

Analiza vpliva vgrajenega sanacijskega materiala na rekultivacijo opuščene peskokopa

Sonja CERAR^{1,2}, Špela BAVEC¹

Received November 4, 2019; accepted December 7, 2019.
Delo je prispelo 04. novembra 2019, sprejeto 07. decembra 2019.

Analiza vpliva vgrajenega sanacijskega materiala na rekultivacijo opuščene peskokopa

Izvleček: V okviru sanacije opuščene peskokopa Drtija (Moravče) se kot sanacijski material uporabljajo gradbeni kompoziti, ki se proizvajajo z mešanjem nenevarnih in inertnih odpadkov ter naravnega avtohtonega materiala (kremenov pesek, glina). V prispevku smo ugotavljali kemično sestavo že vgrajenih sanacijskih materialov ter vpliv le-teh na rekultivacijo površinskih vrhnjih plasti. V ta namen smo z bagrskimi izkopi vzorčili sanacijski material na 3 lokacijah do globine 3 m, okoliška površinska tla (0-10 cm) na dveh lokacijah ter izcedno vodo na 1 lokaciji. Rezultati kažejo, da so vgrajeni sanacijski materiali obremenjeni s kovinami (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), ki pa so v danih razmerah slabo topne. Slednje nakazujejo tudi koncentracije kovin v izcedni vodi, ki se pojavljajo znotraj območja spodnje meje določanja (LOQ). Od organskih snovi so v izcedni vodi prisotne povečane vsebnosti fenola in formaldehida, ki pa v sanacijskem materialu nista zaznavna, z izjemo fenola v dveh vzorcih. Vgrajeni sanacijski materiali bodo v sklopu končne sanacije prekriti s plastjo gline in humusa ter zatravljeni ali pogozdeni, zato ugotavljamo, da vpliv sanacijskih materialov na rekultivacijo vrhnje plasti ni pričakovano. Glede na rezultate je najbolj smiselna rekultivacija vrhnje plasti s pogozditvijo.

Ključne besede: peskokop kremenovega peska; rekultivacija; sanacija; sanacijski material; Moravče

Impact analysis of inbuilt rehabilitation material on the recultivation of abandoned sandpit

Abstract: For the rehabilitation and reclamation of abandoned sandpit in Drtija (Moravče), construction composites are used as rehabilitation materials. Construction composites are produced by mixing of recycled non-hazardous waste and natural materials. In the presented study, the chemical composition of the rehabilitation materials, which are already built-in on abandoned surfaces and impact analysis on recultivation of the upper layer, was evaluated. For this purpose, the rehabilitation materials were sampled at 3 locations with test pit excavations up to a depth of 3 m, surrounding topsoils (0-10 cm) at 2 locations and leachate at 1 location. The results show that the in-built rehabilitation materials are burdened with metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), which are, however, poorly soluble under the given conditions. The latter is also indicated by the concentrations of metals in the leachate, which are within the lower limit of quantification (LOQ) area. Regarding organic substances, the presence of phenol and formaldehyde was found in the leachate. In rehabilitation materials only phenol was found in two samples. Considering that the rehabilitation materials will be covered with a layer of clay and humus and will be tilled or afforested as part of the final rehabilitation step, the impact of rehabilitation materials on the reclaimed soil is not expected. According to results of this study recultivation of the upper layer with planting of woods is recommended.

Key words: silica sandpit; recultivation; rehabilitation; rehabilitation material; Moravče

¹ Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, Slovenija

² Korespondenčni avtor, e-naslov: sonja.cerar@geo-zs.si

1 UVOD

Destruktivno spreminjanje okolja temelji na pričanju, da so bistvene sestavine naravnega okolja praktično neizčrpne, a je za kmetijska zemljišča v zadnjem obdobju mogoče zaslediti opozorila, da je že presežena regeneracijska zmogljivost (Vrščaj, 2010; Pintar in sod., 2010). Obseg kmetijskih zemljišč se zmanjšuje, okoljske zahteve pa se zaostrejujejo, zato marsikje v Sloveniji ni več mogoče racionalno kmetovati, še manj pa kmetovati ekološko, saj za to ni dovolj površin. Slovenija je po obsegu kmetijskih obdelovalnih površin (njive in vrtovi) na repu držav članic Evropske unije (Pintar in sod., 2010). S problematiko zmanjšanja kmetijskih zemljišč zaradi tesnjenja tal oziroma odkopi, ki predstavlja globalno grožnjo varnosti preskrbe s hrano in socialni stabilnosti ter biotski raznovrstnosti in ekosistemom pa se srečujejo tudi po svetu (Montanarella, 2017).

Dinamično ravnovesje se lahko poruši ob človekovih posegih, kot npr. površinskih kopih (gramoznice, peskokopi, kamnolomi...), kjer zaradi odvzema mineralnih surovin prihaja do spreminjanja topografije (večje depresije, strma pobočja itd.) (Sharma in sod., 2004). S spremembo režima v poznih osemdesetih in kasnejšo prilagoditvijo zakonodaje za vstop v Evropsko skupnost je prišlo tudi do sprememb okoljske zakonodaje (Elliot in Udovč, 2005). Velik korak k izboljšanju neravnovesja, povzročene v okolju s površinskimi kopi, je bil narejen s sprejetjem Zakona o rudarstvu (2010), ki je nosilec rudarske pravice zavezal k sanaciji rudarskih prostorov. Na izkoriščenih površinskih kopih, ki predstavljajo degradirano pokrajino, morajo nosilci rudarske pravice po zaključku izkoriščanja izvesti sanacijska rudarska dela, da se odpravijo posledice, ki so nastale pri izvajanju rudarskih del in izvede dokončna sanacija okolja (96. člen Zakona o rudarstvu (2010)). Površja, ki je bilo izpostavljeno izkopavanju mineralnih surovin, ni mogoče v celoti vrniti v prvotno stanje (Grčman in Zupanc, 2018). Degradirano območje se lahko preuredi v sekundarne habitate (Urbanc in Berg, 2005), v športno-rekreacijske površine, deponije komunalnih in drugih odpadkov (Knez in Regent, 1993), izgradnjo rastlinskih čistilnih naprav (Griessler Bulc in Šajn Slak, 2009) ali v kmetijske površine (Krümmelbein in sod., 2010). Pri rekultivaciji degradiranega območja za kmetijsko rabo želimo čas, ki ga naravna sukcesija potrebuje, bistveno skrajšati. Z ukrepi nekatere procese pospešimo, npr. vnos hranil, predvsem dušika (Čop in sod., 2009); nekatere, kot je spiranje nitrata in drugih onesnažil, ublažimo (Laner in sod., 2011), zmanjšamo toksičnost tal (Grčman in sod., 2001), z ozelenitvijo izboljšamo strukturo tal in zmanjšamo nevarnost erozije

(Zupanc in Grčman, 2016). Pri izvedbi rekultivacije površinskega kopa v kmetijsko površino je zelo pomembno, da nosilec rudarske pravice že v naprej načrtuje, v kakšno kmetijsko površino bo površinski kop rekultiviran, ali bo to njiva, travnik, pašnik, gozd itd., in se temu primerno loti načrtovanja ter izvajanja rekultivacije. V nasprotnem primeru prihaja do slabega izvajanja in s tem posledično do otežene uporabe zemljišča (Škornik Grdina, 2016).

V Sloveniji se je v letu 2018 izkoriščalo 25 mineralnih surovin na skupno 180 nahajališčih, ki zajemajo skupno 206 pridobivalnih prostorov s koncesijsko pogodbo (rudarsko pravico za izkoriščanje) (Senegačnik in sod., 2019). Med slednjimi je tudi družba Termit d. d., ki je pričela z izkoriščanjem kremenovega peska že leta 1960 in se še danes ukvarja s proizvodnjo in predelavo kremenovih peskov ter izdelavo pomožnih livarskih sredstev za livarne in železarne. Ocena družbe Termit d. d. iz leta 2004 je pokazala, da je potrebno sanirati 2 milijona m³ opuščenih kopov (Pavlin in sod., 2018) oz. približno 20 ha površin (Vajović in sod., 2016). Sanacija z naravnimi materiali ni prišla v poštev, saj bi s tem ustvarili nova degradirana območja drugje. Zaradi slednjega so v podjetju pričeli z reciklažo industrijskih odpadkov v gradbene kompozite, ki so skladni s Slovenskim tehničnim soglasjem (STS). Gradbena industrija spada med največje porabnike naravnih materialov, zato igra pomembno vlogo pri reciklaži odpadkov v gradbene surovine za doseganje trajnostnega razvoja (John in Tinker, 1998; Barbuta in sod., 2015). Mauko Pranjič in sod. (2014) poročajo, da med najbolj perspektivne industrijske odpadke za uporabo v gradbeništvu spadajo žindra ter elektrofiltrski pepel iz sežiga premoga, biomase, komunalnih odpadkov in papirniškega mulja. Poleg tega je v primerih, kadar odpadki niso okolijsko inertni, možno nevarne komponente trajno imobilizirati z različnimi vezivi ali postopki (Colliviginarelli in Sorlini, 2002; Mauko Pranjič in sod., 2014; Ramesh in sod., 2014; Chuang in sod., 2018). Imobilizacija potencialno nevarnih snovi (PNS) v odpadkih poteka s pravim razmerjem materialov, ustrezno vlogo in zgoščevanjem med vgradnjo in tako PNS ne ogrožajo okolja (Pavlin in sod., 2018). Kljub temu pa obstaja dvom o učinkovitosti vgrajevanja odpadkov, ki temelji na interakciji med gradbenimi materiali in okoljem, v katerem so vgrajeni (Podlipnik, 2019). Ugotavljanje stanja v okolju, kjer so gradbeni kompoziti že vgrajeni, je torej ključno za boljše razumevanje te problematike in predstavlja pomemben izziv za strokovnjake iz področja varstva okolja.

Ta prispevek vključuje rezultate in ugotovitve prve raziskave (Cerar in Bavec, 2017) že vgrajenih gradbenih kompozitov, ki se uporabljajo kot sanacijski material na opuščenem kopu Drtija (Moravče). Glavni cilj tega pri-

spevka je z uporabo geokemičnih preiskav opredeliti: (1) kemično sestavo sanacijskega materiala, okoliških površinskih tal in izcednih vod obravnavanega območja ter njihovo medsebojno povezavo ter (2) potencialni vpliv sanacijskega materiala na bodočo rekultivacijo. Na podlagi ugotovitev je predlagana tudi vrsta prostorske rabe po končni sanaciji.

2 MATERIAL IN METODE

2.1 OBRAVNAVANO OBMOČJE

Obravnavano območje se nahaja približno 1 – 1,5 km vzhodno od Moravč, približno 30 km vzhodno od Ljubljane. Razprostira se med dolino potoka Drtijiščice, na zahodu, naseljem Zgornja Dobrava na vzhodu, naseljem Straža pri Moravčah na severu ter z obrati in poslovno stavbo Termit na jugu (Slika 1).

