



## HIDROGEOLOŠKI MONITORING ODLAGALIŠČ NA KRASU

ID 105

Barbara ČENČUR CURK<sup>1</sup>, Melhior PREGL<sup>1</sup>  
Metka PETRIČ<sup>2</sup>, Janja KOGOVŠEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje IRGO, Ljubljana.

<sup>2</sup> Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna.

[barbara.cencur@irgo.si](mailto:barbara.cencur@irgo.si), [melhior.pregl@irgo.si](mailto:melhior.pregl@irgo.si)

[kogovsek@zrc-sazu.si](mailto:kogovsek@zrc-sazu.si), [petric@zrc-sazu.si](mailto:petric@zrc-sazu.si)

### POVZETEK

V zadnjih letih je bilo izvedenih več sledilnih poskusov v okolici odlagališč na krasu z namenom določiti smeri in značilnosti toka podzemne vode z območja za določitev vpliva odlagališča ter za določitev učinkovitega programa za monitoring kakovosti podzemnih vod na vplivnem območju odlagališč točk monitoringa. V članku so na kratko opisani rezultati sledilnih poskusov treh odlagališč, in sicer Mala Gora pri Ribnici, Mozelj pri Kočevju ter Sežana. Globina nezasičene cone je na območju odlagališč Mala Gora in Mozelj okrog 100 m, medtem ko je na območju odlagališča Sežana 200 m. Tok skozi nezasičeno cono značilno vpliva na transport onesnažil, zato so se izvedli sledilni poskusi z injiciranjem sledila na površini za določitev vpliva odlagališč na podzemne vode. Sledilni poskusi so bili izvedeni v stanju visokih vod z namenom simuliranja ekstremnih pogojev.

**Ključne besede:** monitoring podzemne vode, odlagališče, kras, sledilni poskusi.

### UVOD

V Sloveniji zakonodaja s področja odpadkov odlagališčem predpisuje monitoring okolja. Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Uradni list RS, št. 32/06) v prilogi 7 določa monitoring odlagališča v obratovalnem času in po zaprtju, in sicer meteorološke meritve, meritve emisij snovi v zrak (emisije plinov, vonjav in prahu) in meritve emisij snovi v vode (padavinske odpadne vode, izcedne vode in podzemne vode). Monitoring podzemne vode se izvaja v skladu s Pravilnikom o obratovalnem monitoringu onesnaževanja podzemne vode (Uradni list RS, št. 49/06), v katerem je program monitoringa razdeljen v (a) hidrogeološki del (razširjanje podzemne vode v prostoru, režim toka itd) in (b) kemijski del (določitev osnovnih in indikativnih parametrov). Za izvajanje monitoringa podzemne vode so potrebni vsaj tri piezometri, in sicer en gorvodno in dva dolvodno. Lokacije so določene v hidrogeološki študiji za posamezno odlagališče odpadkov, ki je hidrogeološki del programa obratovalnega monitoringa podzemnih vod. Okoljsko naravnana zakonodaja je bila sprejeta že leta 2000, zadnje spremembe so bile v letu 2006. Zaradi tega so vsa obstoječa odlagališča in odlagališča v zapiranju morala vzpostaviti okoljski monitoring.

Vet kot 40 % Slovenije sestoji iz karbonatnih kamnin. Glavni vodonosniki v teh kamninah so kraško razpoklinski in razpoklinski v severozahodnem alpskem svetu in v dinarskem svetu (jugozagodni in južni del Slovenije), kjer je več kot 10 000 izvirov (Uhan & Krajnc 2003). Na krasu prevladuje infiltracija v podtalje, medtem ko je površinski odtok zelo podrejen. Nezasičena cona je večinoma relativno debela in nivo podzemne vode je globoko pod površjem. Splošne značilnosti kraške podzemne vode so visoke vrednosti motnosti po intenzivnih padavinah in pojavljanje mikrobiološkega onesaženja. Kraško razpoklinski in razpoklinski vodonosniki predstavljajo 62% dinamičnih zaloh podzemne vode v Sloveniji (Uhan & Krajnc 2003). Kraška podzemne voda je vir pitne vode za 40 % slovenskega prebivalstva (Krajnc & Gacin 2006).

