2. Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED114>
- Uradni list RS, št. 14/09, 98/10, 96/13, 24/16 in 44/22 – ZVO-2. Uredba o stanju površinskih voda. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED5010>
- Uradni list SRS, št. 5/88 in Uradni list RS, št. 3/22 – ZDeb. Zakon o zagotavljanju dela sredstev, potrebnih za postopno zapiranje Rudnika svinca in cinka v Mežici (ZZDSP) <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO1741>
- Uradni list RS, št. 26/05 – uradno prečiščeno besedilo, 43/10, 49/10 – popr., 40/12 – ZUJF, 25/14, 46/14, 82/15, 84/18 in 204/21. Zakon o postopnem zapiranju Rudnika Trbovlje–Hrastnik in razvojnem prestrukturiranju regije (ZPZRTH). <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO2053>
- Uradni list RS, št. 26/05 – uradno prečiščeno besedilo. Zakon o preprečevanju posledic rudarjenja v rudniku živega srebra Idrija (ZPPPR). <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO157>
- Uradni list RS, št. 22/06 – uradno prečiščeno besedilo. Zakon o trajnem prenehanju izkoriščanja uranove rude in preprečevanju posledic rudarjenja v Rudniku urana Žirovski Vrh. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO227>
- Uradni list RS, št. 14/14 – uradno prečiščeno besedilo, 61/17 – GZ, 54/22 in 78/23 – ZUNPEOVE in 81/24: Zakon o rudarstvu (ZRud-1). <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO5706ZRP>
- ZRP (Zbirka rudarskih podatkov), 2024: Zbirka podatkov s področja rudarstva. Ministrstvo za naravne vire in prostor. Izdelal geološki zavod Slovenije. <https://ms.geo-zs.si/>
- Zupančič, N. 2017: Influence of climate factors on soil heavy metal content in Slovenia. *Journal of soils and sediments*, 17: 1073–1083. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1614-z>
- Zupančič, N., Turniški, R., Miler, M. & Grčman, H. 2018. Geochemical fingerprint of insoluble material in soil on different limestone formations. *Catena* 170: 10–24. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.040>
- Electronic sources:
Internet 1: [https://life-restart.si/\(26.11.2024\)](https://life-restart.si/(26.11.2024))