Obravnavano območje predstavlja umetni zasip nekdanjega odkopa kremenovega peska Drtija s sanacijskim materialom. V okolici se nahajajo večinoma gozdne in kmetijske površine. Vzhodno od obravnavanega območja se nahaja usedalni bazen (Slika 1), ki je urejen z varnostnim nasipom za preprečevanje izliva vode v okolje. Usedalni bazen je nastal kot posledica pridobivanja kremenovega peska, zaradi česar je nastala depresija, v kateri so se zadrževale oziroma izlivale meteorne vode z območja peskokopa ter iz potoka Stražca.

V morfološkem pogledu gre za podolgovato območje površine približno 5 ha, ki se razprostira v smeri vzhod – zahod. Nadmorska višina območja je približno 380 m.

Najpomembnejši vodotok predstavlja potok Drtij-

ščica, ki teče približno 400 m južno od obravnavanega območja. Drtijiščica izvira na treh lokacijah pod Sv. Lenartom na nadmorski višini približno 550 m. Njena struga poteka v smeri vzhod – zahod, pri vasi Drtija pa povije proti severu. Ob naselju Trnava se izliva v reko Radomljo na približno 340 m n. v. (Atlas okolja, 2019).

Pomemben vodotok predstavlja tudi potok Stražca, ki teče na severnem robju obravnavanega območja v smeri proti zahodu, kjer se pri naselju Zalog pri Moravčah izliva v Drtijiščico. Potok Stražca izvira na treh lokacijah na severovzhodni strani območja, na nadmorski višini približno 420 m.

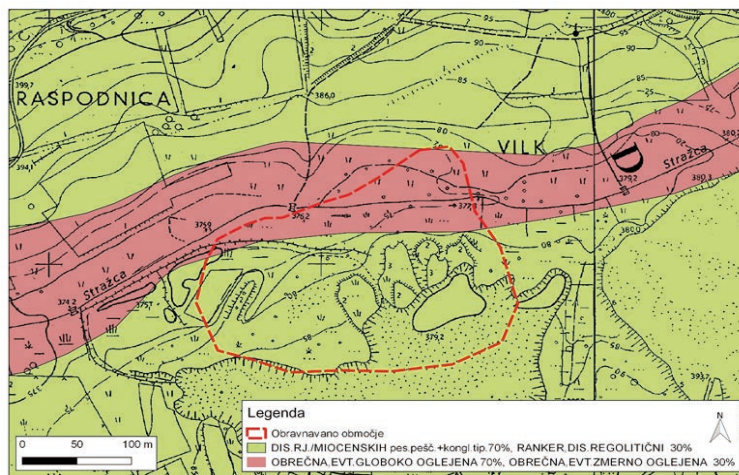
Geološke razmere na obravnavanem območju opredeljuje sinklinalna struktura, zapolnjena s plastmi neogenskih sedimentov (lapornata glina (sivica), kremenovi peski, prod in peščena glina), imenovana Moravska sinklinala. Podlago neogenskim sedimentom predstavljajo v glavnem zgornjetriasni plastoviti in masivni apnenci ter dolomiti, ki izdanzajo v severnem in južnem krilu sinklinalne, mestoma pa še karnijski laporovec in laporast apnenec. Iz teh kamnin je zgrajeno tudi južno in severno obrobje Moravske doline. Južno sinklinalno krilo ima strmejši vpad kot severno sinklinalno krilo. Skupna debelina terciarnih plasti v Moravški sinklinali znaša okrog 250 m, medtem ko je na obravnavanem območju debelina ocenjena na približno 90 m (Lapajne, 1993).

Terciarni sedimenti so pričakovano srednje prepustni ($K \sim 4,6 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$), prav tako je izdatnost vodnjakov v teh sedimentih ocenjena na $3\text{--}4 \text{ l min}^{-1}$ (Marinko in sod., 1975). Prepustnost apnencev je ocenjena na $3,88 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ (Rogelj in Karahodžič, 2004). Gladina podzemne vode se lokalno lahko nahaja na kontaktu med krovnino in talnino različnih slojev terciarnih se-



Slika 1: Obravnavano območje z lokacijami vzorčenja na letalskem posnetku med leti 2009 in 2011

Figure 1: Study area with sampling locations on an aerial photo map between 2009 and 2011



Slika 2: Pedološka karta obravnavanega območja v merilu 1:25000 (Vir: MKGP, 2016)

Figure 2: Pedological map of study area at scale 1:25.000 (Source: MAFF, 2016)

dimentov (kremenov pesek, glina, lapor, itd.). Smer toka podzemne vode je od vzhoda proti zahodu (Lapajne, 1993).

Glede na Pedološko karto Slovenije 1:25.000 (MKGP, 2016) se na miocenskih peskih, peščenjakih in konglomeratih nahajajo distrična rjava tla (70 %) in distrični regolitični ranker (30 %), na aluviju pa obrečna, evtrična globoko oglejena tla (70 %) in obrečna, evtrična zmerno oglejena tla (30 %) (Slika 2).

Večji del obravnavanega območja predstavlja rudarski prostor z odkopi kremenovega peska in saniranimi območji. Posledično so bila v večji meri avtohtona tla odstranjena. Le ta pa se predvidoma nahajajo izven rudarskega prostora.

2.2 IZVEDBA TEHNIČNE SANACIJE IN REKULTIVACIJE TAL

Po podatkih podjetja Termit d. d. je ob svojem nastanku, leta 1960, podjetje pričelo izkoriščati pesek v zahodnem delu, ki predstavlja obravnavano območje. Na tem območju se je izkoriščanje zaključilo leta 1978. Odkopani del se je najprej uporabljal kot bazen za vodo iz separacije. Bazen se je polnil z vodo približno šest let (Slika 3a). Nato so s krovinskimi materiali in glinami zapolnili odkop (Slika 3b). Med tem časom se je teren počasi sušil in utrjeval, dokler ni postal toliko trden, da so ga lahko spomladi leta 1993 poravnali z buldožerjem. Poravnani teren so nato še zasejali s travo (Slika 3c). Na površino 7 ha so navozili rodovitni material, ga pognojili in zatravili (Slike 3d, e in f). To območje takrat še ni bilo dokončno sanirano, saj je bilo zaraščeno z močvirskim drevjem in močvirsko travo in kot ta-

kšno neuporabno za kmetijsko obdelavo. Zato so leta 2015 na obravnavanem območju v skladu z rudarskim projektom (Vajović in sod., 2016) pričeli z izvajanjem končne tehnične sanacije opuščene odkopne jame peskokopa. Kot sanacijski material se od takrat uporabljajo različni gradbeni kompoziti (Pavlin in sod., 2018). Gradbene kompozite proizvaja Termit, in sicer s predelavo nenevarnih odpadkov in dodajanjem naravnega materiala, t. j. kremenovega peska. Delež in sestava sta skladna s predhodno pridobljenim Slovenskim tehničnim soglasjem (STS), ki ga na podlagi Zakona o gradbenih proizvodih (ZGPro) podeljuje Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG).

Tehnična sanacija v času preiskav še ni bila dokončno izvedena. Glede na rudarski načrt (Vajović in sod., 2016) je predvideno, da bo po končani tehnični sanaciji terena, ki predstavlja zasutje odkopanega prostora in izravnavo brežin do končnega naklona, izvedena rekultivacija vrhnjega sloja površin (Slika 4). Pri tem je navedeno, da se lahko v primeru resnih interesov in ustrezne podpore s strani občine ali lokalnih skupnosti, območje uredi tudi v druge namene (npr. turizem, rekreacija, raziskovalno območje ali kakršnokoli druga raba).

2.3 VZORČENJE

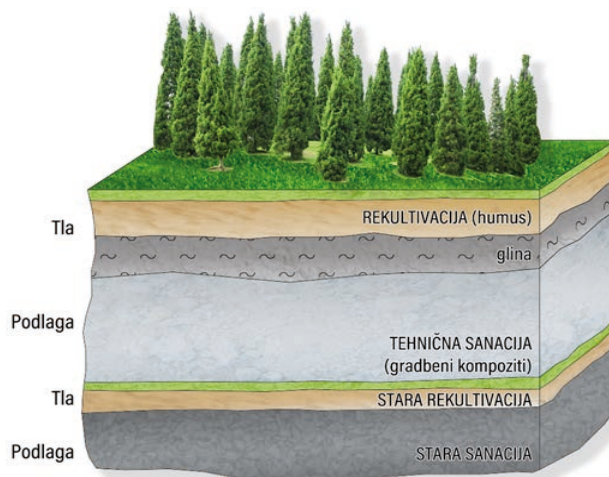
2.3.1. Sanacijski material

Vzorčenje sanacijskega materiala je bilo izvedeno z bagrskimi izkopi dne 15.3.2017 do globine 3 m na 3 vzorčnih mestih V1, V2 in V3 (Preglednica 1, Slika 1). Odvzeli smo dva tipa vzorcev: porušene in neporušene



Slika 3: Prikazi stanja okolja na območju peskokopa Drtija od leta 1981 do 1996: (a) leto 1981– zasipavanje s separacijskim muljem, (b) leto 1992 – teren zapolnjen s krovino in glino, (c) leto 1993 – poravnani teren (približno 7 ha), (d) leto 1993 – nasutje rodovitnega materiala (mulj iz bližnjega ribnika), (e) letnica neznan – stanje po sanaciji in rekultivaciji, (f) 1995 – stanje po sanaciji in rekultivaciji (vir fotografij: Termit d. d.)

Figure 3: Indications of the environment in the area of the Drtija sand pit from 1981 to 1996: (a) year 1981 - backfill with separation sludge, (b) year 1992 - terrain filled with roof and clay, (c) year 1993 - leveled terrain (ca. 7 ha), (d) 1993 - Spillage of fertile material (sludge from a nearby pond), (e) Year unknown - Condition after rehabilitation and recultivation, (f) 1995 - Condition after rehabilitation and recultivation (Photo source: Termit d. d.)



Slika 4: Shema tehnične sanacije in rekultivacije vrhnjega sloja (prirejeno po Vajović in sod., 2016).

Figure 4: Scheme of technical rehabilitation and recultivation of the upper layer (adapted after Vajović et al., 2016)

vzorke. Slednji opredeljujejo dejansko stanje v naravi. Porušene vzorce sanacijskega materiala smo odvzeli iz izraženih plasti, ki so se pojavljale na različnih globinah. Odvzeli smo približno 3 kg vzorca. Približno 2 kg porušenega vzorca smo na terenu spravili v plastične vrečke za anorganske analize in v stekleno embalažo za organske analize ter 1 kg vzorca za arhiv v steklene embalaže. Za vsak vzorec smo na terenu zabeležili tudi njegove lastnosti (tekstura, vlažnost, barva in podobno).

Neporušene vzorce, ki v primerjavi s porušeni vzorci predstavljajo dejanske razmere na terenu, smo na vzorčnih mestih V1, V2 in V3 odvzeli s cilindrom velikosti 14 cm x 35 cm. Globine, na katerih smo vtisnili cilindri, so podane v Preglednici 1.