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Uradni list RS, št. 32/06) prepoveduje gradnjo odlagališč na vodovarstvenih območjih, na poplavnih območjih in na zemljiščih z močno razpokano kamninsko podlago, dobro vodno prepustnostjo in nedoločljivimi tokovi podzemne vode. Odtalje odlagališča mora biti vsaj na območju telesa odlagališča geološko in hidrogeološko enotno in take geološke sestave, da zagotavlja varstvo tal ter podzemne in površinske vode pred onesaževanjem. V Uredbi so določene največje povprečne vrednosti vodoprepustnosti za določeno vrsto odpadka.

V preteklosti ni bili strukturno geoloških kriterijev za izbor lokacije odlagališča. Odlagališča niso bila tesnjena, temveč se je odlaganje pričelo po manjših izravnalnih delih. Zaradi tega je na krasu več odlagališč. Eden izmed razlogov je tudi veliko razširjanje karbonatnih kamnin. Še večji problem pa predstavljajo nezatesnjena odlagališča. V kraško razpoklinski kamnini zaradi njene heterogenosti kanale in večje razpoke zelo težko zajamemo z vrtinami, zato je lahko interpretacija vrtin (interpolacija in ekstrapolacija) pogosto nepravilna in prikaže netočno situacijo podzemnih struktur. Tako bi za pravilno predstavbo o razporeditvi struktur potrebovali zelo veliko vrtin. Benson in Yuhr (1993) sta naredila statistične izračune in prišla do dejstva, da je za 90% verjetnost detekcije razpok potrebnih od 100 do 1000 vrtin in za detekcijo jame, ki zavzema 10% proučevanega ozemlja potrebnih 10 vrtin. Zaradi tega moramo poleg tradicionalnih metod uporabiti še druge metode, kot so npr. geofizikalne metode in sledilni poskusi.

Hidrogeološka poročila za odlagališča na krasu so pokazala, da je potrebno izvajati monitoring izvirov (Pregl et al. 2004a, b, c). V zadnjih letih je bilo izvedenih več sledilnih poskusov v okolici odlagališč na krasu z namenom določiti smeri in značilnosti toka podzemne vode z območja za določitev vpliva odlagališča ter za določitev učinkovitega programa za monitoring kakovosti podzemnih vod na vplivnem območju odlagališč točk monitoringa. V članku so na kratko opisani rezultati sledilnih poskusov treh odlagališč, in sicer Mala Gora pri Ribnici, Mozelj pri Kočevju ter Sežana. Globina nezasičene cone je na območju odlagališč Mala Gora in Mozelj okrog 100 m, medtem ko je na območju odlagališča Sežana 200 m. Tok skozi nezasičeno cono značilno vpliva na transport onesažil, zato so se izvedli sledilni poskusi z injiciranjem sledila na površini za določitev vpliva odlagališč na podzemne vode. Sledilni poskusi so bili izvedeni v stanju visokih vod z namenom simuliranja ekstremnih pogojev.

## **MALA GORA (RIBNICA) LANDFILL**

### **Hidrogeološke razmere**

Širše območje odlagališča je del kraške planote Male gore in Suhe Krajine, ki se na severovzhodni strani dviga nad dolino reke Krke, na jugozahodni pa nad Ribniško polje. Gradijo jo dobro prepustne jurske in kredne karbonatne kamnine (Sl. 1). Voda se pretaka podzemno proti številnim izvirov na obrobju. Največji so izviri v dolini Krke z njenima glavnima izvirov Krško jamo in Poltarico (Sl. 1) s skupnim srednjim pretokom 8,3 m<sup>3</sup>/s. Izvir Globočec s srednjim pretokom med 1 in 1,5 m<sup>3</sup>/s je zajet za vodooskrbo Suhe Krajine. Južno od Žužemberka pri naselju Dvor so še štiri večji izviri. Največji je Tominčev studenec s srednjim pretokom okrog 1,6 m<sup>3</sup>/s. Poleg njega je prav tako stalen Debeljakov izvir, Javornikov izvir in Šica pri Dvoru pa sta aktivna samo ob visokem vodostaju. Na suhem kraškem polju Dobropolje sta izvira iz Podpeške in Kompoljske jame aktivna po močnejšem deževju, drugače pa je stalen vodni tok v obeh jamah okrog 7 m pod dnom polja. Na južnem robu Radenskega polja izvira Šica pri Mali Račni, ponika pa na vzhodnem robu polja v Zatočno jamo.

### **Sledilni poskus**

Injicirno mesto je bilo določeno na podlagi poskusov požiranja vode v razpokah v okolici odlagališča. Sledilo (raztopino 7 kg uranina) smo injicirali po večdnevem dežju 14. oktobra 2004 v dobro prepustno razpoko na površju na obrobju odlagališča in ga zalili z 9 m<sup>3</sup> vode iz cisterne. Zaradi intenzivnih padavin v naslednjih dneh so pretoki izvirov zelo narasli in dosegli zelo visok vodostaj. Vzorčenje smo organizirali na 11 lokacijah (izviri, vodne jame in vodotoki), pogostnost zajemanja na njih pa je bila različna.

### **Rezultati sledilnega poskusa**

Sledilo se je pojavilo v vseh vzorčevalnih mestih z izjemo vodotoka Rinža (Sl. 1). Glavna smer toka je proti izvorom v dolini Krke pri Dvoru (Šica, Javornikov izvir, Tominčev studenec and Debenjakov izvir), medtem ko je sekundarna smer toka v visokih vodah proti izviru Globočec (Sl. 1)

Uranin se je že po 5 dneh in v najvišjih koncentracijah do 1,18 ppb pojavil v Javornikovem izviru in Šici pri Dvoru, hkrati pa tudi v Tominčevem studencu in nekoliko kasneje v Debeljakovem izviru. Velike oscilacije koncentracije sledila v Podpeški jami kažejo na prepletanju dotokov iz različnih delov zaledja. Potrjena je bila tudi povezava s Kompoljsko jamo, vendar je bilo vzorcev premalo za bolj natančno analizo. Dokazano je bilo še odtekanje proti obema izvirovoma Krke in Šici pri Mali Račni. Na vseh izviri so se koncentracije uranina povečale po vsakem močnejšem padavinskem dogodku, ki je spiral zaostalo sledilo iz vadozne cone in kraških kanalov. Relativno visoke vrednosti so bile izmerjene v oktobru 2005 skoraj eno leto po injiciranju in podobne pojave je bilo možno

pričakovati tudi v naslednjem obdobju. Posebno pozornost smo posvetili izviru Globočec, ki je zajet za vodooskrbo. Izmerjene koncentracije sledila so bile le malo nad mejo detekcije, vendar je bila oblika signala podobna kot pri drugih izvirih. Maksimalna vrednost je bila dosežena šele v oktobru 2005. Sklepamo lahko, da izvir Globočec napajajo predvsem podzemne vode iz drugih delov kraškega vodonosnika, vendar ob visokem vodostaju proti njemu odtekajo tudi vode z območja odlagališča.

Ocena deleža povrnjenega sledila je zaradi slabše kakovosti podatkov o pretokih le približna. V času od začetka poskusa v oktobru 2004 do konca februarja 2005 je skozi izvire iztekla približno polovica injiciranega sledila, od tega skozi Globočec okrog 3 %.