2.3.2. Okoliška površinska tla

Ker smo tekom vzorčenja sanacijskega materiala opazili, da pri vgrajevanju sanacijskih materialov prihaja do prašenja delcev v bližnjo okolico, smo odvzeli tudi vzorce okoliških površinskih travniških tal z namenom ugotavljanja vpliva dejavnosti vgrajevanja sanacijskih materialov preko emisij iz zraka. Lokacije odvzema so bile pogojene z rabo tal. Travniška tla, za katera smo predvideli, da že dlje časa niso bila orana, so bila na voljo v ozkem pasu severno in jugovzhodno od obravnavanega območja. Drugod so bile obdelovalne kmetijske površine, gosto grmičevje ali gozd. Tako smo na dveh vzorčnih mestih (T1 in T2) (Preglednica 2) določili nulto stanje tal, kjer je možno dolgoročno spremljanje

Preglednica 1: Pregled podatkov o vzorčnih mestih sanacijskih materialov in njihovih lastnosti
Table 1: Review of data on sample sites of rehabilitation materials and their properties

Oznaka vzorčnega mesta	Oznaka vzorca		Globina (m)	Lastnosti materialov	Metoda vzorčenja	
	GKX	GKY				
V1	109953	481789	V1G1	0 – 0,95	Material je temno sive barve, peščene teksture, suh, smrdi po prežganem	Bagrski izkop, vzorčenje iz žlice
			V1G2	0,95 – 1,35	Material je svetlo sive barve, peščene teksture, suh	
			V1G3	1,35 – 1,55	Material je črne barve, glinaste teksture z vidnimi primesmi peska, suh, gnetljiv	
			V1G4	1,55 – 1,75	Material je rumenorjave barve, glinaste teksture z vidnimi primesmi peska, suh/svež, enak material se ponovno pojavi na globini med 2,2- 2,6 m	
			V1G5	1,75 – 2,20	Material je temno rjave barve, glinaste teksture z vidnimi primesmi peska, moker	
			V1	0,95 – 1,30	Material je enak V1G2	Bagrski izkop, vtis cilindra (14 cm x 35 cm) z bagrsko žlico
V2	109999	481826	V2G1	0 – 0,80	Material je temno sive barve, peščene teksture, suh, mestoma se pojavljajo leče materiala svetlo sive barve	Bagrski izkop, vzorčenje iz žlice
			V2G2	0,85 – 1,85	Material je enak V2G1	
			V2G3	1,85 – 2,40	Material je sive barve, glinaste teksture, vlažen, gnetljiv, mestoma se pojavljajo leče materiala enakega kot pri V1G4	
			V2	1 – 1,35	Material je enak V2G1	
V3	110042	481841	V3G1	0 – 0,85	Material je enak V2G3	Bagrski izkop, vzorčenje iz žlice
			V3G2	0,85 – 2,15	Material je enak V1G3	
			V3G3	2,15 – 2,85	Material je kremenov pesek, neprijetnih vonjav, suh/svež	
			V3	1,00 – 1,35	Material je enak V3G2	

Preglednica 2: Pregled podatkov o vzorčnih mestih tal in lastnosti tal**Table 2:** Review of soil sample site data and soil properties

Oznaka vzorčnega mesta	GKX	GKY	Metoda vzorčenja	Oznaka vzorca	Globina (cm)	Lastnosti tal
T1	110147	481844	Kompozitno vzorčenje	T1	0 – 10	Tla so bila ob vzorčenju sveža/vlažna, humozna, gosto prekoreninjena, drobljiva z dobro izraženo mrvičasto do grudičasto strukturo, terenska ocena teksturo je peščena ilovica, barva 10YR 4/4 (Munsell Soil), vsebnost skeleta ocenjena na 5 % s prevladujočo velikostjo ostrorobnih delcev 0,5 cm.
T2	109873	481733	Kompozitno vzorčenje	T2	0 – 10	Tla so bila ob vzorčenju vlažna, srednje humozna, gosto prekoreninjena, zbita, mazava in gnetljiva z dobro izraženo mrvičasto do grudičasto strukturo, terenska ocena teksture je peščena glinasta ilovica, barva 10YR 3/3 (Munsell Soil), vsebnost skeleta ocenjena na 30 % s prevladujočo velikostjo peščenih delcev (kremenov pesek), pojavljajo se tudi zaobljeni delci z velikostjo do 2 cm.

kvalitete tal v bližnji okolici, glede na to, da se sanacijski materiali trenutno še vgrajujejo. Poleg tega smo lahko primerjali vrednosti kemijskih snovi v tleh in sanacijskih materialih ter ugotavljali njuno povezavo. Vzorčenje tal je bilo izvedeno dne 21.4.2017. Izbrali smo sistem kompozitnega vzorčenja tako, da je vsak odvzeti vzorec sestavljen iz petih podvzorcev, ki smo jih homogenizirali na terenu. Prvi podvzorec je bil odvzet na GK koordinatah obravnavanega vzorčnega mesta, preostali podvzorci so bili odvzeti na krožnici, s centrom na koordinati prvega podvzorca in polmerom 5 m; drugi podvzorec v smeri V, tretji podvzorec v smeri S, četrti podvzorec v smeri Z in peti podvzorec v smeri J. Odvzeli smo po en združen vzorec na vsakem vzorčnem mestu, na globini 0 – 10 cm. Skupna teža posameznega vzorca je znašala približno 3 kg. Homogenizirani vzorec smo razdelili na posamezne dele za nadaljnje analize in jih spravili v stekleno embalažo (približno 2 kg za določitev anorganskih in organskih parametrov ter približno 1 kg za arhiv).

2.3.3. Izcedne vode

Da bi preverili možnost prehajanja kemijskih snovi iz sanacijskega materiala v okolje preko vode, smo poleg uporabe izluževalnih testov odvzeli tudi vzorec izcedne vode (VO). Izcedna voda na obravnavanem območju predstavlja infiltrirano padavinsko vodo, ki se preceja skozi sanacijski material. Glede na to, da je obravnavano območje zgrajeno v obliki nasipa, je bilo možno izcedno vodo odvzeti le na dnu brežine tega

nasipa, saj odvodnja izcedne vode na dan vzorčenja ni bila urejena. Tako je bil vzorec izcedne vode odvzet dne 20.4.2017 na zahodnem delu obravnavanega območja z GKX 109941 in GKY 481661 (Slika 1), kjer je bil odvzem vzorca možen (na območju preostalih brežin izcedna voda ni bila prisotna).

Pred vzorčenjem vode smo izvedli tudi meritve terenskih parametrov (temperatura vode, pH in električna prevodnost vode) z uporabo instrumenta WTW pH/Cond 340i SET™ in meritve oksidacijsko-redukcijskega potenciala ter nasičenosti s kisikom v vodi, z instrumentom WTW Multi 3410/set C. Ob vzorčenju je bil ocenjen tudi pretok vode. Vzorce vode za organske parametre so bili odvzeti v rjavih steklenih embalažah oziroma steklenih vialah, medtem ko so bili za osnovne kemijske parametre ter kovine vzorce odvzeti v plastičnih embalažah različne kapacitete. Vsi vzorce izcedne vode so bili na terenu ustrezno obdelani s filtriranjem oziroma stabiliziranjem z dodajanjem različnih kislin.

2.4 KEMIJSKE ANALIZE

Predpriprava porušenih vzorcev sanacijskih materialov, vodnih izlužkov porušenih vzorcev sanacijskih materialov po standardu 2003/33/EC, tal in vod za fizikalno-kemijske in kemijske analize z uveljavljenimi standardnimi metodami, je bila opravljena v zunanem akreditiranem (CSN EN ISO/IEC 17025:2005) laboratoriju ALS Czech Republic, s. r. o. Predpriprava neporušenih vzorcev sanacijskih materialov za fizikalno-kemijske analize je bila opravljena na Zavodu

za gradbeništvo (ZAG). Pripravili so vodne izlužke po standardu SIST EN 1744-1:2010+A1:2013, katerih meritev analiznih parametrov so prav tako opravili v zunanjem akreditiranem laboratoriju ALS Czech Republic, s. r. o.. Izmerjene vrednosti parametrov podane v mg/l, so bile za interpretacijo preračunane v mg kg⁻¹ s. s. v skladu z razmerjem med maso vzorca in izluževalnega sredstva (destilirana voda) 1:10, računano na suho snov vzorca, zato da smo jih lahko ovrednotili v skladu s predpisanimi vrednostmi (mg kg⁻¹ s. s.) za inertne odpadke.

Da bi preverili možnost prehajanja kemijskih snovi v okolje smo v porušeni in neporušeni vzorcih sanacijskega materiala določili parametre vodnega izlužka inertnih odpadkov (kovine, kloridi, fluoridi, sulfati, fenolni indeks, raztopljeni organski ogljik (DOC) in celotne raztopljene snovi), medtem ko smo v vodnih izlužkih neporušeni vzorcev dodatno določili kalcij, magnezij, natrij in kalij. Za karakterizacijo kemične sestave materialov smo v porušeni vzorcih sanacijskih materialov in tal določili celotne vsebnosti kovinskih anorganskih snovi in organskih snovi (celotni organski ogljik (TOC), ogljikovodiki (C10-C40), lahkohlapni aromatski ogljikovodiki (BTEX), policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH), poliklorirani bifenili (PCB), formaldehid, fenol, naftol in krezol. V porušeni vzorcih tal smo določili še vsebnosti nekovinskih anorganskih parametrov (bromid, klorid, fluorid, nitrat, sulfat). Pri tem je potrebno omeniti, da smo analizirali 7 (od skupno 11) vzorcev porušeni sanacijskih materialov (V1G1, V1G5, V2G1, V2G2, V2G3, V3G2, V3G3), ki so glede na terensko oceno teksture bolj prepustni (v materialu prevladujejo peščeni delci).

V vzorcu izcedne vode smo analizirali iste parametre kot so bili analizirani v sanacijskem materialu in vodnih izlužkih, in sicer: osnovne kemijske parametre, raztopljene kovine ter nekatere organske parametre (adsorbiljni organski halogeni (AOX), fenolni indeks in fenolni derivati, celotni organski ogljik (TOC), celotni ogljikovodiki – mineralna olja (C10-C40), lahkohlapni aromatski ogljikovodiki (BTEX), policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) in formaldehid).

Merilna negotovost analitske metode je podana v poglavju 3. skupaj z rezultati kemijskih analiz vseh preiskovanih medijev.

2.5 VREDNOTENJE REZULTATOV

Za vrednotenje rezultatov kemijskih analiz sanacijskih materialov smo uporabili veljavne predpise. Za vrednotenje rezultatov vodnih izlužkov smo uporabili mejne vrednosti vodnega izlužka inertnih odpadkov, ki

so predpisane v Uredbi o odlagališčih odpadkov (2014). Za vrednotenje rezultatov kovinskih anorganskih snovi smo uporabili največje dovoljene vrednosti anorganskih parametrov v umetno pripravljene zemljini, ki je namenjena nasipavanju stavbnih zemljišč in nasipavanju območij mineralnih surovin za zapolnitev tal po izkopu, ki so predpisane v Uredbi o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (2008 in 2011). Za vrednotenje organskih snovi smo uporabili mejne vrednosti parametrov onesnaženosti inertnih odpadkov, ki so predpisane v Uredbi o odlagališčih odpadkov (2014).

Izmerjene vrednosti analiznih parametrov v tleh smo primerjali z mejnimi, opozorilnimi in kritičnimi vrednostmi, ki jih predpisuje Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (1996) ter povprečnimi vrednostmi elementov v slovenskih tleh (Gosar in sod., 2019). Izračunali smo faktorje obogatitve za posamezen element v odvzetih vzorcih tal tako, da smo izmerjene vrednosti delili s povprečnimi vrednostmi elementov v slovenskih tleh (Gosar in sod., 2019).