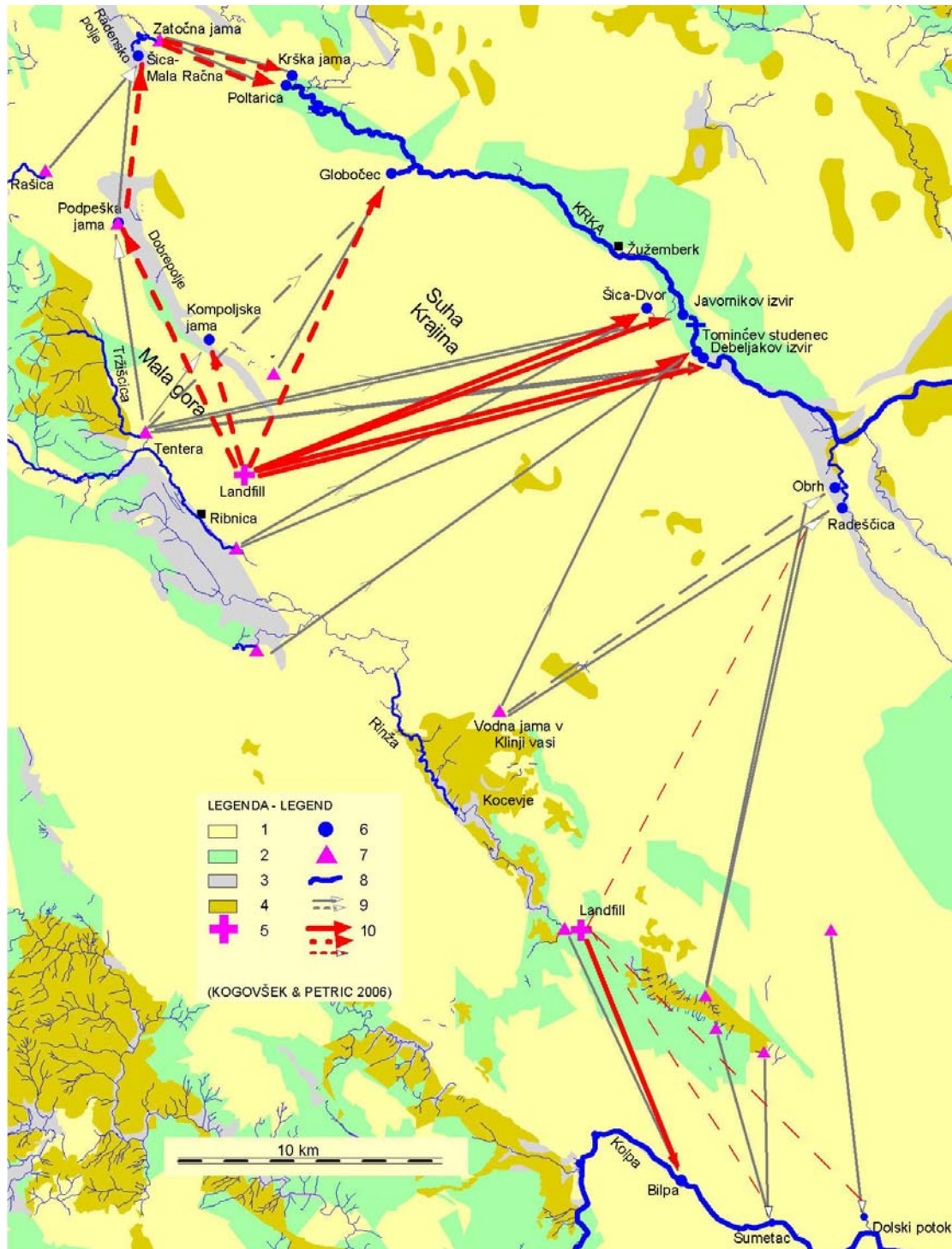
Izračunane navidezne dominantne hitrosti toka okrog 4 cm/s (Tabela 1) so primerljive z rezultati sledenja Tržiščice v aprilu 2000 (Kogovšek & Petrič 2002, Kogovšek & Petrič 2004) ob srednjem vodostaju. Sklepamo lahko, da v namočenih obdobjih z intenzivnimi padavinami infiltrirana voda in v njej raztopljene škodljive snovi zelo hitro preidejo vadozno cono in odtekajo po kraških kanalih naprej proti izviro. To kaže na zelo ranljiv vodonosnik in resno nevarnost njegovega onesnaženja s kontaminanti z odlagališča. (Kogovšek & Petrič 2006)

**Tabela 1.:** Navidezne dominantne hitrosti podzemne vode.

Merilno mesto	Razlika v višini (m)	Razdalja (m)	tdom (h)	vdom (cm/s)
Tominčev studenec	395	17800	122,5	4,0
Debeljakov izvir	397	18045	142	3,5
Javornikov izvir	390	17710	143,5	3,4
Šica-Dvor	370	16515		3,4
Globočec	322	12740	124,5	2,9

### Izbrane točke monitoringa podzemne vode

Na osnovi zbranih rezultatov je bil izdelan program monitoringa. Kot glavni točki opazovanja sta bila predlagana izvira Tominčev studenec in Globočec, dodatno pa še Javornikov izvir, saj se je vpliv z odlagališča tam pokazal najbolj izrazito (značilno višje koncentracije sledila kot v drugih izvirih). Čas in frekvenco vzorčenja je potrebno prilagoditi hidrološkim razmeram, saj lahko signal onesnaženja pričakujemo po močnejših padavinah.