Za vrednotenje izcedne vode na obravnavanem območju so pomemben kriterij mejne vrednosti določene z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (2008). Ker z omenjeno uredbo niso določene mejne vrednosti za nekatere anorganske in organske snovi smo za oceno vrednotenja uporabili še mejne vrednosti določene z Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (2012) ter kot najstrožji kriterij vrednotenja vod, Pravilnik o pitni vodi (2004). Uporaba teh mejnih vrednosti predstavlja konzervativen pristop vrednotenja rezultatov kemijskih analiz izcedne vode saj oba predpisa obravnavata drug tip voda in jih tako lahko uporabimo le kot primerjavo.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 SANACIJSKI MATERIAL

3.1.1 Celotne vsebnosti anorganskih snovi

Kemične analize so pokazale, da so celotne vsebnosti antimona in selena pod spodnjo mejo določanja (LOQ) v vseh obravnavanih vzorcih. Pri ostalih kovinah smo za izračun osnovnih statistik za vrednosti manjše od LOQ upoštevali polovične vrednosti LOQ. Preiskovani materiali vsebujejo arzen (As), kadmij (Cd), krom (Cr), baker (Cu), živo srebro (Hg), nikelj (Ni) in cink (Zn) (Preglednica 3), katerih vsebnosti smo za splošno oceno kakovosti materialov, ovrednotili glede na smernice anorganskih parametrov (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb

Preglednica 3: Celokupne vrednosti kovin in As (mg kg^{-1} s. s.) v porušenih vzorcih sanacijskega materiala skupaj z mejnimi vrednostmi parametra za umetno pripravljeno zemljino (MV) ter osnovnimi statistikami

Table 3: The total values of metals and As (mg kg^{-1} d. m) in demolished samples of rehabilitation material, together with the limit values of the parameter for artificially prepared soil (MV) and basic statistics

Oznaka vzorca	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
V1G1	5,0	128	0,2	17,9	17,5	0,099	0,60	14,7	51,1	50,2
V1G5	4,44	86,7	0,2	16,5	13,2	0,073	0,98	14	41,4	41,3
V2G1	<2,5	286	2,82	2.260	176	0,046	122	813	149	1.060
V2G2	<2,5	285	2,82	1.740	220	0,044	111	659	153	1.080
V2G3	<2,5	266	2,64	1.520	156	0,041	95	557	136	1.020
V3G2	<2,5	276	<0,4	226	20	<0,01	2,08	48,8	9,1	41,9
V3G3	5,62	88,5	0,52	30,9	25,2	0,22	1	21	108	67,7
N ¹	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Min.	<2,5	86,7	<0,4	16,5	13,2	0,041	0,6	14	9,1	41,3
Max.	5,0	286	2,82	2.260	220	0,22	122	813	153	1.080
Povprečje	2,86	202	1,3	830	89,7	0,1	47,5	304	92,5	480,2
Mediana	<2,5	266	0,52	226	25,2	0,05	2,08	48,8	108	67,7
MN ²	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%	± 20%
MV ³	30	/	1,1	90	90	0,7	/	55	100	450
X ⁴ >MV	0	/	3	4	3	0	/	3	4	3

¹Število analiziranih vzorcev; ²Merilna negotovost analitske metode; ³Mejna vrednost za anorganske parametre v umetno pripravljeno zemljino (Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (2008)); ⁴Število vzorcev nad mejno vrednostjo

in Zn) v umetno pripravljeno zemljino, ki je med drugim namenjena nasipavanju območij mineralnih surovin za zapolnitev tal po izkopu (Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (2008)). Mejne vrednosti Cd, Cr, Cu, Ni, Pb in Zn so presežene v vseh treh vzorcih sanacijskega materiala vertikalnega profila V2, in sicer V2G1, V2G2 ter V2G3, kar kaže na to, da so povečane vsebnosti podobno prostorsko porazdeljene. Podobna prostorska porazdelitev omenjenih kovin nakazuje na podoben izvor, ki so lahko livarski peski (Božym, 2017), pepel in žlindra (Basu in sod., 2009). V vzorcih sanacijskega materiala vertikalnega profila V3 pa sta presežena tudi krom (V3G2) in svinec (V3G3). Mejne vrednosti As in Hg niso presežene. Glede na izbrane smernice, vgrajen sanacijski material ni primeren za zapolnitev tal po izkopu mineralnih surovin, saj so presežene mejne vrednosti celotnih vsebnosti posameznih kovin. Vendar pa je potrebno opozoriti, da uradno te smernice za tovrsten material (t. j. gradbeni kompozit) na obravnavanem območju ne veljajo, zato je napačno trditi, da ti materiali niso ustrezni. V okoljevarstvenih dovoljenjih družbe Termit d. d. je namreč opredeljeno, da se gradbene materiale lahko uporablja, če so izdelani v skladu s pridobljenim STS in če kemične lastnosti predelanih materialov ustrezajo zahtevam za inertne odpadke (Uredba o odlagališčih odpadkov (2014)).

Slednje pa ne predpisujejo mejnih vrednosti za celotne vsebnosti parametrov, temveč za parametre vodnega izlužka (1:10). To je na splošno gledano smiselno, saj celotne vsebnosti kovin še ne povedo veliko o njihovi mobilnosti oz. možnosti prehajanja v okolje – vodo in bioto, temveč so za to potrebne podrobnejše raziskave, in sicer fizikalno-kemijskih lastnosti, speciacije, vodotopnosti, biodostopnosti, itd. (De Matos in sod., 2001; Ogundiran in Osibanjo, 2009; Bavec in Gosar, 2016). V tej študiji smo ugotavljali vodotopnost, oz. možnost prehajanja kemičnih snovi iz sanacijskega materiala v vodo, kar so pokazale vrednosti, ki so bile izmerjene v vodnih izlužkih in izcedni vodi, ki so predstavljene v nadaljevanju.

Povprečna vsebnost barija je 202 mg kg^{-1} s. s. Značilne vsebnosti barija v naravnih – neobremenjenih, geoloških materialih so do 1.600 mg/kg , v glinenih materialih do 3.000 mg kg^{-1} (Turekian in sod., 1961). Glede na sestavo materialov barij praviloma izvira iz karbonatnih materialov. Povprečna vsebnost molibdena je $47,5 \text{ mg kg}^{-1}$ s. s. Od povprečnih vrednosti odstopajo vzorci vertikalnega profila V2 in sicer vzorca V2G1 in V2G2 na globini do 2 m, kjer izkopan material predstavlja temno siv pesek (material v večji meri povsem verjetno sestavlja livarski pesek) in vzorec V2G3, kjer izkopan material predstavlja sivo glino. Značilne vseb-

Preglednica 4: Vrednosti organskih snovi (v mg kg⁻¹ s. s., razen za TOC v % s. s.), žarilne izgube (% s. s.) in suhe snovi (%) porušenih vzorcev sanacijskega materiala skupaj z mejnimi vrednostmi parametrov onesnaženosti za inertne odpadke ter osnovnimi statistikami

Table 4: Organic matter values (in mg kg⁻¹ d. m., except for TOC in % d. m.), incineration losses (% d. m.) and dry matter (%) of demolished rehabilitation material samples, together with limit values for contamination parameters for inert waste and basic statistics

Parameter	TOC	C10-C40	Vsota PAH	Vsota BTEX	Fenol	Žarilna izguba 550°C	Suha snov 105°C
V1G1	3,23	137	0,50	<0,17	/	7,3	76,9
V1G5	2,29	<20	<0,16	<0,17	/	15,1	53,0
V2G1	1,75	22	0,64	<0,17	/	10,6	67,1
V2G2	4,92	140	0,72	0,483	1,08	6,5	86,5
V2G3	0,45	<20	<0,16	<0,17	/	5,5	77,2
V3G2	7,09	163	0,80	1,90	/	3,6	85,3
V3G3	1,42	42	0,31	<0,17	0,30	0,9	94,9
N ¹	7	7	7	7	2	7	7
Min.	0,45	<20	<0,16	<0,17	0,30	0,9	53,0
Max.	7,09	163	0,80	1,90	1,08	15,1	94,9
Povprečje	3,02	75	0,45	0,40	/	7,0	77,3
Mediana	2,29	42	0,50	<0,17	/	6,5	77,2
MN ²	± 20%	± 30%	± 30%	± 40%	± 40%	± 5,0%	± 6,0%
MV ³	3	500	6	6	/	/	/
X ⁴ >MV	3	0	0	0	/	/	/

¹Število analiziranih vzorcev; ²Merilna negotovost analitske metode; ³Mejna vrednost parametrov onesnaženosti za inertne odpadke (Uredba o odlagališčih odpadkov (2014)); ⁴Število vzorcev nad mejno vrednostjo

nosti molibdena v naravnih – neobremenjenih, geoloških materialih so do 3 mg kg⁻¹ oz. v glinenih materialih do 27 mg kg⁻¹ (Turekian in sod., 1961).

3.1.2. Celotne vsebnosti organskih snovi

V preglednici 4 navajamo vsebnosti TOC-a, mineralnih olj, vsote BTEX, vsote PAH-ov in fenola skupaj z žarilno izgubo in suho snovjo. Vrednosti spojin iz sklopa PCB-jev – kongenerji 2,4,4 triklorobifenil (PCB 28), 2,2',5,5 tetraklorobifenil (PCB 52), 2,2',4,5,5' pentaklorobifenil (PCB 101), 2,3',4,4',5 pentaklorobifenil (PCB 118), 2,2',4,4',5,5' heksaklorobifenil (PCB 153) in 2,2',3,4,4',5,5' heptaklorobifenil (PCB 180) ter formaldehidov, naftolov in krezolov so manjši od LOQ v vseh obravnavanih vzorcih, zato jih v preglednici 4 ne navajamo.

Preiskovani vzorci sanacijskega materiala vsebujejo v povprečju 80 % suhe snovi (s. s.) oz. 20 % vlage. Odstopa vzorec V1G5 s 53 % s. s. oz. 47 % vlage (Preglednica 4). Količina vlage je bila pričakovana, ker je bil vzorec v primerjavi z ostalimi vzorci, ki so bili pretežno

suhi, že na terenu moker. Slednje pripisujemo teksturi vzorca (glina), ki predstavlja manj prepustno plast.

Ob upoštevanju vseh obravnavanih vzorcev je delež TOC-a skromen, v povprečju 3 % s. s. Glede na povprečno vrednost žarilne izgube na 550 °C, ki znaša 7 % in izmerjene vsebnosti TOC (3,02 % s. s.) je delež termično stabilnih materialov v preiskovanih zemljinah več kot 90 %. Glede na smernice za inertne odpadke (Uredba o odlagališčih odpadkov (2014)), je v manjši meri presežena mejna vrednost za TOC in sicer v treh vzorcih V1G1, V2G2 in V3G2. Glede na vrste odpadkov, iz katerih so gradbeni materiali sestavljeni, so vir povečanega TOC lahko odpadki iz predelave papirniškega mulja, predelave mulja iz vodnih vrtin, predelave vrtin in predelave fosfatov. Vsota PAH-ov, BTEX-ov ter vrednosti mineralnih olj ne presegajo mejnih vrednosti organskih parametrov za inertne odpadke. Glede na vrste odpadkov, iz katerih so sanacijski materiali sestavljeni, so vir BTEX lahko odpadki iz predelave livarskih peskov, predelave lepila in predelave mulja.

Fenol vsebujeta dva vzorca V2G2 in V3G3 sanacijskih materialov, ki sta pretežno sestavljena iz kremenovega oziroma livarskega peska. Odpadni materiali iz

Preglednica 5: Vrednosti parametrov (mg kg⁻¹ s. s.) v vodnih izlužkih porušeni vzorcev sanacijskega materiala skupaj z mejnimi vrednostmi parametrov izlužka za inertne odpadke ter osnovnimi statistikami

Table 5: Values of parameters (mg kg⁻¹ d. m.) in water leachates of demolished samples of rehabilitation material together with limit values of leachate parameters for inert waste and basic statistics

Oznaka vzorca	Ba	Cr	Cu	Hg	Mo	Zn	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	DOC	CRS ¹	Alkaliteta pH 4,5
V1G1	18,70	<0,05	<0,1	<0,0001	<0,2	0,18	90	5,86	89	67	9.740	17,90
V1G5	5,18	<0,05	<0,1	<0,0001	<0,2	<0,1	448	3,30	442	50	4.340	4,76
V2G1	2,75	0,20	<0,1	0,00011	<0,2	<0,1	152	6,42	560	33	8.760	10,90
V2G2	1,50	4,46	<0,1	0,00014	0,72	0,19	110	6,48	192	18	5.460	9,64
V2G3	0,57	<0,05	<0,1	0,0004	<0,2	<0,1	24	3,42	744	<5	1.390	0,44
V3G2	0,21	0,87	<0,1	<0,0001	0,26	<0,1	127	10,60	381	21	3.540	4,38
V3G3	2,63	0,07	0,48	0,00043	<0,2	2,58	26	5,00	70	690	1.050	11,00
N ²	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Min.	0,21	<0,05	<0,1	<0,0001	<0,2	<0,1	24	3,30	70	<5	1.050	0,44
Max.	18,70	4,46	0,48	0,00043	0,72	2,58	448	10,60	744	690	9.740	17,90
Povprečje	4,51	0,81	0,11	0,00	0,21	0,45	140	5,87	354	126	4.897	8,43
Mediana	2,63	0,07	<0,1	0,00011	<0,2	<0,1	110	5,86	381	33	4.340	9,64
MN ³	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%	± 10%
MV ⁴	20	0,5	2	0,01	0,5	4	800	10	1.000	500	4.000	/
X ⁵ >MV	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	4	/

¹Celotne raztopljene snovi; ²Število analiziranih vzorcev; ³Merilna negotovost analitska metode; ⁴Mejna vrednost parametrov izlužka za inertne odpadke (Uredba o odlagališčih odpadkov (2014)); ⁵Število vzorcev nad mejno vrednostjo

predelave kremenovega peska in livarskega peska so lahko vir fenolov (Mcnaughtan in Hoyt, 1958).

3.1.3. Vrednosti parametrov v vodnih izlužkih

Vrednosti antimona, arzena, kadmija, niklja, svineca in selena so manjše od LOQ v vseh obravnavanih vodnih izlužkih porušeni vzorcev sanacijskega materiala. Za ostale parametre izmerjene vrednosti navajamo v Preglednici 5, skupaj z mejnimi vrednostmi parametrov izlužka za inertne odpadke (Uredba o odlagališčih odpadkov (2014)). Izmerjene vrednosti za alkaliteto kažejo na prisotnost karbonatnih (HCO₃⁻; CO₃²⁻) zvrsti v vzorcih materialov s peščeno teksturo.

Iz Preglednice 5 je razvidno, da vrednosti parametrov kot so barij, baker, živo srebro, cink, kloridi, fluoridi in sulfati v vodnih izlužkih porušeni vzorcev, ne presegajo mejnih vrednosti parametrov izlužka za inertne odpadke. Mejne vrednosti pa so bile presežene v posameznih vzorcih izlužkov za 5 parametrov: krom v vzorcih V2G2 in V3G2, molibden v V2G2, fluorid v vzorcu V3G2, raztopljen organski ogljik v vzorcu V3G3 ter celotne raztopljene snovi v vzorcih V1G1, V1G5, V2G1 in V2G5.

Glede na vrste odpadkov, iz katerih so sanacijski materiali sestavljeni, so vir Cr, Cu in Mo lahko odpadki iz predelave odpadne žindre, predelave pepela in filtrskega prahu. Ob upoštevanju merilne negotovosti (± 10 %) izmed potencialno nevarnih kovin znatno izstopa samo Cr v enem vzorcu (V2G2).

Fluoridi predstavljajo reaktivno kemijsko zvrst, ki s sestavinami zemljine oz. vode, kot so kalcij in magnezij, tvorijo težko topne – kemijsko inertne spojine in tako ne prehajajo z vodo v širše okolje. Fluoridi pa z aluminijem in železom oziroma natrijem in kalijem tvorijo stabilne komplekse (Spletni vir, 2019d), ki so vodotopni. Možni izvor fluorida so lahko antropogeni – odpadni keramični materiali in vsi tisti odpadni materiali, ki nastanejo po uporabi naravnih mineralnih surovin (Ponsot in sod., 2013) lahko so pa tudi geogeni, saj glineni minerali med drugim vsebujejo tudi fluorid. Značilne vsebnosti fluorida v naravnih – neobremenjenih, geoloških materialih so do 100 mg kg⁻¹ v karbonatnih kamninah oz. do 600 mg kg⁻¹ v glinah (Turekian in sod., 1961).

Izmerjene vrednosti parametrov v vodnih izlužkih neporušeni sanacijskih materialov so prikazane v Preglednici 6, skupaj z mejnimi vrednostmi parametrov izlužka za inertne odpadke. Iz preglednice 6 je razvidno,

Preglednica 6: Vrednosti parametrov (mg kg^{-1} s. s.) v vodnih izlužkih neporušenih vzorcev sanacijskega materiala skupaj z mejnimi vrednostmi parametrov izlužka za inertne odpadke ter osnovnimi statistikami

Table 6: Values of parameters (mg kg^{-1} d. m.) in water leachates of undisturbed samples of rehabilitation material together with limit values of leachate parameters for inert waste and basic statistics

Oznaka vzorca	V1	V2	V3	N ²	Min.	Max.	MN ³	MV ⁴	X ⁵ >MV
Ba	25,2	0,123	0,143	3	0,123	25,2	± 10%	20	1
Cd	<0,008	<0,004	0,011	3	<0,004	0,011	± 10%	0,04	0
Cr	<0,02	<0,01	<0,01	3	<0,01	<0,02	± 10%	0,50	0
Cu	0,03	0,03	0,14	3	0,03	0,14	± 10%	2	0
Hg	<0,00001	0,00061	0,00081	3	<0,00001	0,00081	± 10%	0,01	0
Mo	<0,04	0,126	0,496	3	<0,04	0,496	± 10%	0,50	0
Pb	2,08	<0,05	0,24	3	<0,05	2,08	± 10%	0,50	0
Sb	<0,2	<0,1	<0,1	3	<0,1	0,01	± 10%	0,06	0
Zn	0,47	2,02	3,08	3	0,47	3,08	± 10%	4	0
Cl ⁻	26	175	144	3	26	175	± 15%	800	0
F ⁻	<2	18,2	13,6	3	<2	18,2	± 15%	10	2
SO ₄ ²⁻	50	267	251	3	50	267	± 15%	1.000	0
DOC	292	285	330	3	285	330	± 20%	500	0
CRS ¹	11.600	1.940	2.990	3	1.940	11.600	± 10%	4.000	1
Alkaliteta pH 4,5	18,8	1,97	4,23	3	1,97	18,8	± 12%	/	/
Ca	3.680	27	93	3	27	3.680	± 10%	/	/
Mg	0,13	2,67	22,9	3	0,13	22,9	± 10%	/	/
K	1.260	32,5	34,6	3	32,5	1260	± 10%	/	/
P	<0,2	<0,1	1	3	<0,1	1	± 10%	/	/
Na	238	675	923	3	238	923	± 10%	/	/
B	<0,2	0,73	1,53	3	<0,2	1,53	± 10%	/	/

¹Celotne raztopljene snovi; ²Število analiziranih vzorcev; ³Merilna negotovost analitska metode; ⁴Mejna vrednost parametrov izlužka za inertne odpadke (Uredba o odlagališčih odpadkov (2014)); ⁵Število vzorcev nad mejno vrednostjo

da vrednosti parametrov, kot so kadmij, krom, baker, živo srebro, molibden, svinec, antimon, cink, kloridi, sulfati in raztopljene organske snovi v vodnih izlužkih neporušenih vzorcev, ne presegajo mejnih vrednosti parametrov izlužka za inertne odpadke. Mejne vrednosti pa so presežene v posameznih vzorcih izlužkov za 2 parametra: barij v vzorcu V1 in fluorid v vzorcih V2 in V3. Znatno so povečane celotne raztopljene snovi, in sicer v vzorcu V1 (11.600 mg kg^{-1} s. s.). Med raztopljenimi snovmi pa je pomemben tudi delež snovi – kloridov in sulfatov natrija in kalija. Na osnovi izmerjenih vrednosti kemijsko sestavo raztopljenih snovi v vodnem izlužku, ni možno neposredno povezati s kemijsko sestavo preiskovanih materialov. Možnost vpliva vgrajenih sanacijskih materialov na drugih lokacijah ni izključena. Vsebnosti neraztopljenih snovi, praviloma so to netopne snovi kombinacij Ca, Mg, Ba in Sr na kationski strani ter karbonatov, sulfatov, tudi fluoridov,

na anionski strani, so skladne s povečanimi vsebnostmi Ca, K in vrednosti alkalitete v vzorcu V1.

Rezultati kažejo, da so že v porušeni vzorcih sanacijskega materiala, ki predstavljajo stanje materiala pred vgradnjo, kovine slabo vodotopne. Podobne rezultate kažejo tudi izmerjene vrednosti kovin v neporušenih vzorcih, ki pa predstavljajo dejansko stanje v naravi. Zato ocenjujemo, da so iz vidika možnega prehajanja kovin iz sanacijskega materiala v vodo, materiali inertni. Da so kovine slabo vodotopne v materialih, ki jih sestavljata livarski pesek ali elektrofiltrski pepel, za katere sklepamo, da so izvor kovin v sanacijskih materialih, ugotavljata tudi Kočvar (1991a) in Božym (2017). Kočvar (1991a) tudi ugotavlja, da razen povečanih vrednosti pH v izlužkih, ni kratkoročnega vpliva na vodo.