**Slika 1.:** Hidrogeološka karta širšega območja odlagališč Mala gora pri Ribnici in Mozelj pri Kočevju z rezultati sledilnih poskusov (Legenda: 1. kraški vodonosnik, 2. razpoklinski vodonosnik, 3. medzrnski vodonosnik, 4. zelo slabo prepustne kamnine, 5. odlagališče, 6. izvir, točka zajemanja vzorcev, 7. ponor, točka injiciranja sledila, 8. površinski tok, 9. glavna in stranska smer pretakanja, ugotovljena pri starejših sledenjih, 10. s sledenjem na odlagališču dokazana glavna, stranska ali nezanesljiva smer podzemnega pretakanja.

## **KOČEVJE LANDFILL**

### **Hidrogeološke razmere**

Vzhodno od Kočevja gradijo območje med rekama Krko in Kolpo pretežno karbonatne kamnine triasne, jurske in kredne starosti (Sl. 1). Le v ozkem pasu jugovzhodno od odlagališča izdanjajo permski klastiti, glinovci s peščenjaki in dolomiti. Karbonatne kamnine so večinoma dobro zakrasele in vode v njih se pretakajo pretežno podzemno proti Krki in Kolpi oz. njunim pritokom. V zgornjem toku Kolpe je na levem bregu več izvirov, od katerih pa mnogi ob nizkem vodostaju presahnejo ali imajo neznatne pretoke. Med večje in stalne pa štejemo izvire Kotnica, Bilpa, Šumetac in Dolski potok (po toku navzdol). Najpomembnejši je izvir Bilpa. Eden od izvirov Dolskega potoka je bil zajet za vodooskrbo, a so ga zaradi slabše kvalitete nadomestili z vrtino, ki so jo izvrtali ob Kolpi približno 1 km po toku navzgor. Pretoki se gibljejo od 1 do 4 m<sup>3</sup>/s. Gorvodno od Bilpe je Kobilna jama, iz katere izteka voda samo ob zelo visokih vodostajih. Najvišje ob Kolpi pa je izvir Kotnica.

Odlagališče komunalnih odpadkov Mozelj leži na krednih apnencih, le nekaj deset metrov severno od stika apnencev s triasnimi dolomiti. Apnenci so zakraseli in razvite so različne površinske kraške oblike. Karbonatne kamnine so prekrte s tanko, nezvezno plastjo tal, ki ima le majhno varovalno funkcijo. Tudi v dolomitu so razvite številne vrtače, le nekaj sto metrov proti vzhodu pa so tudi zadnji ponori potoka Rinže. Ti so aktivni le ob visokih vodostajih, večinoma pa Rinža vceloti ponikne že prej. V primeru odlagališča Mozelj je debelina nezasičene cone glede na dve meritvi v vrtinah (Pregl et al. 2004b) ocenjena na okrog 30 do 70 m.

### **Sledilni poskus**

Da bi bolj podrobno spoznali razmere na samem območju odlagališča in povezave s tremi vrtinami na obrobju, smo izbrali dve točki injiciranja in uporabili dve različni fluorescenčni sledili: uranin in eozin. Odlagališče leži na širšem območju razvodnice med porečjem Kolpe in Krke. Čeprav smo na osnovi predhodnih raziskav in znanih hidrogeoloških razmer predpostavili primarno smer podzemnega pretakanja proti izvirov ob Kolpi, pa smo upoštevali tudi možnost odtekanja proti izvirov Radešice v porečju Krke.

5. aprila 2006 smo v točki 1 na jugovzhodnem obrobju odlagališča injicirali raztopino 18 kg eozina in jo zalili s 5 m<sup>3</sup> vode iz gasilske cisterne. Istočasno smo v točko 2 na severnem obrobju injicirali raztopino 18 kg uranina in jo tudi sprali z eno cisterno vode (5 m<sup>3</sup>). Kot glavna zajemna mesta so bili izbrani: Vrtine Mo-1, Mo-2 in Mo-3 okrog odlagališča; izviri Bilpa, Dolski potok in Šumetac ob Kolpi ter izvir Radešica pri Podturnu v porečju Krke. Občasno se je vršilo kontrolno preverjanje v izvirov: izvir Kotnice gorvodno od Bilpe ter iztoke iz Mihove jame; izvir iz Kobilne jame ob Kolpi; izvir Obrh pri Radešici.

### Rezultati sledilnega poskusa

V vrtini Mo-1 bi bil možen pojav uranina, vendar so se vrednosti ves čas vzorčenj gibale na meji detekcije. V vrtini Mo-2 nismo zabeležili opaznejših povišanj uranina, le minimalna nihanja nekoliko nad mejo detekcije. Koncentracija eozina je bila nekoliko povečana že 5. aprila 2006 ob 17.00 (0,22 ppb), kar pripisujemo vplivu spiranja z vodo iz cisterne po injiciranju. V vrtini Mo-3 je bil uranin prisoten že v vzorcu 5. aprila 2006 ob 15.30 (0,11 ppb) in 17.40 (0,08ppb), nato pa je njegova koncentracija postopno upadala. Sklepamo, da je ta njegov pojav vezan na spiranje injiciranega sledila s 5 m<sup>3</sup> vode iz cisterne. Tak način pretakanja pa je omogočila tudi predhodno dobro namočena vadozna cona. Izračunana hitrost pretakanja uranina je 93 m/h oz. 2,6 cm/s, kar je primerljivo s pretakanjem v enakih razmerah skozi prepustnejše prevodnike vadozne cone na območju Postojnske jame (Kogovšek 1997). V Mo-3 se je pojavil tudi eozin, najizraziteje v vzorcu 7. aprila 2006 ob 8.35 (0,68 ppb) po predhodnih padavinah (22 mm). Vendar pa po dobrih petih urah ni bil več prisoten.

Očitno je večina injiciranih sledil odtekla mimo vrtin, delno pa sta se sledili pojavili tudi v vrtinah. Manj izrazit pojav sledil v Mo-2 in Mo-3 je bil najprej vezan na spiranje sledil z vodo v času injiciranja. Kasnejši bolj izrazit, a kratkotrajen pojav eozina pa je bil posledica spiranja zaostalega eozina v vadozni coni z dežjem, ki je sledil naslednji dan. Spremljanje sledil v vrtinah je nakazalo smer podzemnega odtekanja z območja odlagališča, zato smo pričakovali pojav obeh sledil predvsem v izviri ob Kolpi, predvsem, glede na predhodna starejša sledenja, v izviru Bilpa.

Najizrazitejši in najhitrejši pojav obeh injiciranih sledil je bil v izviru Bilpe. Hitrosti pretakanja za eozin so praktično enake, oz. malenkost manjše (Tab. 2 in 3). V Dolskem potoku in izviru Šumetac so se pokazala minimalna povišanja uranina po vsakem dežju, vendar se je maksimalna koncentracija pojavila šele čez dva meseca. Enako velja za eozin v Dolskem potoku, le da se je maksimalna koncentracija pojavila že po enem mesecu. V Kotnici, Radeščici in Obrhu sta se sledili pojavili po dveh mesecih, v zadnjih dveh izviri v zelo majhnih koncentracijah.

**Tabela 2.:** Časi pojavljanja uranina v izviri in njegove hitrosti pretakanja v izviri.

Izvir	t <sub>min</sub>	t <sub>dom</sub>	V <sub>max</sub>		V <sub>dom</sub>	
			m/h	cm/s	m/h	cm/s
Bilpa	168 h	213h	61,4	1,7	48,4	1,35
Dolski potok		56 dni			9,9	0,3
Šumetac		56 dni			11,4	0,3
Radešica	56 dni		13,9	0,4		
Vrtina Mo-2	-		-	-		
Vrtina Mo-3	5 h		93	2,6		

**Tabela 3.:** Časi pojavljanja eozina in hitrosti pretakanja eozina v izvire.

Izvir	$t_{\min}$	$t_{\text{dom}}$	$V_{\max}$		$V_{\text{dom}}$	
			m/h	cm/s	m/h	cm/s
Bilpa	173 h	218h	58,9	1,64	46,8	1,3
Dolski potok		26 dni			24	0,68
Radeščica	56 dni		14,8	0,4		
Vrtina Mo-2	6,5 h	28,5 h	40	1,1	9	0,25
Vrtina Mo-3	46 h		9,8	0,27		

### Izbrane točke monitoringa podzemne vode

V vrtinah za monitoring sicer lahko delno zaznavamo vplive onesnaženja z odlagališča, vendar pa v njih ni mogoče opazovati glavnih drenažnih poti z območja odlagališča in zato niso povsem reprezentativne. Vseeno je smiselno v vrtinah nadaljevati z monitoringom, predvsem zaradi odsotnosti vplivov drugih virov onesnaževanja (to nakazujejo kemične analize in primerjave z vrtino Mo-1, ki je vsaj ob opazovanih hidroloških razmerah gorvodno od odlagališča).