Vodotopne frakcije kovin so najšibkeje vezane frakcije kovin in kot take zelo mobilne in potencialno dostopne za bioto. Z vodotopnimi frakcijami lahko oce-

nimo delež celotnih kovin, ki se izlužuje v talno porno vodo in je tako na voljo za privzem v rastline ali pa potuje s tokom v podzemno vodo (Pirrone and Mahaffey, 2005; Ogundiran in Osibanjo, 2009; Nwoko in sod., 2018). Raziskave namreč kažejo, da je na s kovinami obremenjenem območju potrebno za rekultivacijo

vrhne plasti v kmetijske namene pazljivo izbrati vrsto gojenih rastlin, pri čemer naj bi bile najbolj primerne rastline, katerih plodovi so namenjeni za prehrano, veliko manj pa listnate rastline in rastline z gomolji. V primeru, gojenja rastlin, ki kopičijo večje količine kovin, pa je nujno potrebno rastline dolgoročno

Preglednica 7: Primerjava izmerjenih celokupnih vrednosti (mg kg^{-1} s. s.) anorganskih snovi v vzorcih okoliških površinskih tal s povprečnimi vrednostmi v slovenskih tleh ter mejno, opozorilno in kritično vrednostjo

Table 7: Comparison of measured total values (mg kg^{-1} d. m.) of inorganic substances in surrounding surface soil samples to average values in Slovenian soil and limit, warning and critical values

Parameter	T1	T2	MN ¹	Povprečne vrednosti v slovenskih tleh (0-10 cm^2)	Faktor obogatitve T1	Faktor obogatitve T2	Mejna vrednost ³	Opozorilna vrednost ³	Kritična vrednost ³
Al	16.400	17.100	± 20%	19.000	0,9	0,9	/	/	/
As	4,86	3,41	± 20%	13	0,4	0,3	20	30	50
B	5,6	8	± 20%	2,8	2,0	2,9	/	/	/
Ba	60,8	55,3	± 20%	83	0,7	0,7	/	/	/
Be	0,725	0,795	± 20%	1	0,7	0,8	/	/	/
Ca	3.410	14.100	± 20%	20.000	0,2	0,7	/	/	/
Cr	22,4	24,7	± 20%	38	0,6	0,7	100	150	380
Co	10,1	8,30	± 20%	15	0,7	0,6	20	50	240
Cu	12,6	8,8	± 20%	25	0,5	0,4	60	100	300
Fe	21.000	18.300	± 20%	28.000	0,8	0,7	/	/	/
Li	19,2	21,9	± 20%	20	1,0	1,1	/	/	/
Mg	2.750	3.330	± 20%	9.800	0,3	0,3	/	/	/
Mn	652	115	± 20%	960	0,7	0,1	/	/	/
Hg	0,064	0,051	± 20%	0,17	0,4	0,3	0,8	2	10
Mo	0,57	< 0,4	± 20%	1,4	0,4	/	10	40	200
Ni	18,2	21,4	± 20%	34	0,5	0,6	50	70	210
P	676	354	± 20%	630	1,1	0,6	/	/	/
K	1.410	1.520	± 20%	1.300	1,1	1,2	/	/	/
Si	229	223	± 20%	/	/	/	/	/	/
Na	40	54	± 20%	79	0,5	0,7	/	/	/
Sr	10,9	21,7	± 20%	30	0,4	0,7	/	/	/
S	434	540	± 20%	430	1,0	1,3	/	/	/
Ti	109	100	± 20%	120	0,9	0,8	/	/	/
V	25,6	25,2	± 20%	49	0,5	0,5	/	/	/
Pb	24,9	16,5	± 20%	40	0,6	0,4	85	100	530
Zn	50,7	38,9	± 20%	83	0,6	0,5	200	300	720
NO ₂	6,02	< 5	/	/	/	/	/	/	/
NO ₂ -N	1,36	< 1,5	/	/	/	/	/	/	/
SO ₄	26,7	90,3	/	/	/	/	/	/	/

¹Merilna negotovost analitska metode; ²Gosar in sod. (2019); ³Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (1996)

nadzorovati (Kočevar, 1991b v Pogačnik, 2007)). Različne vrste dreves pa so sposobne shraniti enako ali večjo količino težkih kovin kot zelnate rastline. Za dekontaminacijo onesnaženih tal so posebej primerna hitro rastoča drevesa z globokim koreninskim sistemom (topol in vrba), saj ne potrebujejo pogoste obdelave (Di Lonardo in sod., 2011, Zacchini in sod., 2011).

3.2. OKOLIŠKA POVRŠINSKA TLA

3.2.1. Celokupne vrednosti anorganskih snovi

V Preglednici 7 so navedene izmerjene celokupne vsebnosti anorganskih snovi v vzorcih okoliških površinskih tal skupaj z mejnimi, opozorilnimi in kritičnimi vrednostmi nevarnih snovi v tleh (Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (1996)) ter povprečnimi vrednostmi elementov v slovenskih tleh (Gosar in sod., 2019).

Vsebnosti kovin so pod mejnimi, opozorilnimi in kritičnimi vrednostmi. Glede na primerjavo s povprečnimi vsebnostmi elementov v slovenskih tleh so izmerjene vrednosti elementov v vzorcih površinskih tal T1 in T2 manjše ali istega reda velikosti. Faktor obogatitve kaže, da je samo B zanemarljivo povečan ($2 \times$ v T1 oz. $2,9 \times$ v T2). Br, Cl, F in NO_3 oz. $\text{NO}_3\text{-N}$ so manjši od LOQ v obeh obravnavanih vzorcih tal. Vsebnost rastlinam dostopnega oz. mobilnega nitratnega dušika $\text{NO}_2\text{-N}$ je bila zaznana v vzorcu T1 in je majhna ($1,36 \text{ mg kg}^{-1}$). Sulfat v tleh, ki predstavlja rastlinam dostopno oz. mobilno obliko, je bil zaznan v obeh obravnavanih vzorcih ($26,7 \text{ mg kg}^{-1}$ v T1 in $90,3 \text{ mg kg}^{-1}$ v T2).

3.2.2. Celokupne vrednosti organskih snovi

Celotni organski ogljik (TOC) v vzorcu T1 znaša $2,8 \%$ s. s. in v vzorcu T2 $2,73 \%$ s. s., kar pomeni da so tla srednje humozna (Zupan in sod., 2008). Vrednosti mineralnih olj v vzorcu T1 (41 mg kg^{-1} s. s.) in v vzorcu T2 (43 mg kg^{-1} s. s.), so pod mejno vrednostjo (50 mg kg^{-1} s. s.) (Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh 1996). Vrednosti BTEX-ov, PCB-jev, PAH-ov, formaldehidov, fenolov, krezolov,

naftolov in fenolnega indeksa so manjši od LOQ v obeh obravnavanih vzorcih tal in s tem pod mejnimi, opozorilnimi in kritičnimi vrednostmi.

Rezultati analiz kažejo, da so okoliška površinska tla v dobrem stanju, saj se vsebnosti vseh izmerjenih parametrov nahajajo pod mejnimi, opozorilnimi in kritičnimi vrednostmi. Prav tako je ugotovljeno, da vpliv emisij iz zraka zaradi vgrajevanja sanacijskega materiala na okoliška površinska tla ni zaznan.

Odkop kremenovega peska na območju Drtije je glede na rudarski načrt (Vajović in sod., 2016) segal tudi južno od obravnavanega območja, ki pa je sedaj že saniran in rekultiviran ter zatravljen. Sklepamo, da vzorčno mesto T2 predstavlja vrhno plast že rekultiviranega dela odkopa Drtija. Okoliška površinska tla, ki se nahajajo v neposredni bližini jugovzhodno od obravnavanega območja in vzorca T2, je preiskovala tudi Škornik Grdina (2016). Omenjena avtorica je ugotavljala osnovne lastnosti tal že rekultivirane površine kopa Drtije, ki je bil saniran z umetno pripravljeno zemljino. Slednja se po njenih raziskavah pojavlja na 40 cm globine. Ugotovila je, da sicer tla niso zadovoljivo preskrbljena s fosforjem in kalijem, vendar pa so razmere za mikrobo aktivnost in dostopnost hranil optimalne in vsebnost organske snovi je dobra. Škornik Grdina (2006) sklepa, da je obravnavano rekultivirano zemljišče primerno za kmetijsko rabo, vendar pa bi kmetijsko zemljišče lahko izboljšali s sajenjem primerne travne ruše in ustreznim gnojilnim načrtom, ki bi izboljšal preskrbljenost tal s fosforjem, kalijem in organsko snovjo. S tem bi se izboljšale razmere za rast in razvoj rastlin.

3.3. IZCEDNE VODE

3.3.1. Terenski parametri

Iz preglednice 8 je razvidno, da je za vzorec izcedne vode VO značilen majhen pretok vode ($0,05 \text{ l s}^{-1}$), zaradi česar je reprezentativnost rezultatov meritev za vrsto parametrov, kot na primer neraztopljene snovi, biološka in kemijska poraba kisika, povsem neprimerna.

Izcedna voda iz sanacijskega materiala ima pH vrednost $7,37$ in je v okviru sprejemljivih vrednosti za vode naravnega okolja ($6,5 - 8,5$). Električna prevodnost (EC), kot merilo raztopljenih ionsko aktivnih snovi, je poveča-

Preglednica 8: Merjeni terenski parametri pri vzorčenju izcedne vode
Table 8: Measured field parameters of leachate sampling

Oznaka vzorca	Pretok	T	EC	pH	ORP	Razt. kisik	Razt. kisik
	L s^{-1}	$^{\circ}\text{C}$	$\mu\text{S cm}^{-1}$	/	mV	$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$	$\% \text{ O}_2$
VO	0,05	11,2	3.910	7,37	-106	0,84	7,6

na ($3910 \mu\text{S cm}^{-1}$). Za primerjavo znaša mejna vrednost za pitno vodo, določena z $2500 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Pravilnik o pitni vodi (2004)). Izmerjena vsebnost raztopljenega kisika je $0,84 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ ter oksidacijsko-redukcijskega potenciala -106 mV , kar pomeni, da so razmere redukcijske.

3.3.2. Anorganske snovi

V preglednici 9 so predstavljeni rezultati meritev anorganskih parametrov v izcedni vodi. Iz preglednice je razvidno, da je izcedna voda obremenjena z anorganskimi snovmi, ki so v vodi dobro topne. Od osnovnih komponent vode, ki določajo mineralizacijo vode [Na,

K, Ca, Mg]// $[\text{HCO}_3, \text{Cl}, \text{SO}_4]$, so izmerjene povečane vsebnosti kalija in natrija, ki sta v ionskem ravnotežju s povečanimi vsebnostmi klorida in sulfata. Navedene sestavine vode tudi določajo povečane vrednosti električne prevodnosti. Glede na izmerjene vsebnosti kalija (270 mg l^{-1}) ter magnezija (35 mg l^{-1}), izmerjene vsebnosti Na, K ter Cl in SO_4 presegajo pričakovana naravna razmerja v podzemni in površinski vodi navedenih elementov (Mezga, 2014). Zato so izmerjene vsebnosti Na, K ter Cl in SO_4 ocenjene za dodatno obremenitev izcedne vode. Enake ugotovitve nakazujejo tudi rezultati analiz izlužka neporušenega vzorca V1 (Preglednica 6) in rezultati izvedenih preiskav izlužkov porušenih vzorcev V1G5, V2G1 in V2G3 (Pregledni-

Preglednica 9: Vsebnosti anorganskih in nekaterih organskih parametrov (mg l^{-1}) v izcedni vodi na obravnavanem območju
Table 9: Content of inorganic and some organic parameters (mg l^{-1}) in the leachate in the study area

Parameter	VO	MN ¹	Mejna vrednost ²	Mejna vrednost ³	Mejna vrednost ⁴
AOX	0,03	± 32%	0,5	/	/
TOC	712	± 20%	/	30	/
NH ₄	44	± 15%	50	/	0,5
BPK5	1300	± 15%	30	/	/
KPK	2220	± 15%	300	/	/
Cl	273	± 15%	/	/	250
F	1,35	± 15%	/	10	1,5
P (P ₂ O ₅)	1,15	± 20%	/	2,87	/
SO ₄ ²⁻	914	± 15%	/	/	250
N _{CELOK.}	48	± 30%	/	/	/
P _{CELOK.}	0,50	± 20%	2	2	/
PO ₄ ³⁻ CELOK.	1,54	± 20%	/	/	/
Ca	270	± 10%	/	/	/
Mg	35	± 10%	/	/	/
K	93	± 10%	/	/	/
Na	1050	± 10%	/	/	200
As	<0,01	± 10%	/	0,1	0,01
B	0,565	± 10%	/	1,0	1,0
Cr - SKUPNI	<0,002	± 10%	0,5	0,5	0,05
Cu	<0,002	± 10%	0,5	0,5	2,0
Ni	0,0154	± 10%	0,5	0,5	0,02
Pb	<0,01	± 10%	0,5	0,5	0,01
Hg	<0,01	± 10%	0,01	0,005	0,001
Cd	<0,0008	± 10%	0,1	0,025	0,005
Zn	0,0054	± 10%	2	2	/
Fenolni indeks	1,26	± 20%	/	0,1	/
Formaldehid	6,11	± 20%	/	13	/

¹Merilna negotovost analitska metode; ²Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (2008); ³Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (2012); ⁴Pravilnik o pitni vodi (2004)

ca 5), kjer je ugotovljeno, da so izstopajoče vsebnosti sulfatov prisotne tudi v izlužkih vzorcev sanacijskega materiala, vendar pa zaradi heterogenosti območja le-te ni možno neposredno povezati z lokacijami, kjer je bil odvzet vzorec izcedne vode. Izvor sulfatov so lahko odpadki iz predelave papirniškega mulja in pepela (Goñi in sod., 2014).

Izmerjeni sta tudi povečani vrednosti za biološko porabo kisika (BPK5) $1300 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$ in kemijsko porabo kisika (KPK) $2220 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$. Posledica obremenitev so majhne vsebnosti kisika, kar pomeni, da so razmere ocenjene kot »pomanjkanje kisika«. Izmerjene vsebnosti amonija v vodi so povečane ($44 \text{ mg l}^{-1} \text{ NH}_4$).

Izcedna voda vsebuje fluorid ($1,35 \text{ mg l}^{-1}$), ki pa ne presega mejne vrednosti določene z Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (2012). Povečane vsebnosti fluoridov so bile ugotovljene tudi v vodnih izlužkih vzorcev sanacijskih materialov (Preglednici 5 in 6). Možni izvor fluorida so odpadni keramični materiali in vsi tisti odpadni materiali, ki nastanejo po uporabi naravnih mineralnih surovin (Ponsot in sod., 2013). Ne glede na mejno vrednost, se izmerjene vsebnosti fluorida ne ocenjujejo za pomembne, saj je fluorid reaktivna snov, ki se v naravnem okolju s kalcijem, magnezijem praviloma veže v težko topne fluoride in tako ne prehaja naprej v okolje. S sestavinami kot so železo in aluminij oziroma kalij in natrij pa tvori kemijsko stabilne komplekse, ki pa so vodotopni.

Izmerjene vsebnosti težkih kovin in arzena so v izcedni vodi na koncentracijskem nivoju spodnje meje določanja (LOQ) (Preglednica 9), kar je pričakovano, saj so že analize vodnih izlužkov pokazale, da so te kovine slabo topne v vodi in s tem tudi slabo mobilne.

Obremenitve izcedne vode z nenevarnimi anorganskimi snovmi ne predstavljajo pomembnega tveganja za širjenje morebitnega onesnaženja v okolje. Na obravnavanem območju prevladuje površinski odtok padavin, le majhen delež se jih infiltrira v tla, kar nakazuje tudi majhen pretok izcedne vode in redukcijske razmere v času vzorčenja. Zaradi tega se morebitno onesnaženje, že na majhnih razdaljah od območja sanacije razredči, ko pride v stik z neobremenjeno talno vodo iz okolice ali s padavinami. Ob tem pa se lahko spremenijo tudi redoksnе razmere, ki narekujejo usodo posameznih onesnaževal v vodi. Velik delež k možnosti širjenja onesnaženja v okolje pa narekujejo tudi procesi naravnih zadrževalnih sposobnosti.

3.3.3. Organske snovi

Iz preglednice 9 je razvidno, da izcedna voda vse-

buje formaldehid ($6,11 \text{ mg l}^{-1}$), ki pa ne presega mejne vrednosti določene z Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (2012), ki znaša 13 mg l^{-1} . Ne glede na mejno vrednost, predstavlja formaldehid zelo mobilno snov (porazdelitveni koeficient na organski C (K_{OC}) znaša 8), za katero se ne pričakuje, da se bo vezala na suspendirane snovi v vodi ali na sediment. Nedvomno pa je pričakovana biorazgradnja, v obsegu do 90 % v dveh tednih (spletni vir, 2019a). V razmerah brezvetrja obstaja možnost, da se prisotnost formaldehida v vodi zazna tudi z vonjem, prag zaznavanja je okrog $0,83 \text{ mg l}^{-1}$ (spletni vir, 2019b). Izmerjena vsebnost fenola merjenega in izraženega kot fenolni indeks, kar pomeni skupino fenolnih snovi, znaša $1,26 \text{ mg l}^{-1}$. Praviloma se fenol oz. fenolne snovi v vodnih tokovih vežejo na neraztopljene, predvsem organske delce in na delce sedimenta, biološka razgradnja tako adsorbiranih fenolnih snovi poteče v nekaj dneh, odvisno od dinamike vodnega toka. Formaldehid in fenol sta tudi naravno prisotna v rastlinah (spletni vir, 2019c). Ocenjujemo, da kljub temu, da gre pri obeh snoveh za mobilno snov, zaradi relativno hitre biološke razgradljivosti nista škodljiva za okolje.

Izmerjene vsebnosti organskih snovi iz sklopov BTEX, PAH, kloriranih derivatov fenola in mineralnih olj (C10-C40) so v izcedni vodi na koncentracijskem nivoju spodnje meje določanja (LOQ).

4 SKLEPI

V prispevku smo opredelili kemično sestavo že vgrajenega sanacijskega materiala, ki je namenjen za tehnično sanacijo opuščene peskokopa, okoliških površinskih tal in izcedne vode. Na osnovi njihove medsebojne povezave smo opredelili potencialni vpliv sanacijskega materiala na bodočo rekultivacijo.

Rezultati študije kažejo, da sanacijski materiali v obliki gradbenih kompozitov, vsebujejo znatne količine kovin (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn), ki pa so v danih razmerah slabo vodotopne, kar nakazujejo tudi izmerjene vrednosti le-teh v vodnih izlužkih in izcedni vodi. V izcedni vodi se kovine pojavljajo na koncentracijskem nivoju spodnje meje določanja (LOQ). Zato ocenjujemo, da kovine niso na voljo za privzem v rastline ali za prenos s tokom v podzemno vodo oz. v okolje.

Obremenitve z nenevarnimi anorganskimi snovmi (Ca, Mg, Na, K, SO_4^{2-} , F) so bile ugotovljene v vodnih izlužkih sanacijskih materialov in izcedni vodi, ki pa ne predstavljajo pomembnega tveganja za prenos v rastline v primerjavi s kovinami. Od organskih snovi pa je določena prisotnost fenola in formaldehida. Ocenjujemo, da zaradi njune relativno velike mobilnosti in hitre

biološke razgradljivosti nista škodljiva za okolje, prav tako pa se pojavljata tudi že v rastlinah kot naravni sestavini.

S preiskavami tal je ugotovljeno, da emisije iz zraka zaradi vgrajevanja sanacijskega materiala ne vplivajo na okoliška površinska tla. Slednja so glede na zakonodajne smernice v dobrem stanju.

Glede na smernice za kovine, ki jih predpisuje Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (1996) sanacijski materiali (gradbeni kompoziti) zaradi potencialnih škodljivih učinkov ali vplivov na človeka in okolje niso primerni za pridelavo rastlin, namenjenih prehrani ljudi ali živali ter za zadrževanje ali filtriranje vode. Ob upoštevanju, da bo po končni tehnični sanaciji površina zapolnjena s plastmi gline in humusa ter zatravljena ali pogozdena (rekultivacija vrhnje plasti), oziroma da bo odtekanje padavin iz saniranega območja pretežno površinsko, vpliv že vgrajenih sanacijskih materialov na rekultivirana tla ni pričakovano. Iz previdnostnega načela je najbolj smiselna rekultivacija z gozdom, predvsem topoli in vrbami, saj imajo globok koreninski sistem in so sposobni črpati težke kovine. V primeru kmetijske rabe bi bilo sprejemljivo pašništvo ali pridelava krme z vzpostavljenim dolgoročnim spremljanjem kakovosti tal in krme. Uporaba rekultiviranih površin za njivsko pridelavo hrane ni priporočljiva, saj bi z gnojenjem, oranjem in namakanjem lahko porušili obstoječe stanje sanacije, ki je izvedena na način, da stabilizira in imobilizira potencialne nevarne snovi (predvsem kovine) v materialih v podlagi.

5 ZAHVALA

Ta študija je bila financirana s strani Občine Moravče. Avtorici se zahvalujeta podjetju Termit d. d. za vse podatke, ki so bili potrebni za izvedbo študije ter Civilni iniciativi Moravče za vse informacije v zvezi z okoliščinami na obravnavanem območju. Prav tako se avtorici zahvaljujeva trem recenzentom za vse konstruktivne pripombe, ki so pomagale k izboljšavi tega prispevka.

6 VIRI

- Atlas okolja, (2019). Agencija RS za okolje. Spletni portal: »http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso«.
- Barbuta, M., Bucur, R. D., Cimpeanu, S. M., Paraschiv, G., & Bucur, D. (2015). *Wastes in Building Materials Industry. Agroecology*, 81.
- Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P. B. S., & Mahapatra, S. C.

- (2009). Potential fly-ash utilization in agriculture: a global review. *Progress in Natural Science*, 19(10), 1173-1186. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.12.006>
- 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>
- Božym, M. (2017). The study of heavy metals leaching from waste foundry sands using a one-step extraction. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 19, p. 02018). EDP Sciences.
- Cerar, S., & Bavec, Š. (2017). *Analiza možnih vplivov sanacijskega materiala na območju nekdanjega odkopa Drtija v lasti družbe Termit d.d. na podzemne vode in površinske vode*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Collivignarelli, C., & Sorlini, S. (2001). Optimisation of industrial wastes reuse as construction materials. *Waste management & research*, 19(6), 539-544. <https://doi.org/10.1177/0734242X0101900610>
- Chuang, K. H., Lu, C. H., Chen, J. C., & Wey, M. Y. (2018). Reuse of bottom ash and fly ash from mechanical-bed and fluidized-bed municipal incinerators in manufacturing lightweight aggregates. *Ceramics International*, 44(11), 12691-12696. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.070>
- Čop, J., Vidrih, M., & Hacin, J. (2009). Influence of cutting regime and fertilizer application on the botanical composition, yield and nutritive value of herbage of wet grasslands in Central Europe. *Grass and Forage Science*, 64(4), 454-465. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00713.x>
- De Matos, A. T., Fontes, M. P. F., Da Costa, L. M., & Martinez, M. A. (2001). Mobility of heavy metals as related to soil chemical and mineralogical characteristics of Brazilian soils. *Environmental pollution*, 111(3), 429-435. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00088-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00088-9)
- Di Lonardo, S., Capuana, M., Arnetoli, M., Gabbrielli, R., & Gonnelli, C. (2011). Exploring the metal phytoremediation potential of three *Populus alba* L. clones using an in vitro screening. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(1), 82-90. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0354-7>
- Elliott, C., & Udovč, A. (2005). Nature conservation and spatial planning in Slovenia: continuity in transition. *Land use policy*, 22(3), 265-276. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.02.002>
- Goñi, S., Frías, M., Vegas, I., & García, R. (2014). Sodium sulphate effect on the mineralogy of ternary blended cements elaborated with activated paper sludge and fly ash. *Construction and Building Materials*, 54, 313-319. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.052>
- Gosar, M., Šajn, R., Bavec, Š., Gaberšek, M., Pezdir, V., & Miler, M. (2019). Geochemical background and threshold for 47 chemical elements in Slovenian topsoil = Geokemično ozadje in zgornja meja naravne variabilnosti 47 kemičnih elementov v zgornji plasti tal Slovenije. *Geologija*, 62(1), 5-57. <https://doi.org/10.5474/geologija.2019.001>
- Grčman, H., Velikonja-Bolta, Š., Vodnik, D., Kos, B., & Leštan, D. (2001). EDTA enhanced heavy metal phytoextraction: metal accumulation, leaching and toxicity. *Plant and Soil*, 235(1), 105-114. <https://doi.org/10.1023/A:1011857303823>
- Grčman, H., & Zupanc, V. (2018). Compensation for soil deg-

- radation after easement of agricultural land for a fixed period. *Geodetski vestnik*, 62(2), 235-248.
- Griessler Bulc, T., & Šajn Slak, A. (2009). Ecoremediations—a new concept in multifunctional ecosystem technologies for environmental protection. *Desalination*, 246(1-3), 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.039>
- John, V. M., & Tinker, J. (1998). Recycling waste as building materials: an Internet database. *Proceedings of the CIB World Building Congress* (pp. 611-616). <https://www.irb-net.de/daten/iconda/CIB8640.pdf>
- Knez, M., & Regent, T. (1993). Sanacija opuščenih gramoznic na Dravskem polju. *Mišičev vodarski dan '93*, 152-160.
- Kočevar, H. 1991a. *Vpliv elektrofiltrskega pepela na okolje* : magistrska naloga, Ljubljana, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 124 str.
- Kočevar, H., 1991b. *Ugotavljanje vsebnosti biosencialnih in toksičnih prvin v pepelu in tleh v okolici deponije elektrofiltrskega pepela, ter ocena vpliva na rastline* : raziskovalna naloga. Ljubljana, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za montanistiko, 35 str.
- Krümmlbein, J., Horn, R., Raab, T., Bens, O., & Hüttel, R. F. (2010). Soil physical parameters of a recently established agricultural recultivation site after brown coal mining in Eastern Germany. *Soil and Tillage Research*, 111(1), 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.006>
- Laner, D., Fellner, J., & Brunner, P. H. (2011). Future landfill emissions and the effect of final cover installation – A case study. *Waste management*, 31(7), 1522-1531. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.02.022>
- Lapajne, V. (1993). *Elaborat o kategorizaciji, klasifikaciji in izračunu rezerv kremenovega peska v ležiščih Moravske terciarne kadunje (Stanje 31. dec. 1992)*. Geološki zavod Ljubljana.
- Marinko, M., Lapajne, T., Radelović, G., & Ruglič, Z. (1975). *Hidrogeološko poročilo o vodonosnosti peskov površinskega kopa »Drtja« Moravče*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana. Mauko Pranjic, A., Mladenović, A., Sever, K., Leban, J., Božič Cerar, A., Cotič, Z., Jurjavčič, P., Šprinzer, M. & Leben, J. (2014). *Promocija uporabe recikliranih gradbenih in industrijskih odpadkov v gradbeništvu*. Poročilo za širšo javnost. Zavod za gradbeništvo Slovenije.
- Mcnaughtan, T. J., & Hoyt, H. E. (1958). *U.S. Patent No. 2,856,381*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mezga, K. (2014). *Natural hydrochemical background and dynamics of groundwater in Slovenia*: PhD. thesis. Nova Gorica, Slovenia, 226 p.
- MKGP. (2016). Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Spletni portal: »<http://rkg.gov.si/GERK/>«.
- Montanarella, L. (2017). Soil sealing and land take as global soil threat: the policy perspective. In: Gardi, C. (Ed.). *Urban expansion, land cover and soil ecosystem services*. Taylor & Francis, 291-295.
- Nwoko, T. p., Oluwasina, O. O., Abata, E., & Ajai, O. O. (2108). Analysis of Heavy Metals in Soil from Residential and Mechanic Dumpsites. *Journal of Environment Protection and Sustainable Development*, 4(1), 7-15.
- Ogundiran, M. B., & Osibanjo, O. (2009). Mobility and speciation of heavy metals in soils impacted by hazardous waste. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 21(2), 59-69. <https://doi.org/10.3184/095422909X449481>
- Pavlin, A., Horvat, B., & Ducman, V. (2018). TERMIT's Circular Economy. In: Bogataj, M., Kravanja, Z., Novak Pintarič, Z. (eds.). *1st International conference on technologies & business models for circular economy : conference proceedings*, 5th – 7th September 2018, Portorož, 89-100.
- Pintar, M., Lobnik, F., & Bohanec, B. (2010). Apel proti pozidavi kmetijskih zemljišč. *Delo 52*. Ljubljana.
- Podlipnik, B. (2019). Uvodnik. *Mineralne surovine*, 15(1), 12-23.
- Pogačnik, M., 2007. *Vplivi odlagališča elektrofiltrskega pepela Termoelektrarne Trbovlje na okolje* : diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo, 85 str.
- Ponsot, I., Falcone, R., & Bernardo, E. (2013). Stabilization of fluorine-containing industrial waste by production of sintered glass-ceramics. *Ceramics International*, 39(6), 6907-6915. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.02.025>
- Pravilnik o pitni vodi (2004). *Uradni list RS*, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17
- Pirrone, N., & Mahaffey, K. R. (2005). Where we stand on mercury pollution and its health effects on regional and global scales. In *Dynamics of Mercury Pollution on Regional and Global Scales*: (pp. 1-21). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-387-24494-8_1
- Rogelj, J., & Karahodžič, M. (2004). *Strokovne hidrogeološke podlage za pridobitev vodnega dovoljenja Vrtina V-1 Ples*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Ramesh, M., Kathic, K. S., Kathikeyan, T., & Kumaravel, A. (2014). Construction materials from industrial wastes – a review of current practices. *International Journal of Environmental Research and Development*, 4(4), 317-324.
- Senegačnik, A., Burger, A. & Štih, J. (2019). Stanje na področju mineralnih surovin v Sloveniji v letu 2018. *Mineralne surovine*, 15(1), 9-10.
- Sharma, K.D., Kumar, P., Gough, L.P., & Sanfilippo, J.R. (2004). Rehabilitation of a lignite mine-disturbed area in the Indian Desert. *Land Degradation & Development*, 15(2), 163-176. <https://doi.org/10.1002/ldr.601>
- Spletni vir, 2019a: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~j5fN2q:3> (citirano: 11.9.2019).
- Spletni vir, 2019b: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/formaldehyde.pdf>; <https://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0293.pdf> (citirano: 11.9.2019)
- Spletni vir, 2019c: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/f?./temp/~41z0OK:3> (citirano: 11.9.2019)
- Spletni vir, 2019d: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/159692#section=Computed-Properties> (citirano: 11.11.2019)
- Škornik Grdina, K. 2016. *Lastnosti tal rekultiviranih zemljišč površinskih kopov: diplomsko delo = Soil characteristics of recultivated mine areas : graduation thesis*, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 2428), Ljubljana, 51 pp.
- 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\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)

- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju izcedne vode iz odlagališč odpadkov (2008). *Uradni list RS*, št. 62/08
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (2012). *Uradni list RS*, št. 64/12, 64/14 in 98/15
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (1996). *Uradni list RS*, št. 68/96 in 41/04 – ZVO-1.
- Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (2008). *Uradni list RS*, št. 34/08 in 61/11.
- Uredba o odlagališčih odpadkov (2014). *Uradni list RS*, št. 10/14, 54/15, 36/16 in 37/18.
- Urbanc, M., & Breg, M. (2005). Gravel plains in urban areas: gravel pits as an element of degraded landscapes. *Acta geographica Slovenica*, 45(2), 35-61. <https://doi.org/10.3986/AGS45202>
- Vajović, S., Hribar, T., Tori, M., Rojšek, M., Galuf, S., Čadež, F., Goleš, N., & Filipič, M. (2016). *Rudarski projekt za izvedbo pri končni sanaciji zahodnega dela odkopa Drtija z zaključnim izvajanjem del pri izkoriščanju kremenovega peska za področje Drtija – zahodni del*. GR Investicije d.o.o., št. projekta: i-19/16-VS. Ljubljana.
- Vrščaj, B. (2010). Varovanje kmetijskih zemljišč in racionalna raba prostora sta osnova trajnostnega razvoja. *Kmečki glas*, 67(4). Ljubljana.
- Zacchini, M., Iori, V., Mugnozza, G. S., Pietrini, F., & Massacci, A. (2011). Cadmium accumulation and tolerance in *Populus nigra* and *Salix alba*. *Biologia Plantarum*, 55(2), 383-386. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0060-4>
- Zakon o gradbenih proizvodih (2013). ZGPro-1, *Uradni list RS*, št. 82/13.
- Zakon o rudarstvu (2010). ZRud-1, *Uradni list RS*, št. 14/14 – uradno prečiščeno besedilo in 61/17 – GZ.
- Zupan, M., Grčman, H., Hodnik, A., Lobnik, F., Kralj, T., Ruprecht, J., Šporar, M., Lapajne, S., Tič, I., Šijanec, V., Gogič, S., Mohorovičič, B., Ilc, R., & Kobal, M. (2008). *Raziskave onesnaženosti tal Slovenije*. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 63 pp.
- Zupanc, V., & Grčman, H. (2016). Hydraulic characteristics of recultivated surface mines. In: Čelkova, A. (ed.). *Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system : Proceedings of peer-reviewed contributions, 23rd International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day, 10th November 2016, Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovak Republic*. Bratislava: Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied., 285-289.