Sledilni poskus je pokazal, da je izvir Bilpe najbolj primerna točka za spremljanje vplivov odlagališča Mozelj na podzemne kraške vode. Problem pri interpretaciji rezultatov monitoringa pa se lahko pojavi zaradi dejstva, da se proti Bilpi podzemno steka tudi ponikalnica Rinža, ki je obremenjena z različnimi viri onesnaženja na območju Kočevja. Smiselna se zato zdi primerjava z rezultati monitoringa v vrtinah in spremljanje pojavljanja ugotovljenih značilnih parametrov.

## SEŽANA

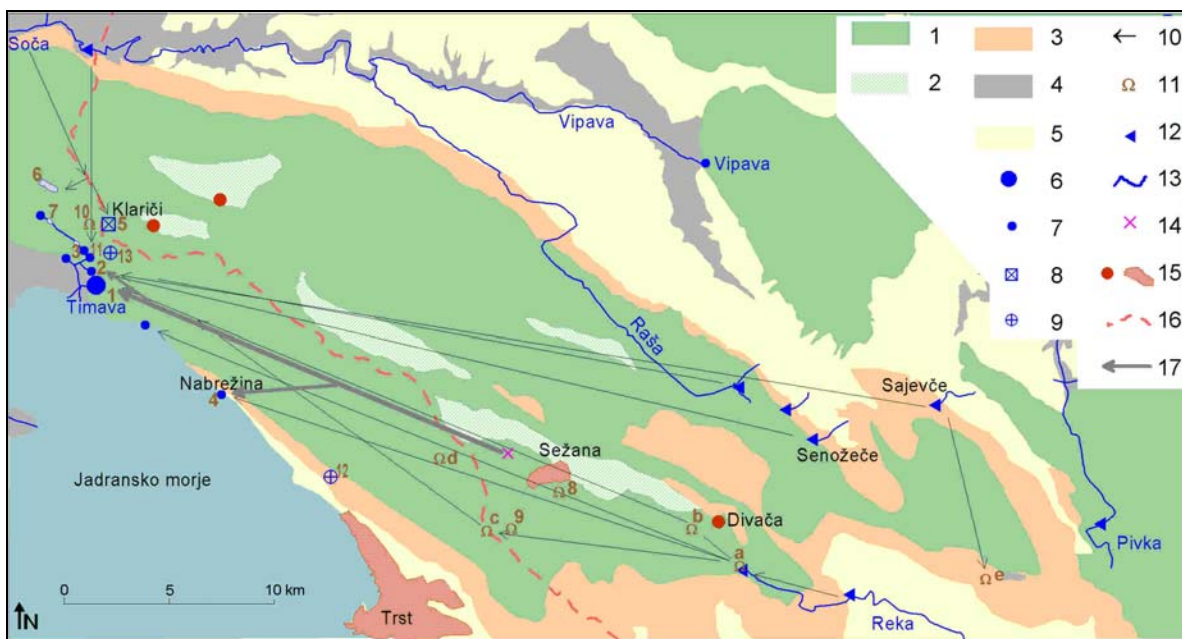
### Hidrogeološke razmere

Območje deponije Sežana je v širšem smislu del kraškega vodonosnika Krasa (Sl. 2). Njegov osrednji del je zgrajen pretežno iz zakraselih in dobro prepustnih krednih apnencev in deloma dolomitov v debelini več kot 1000 m. Dolomitni skladi so lahko nekoliko slabše prepustni in imajo ponekod vlogo relativne hidrogeološke pregrade. Na severu, jugu in vzhodu prehajajo kredne kamnine v terciarni lapornati in ploščasti apnenec, ki je tudi razpokan in zakrasel. Karbonatni masiv obdaja zelo slabo prepusten eocenski fliš, ki ima pomembno hidrogeološko funkcijo neprepustne pregrade. Kjer je fliš prekinjen, se pojavljajo številni kraški izviri v Tržaškem zalivu. Največji med njimi so izviri Timave. Po podatkih za obdobje 1972-1983 (Civita et al. 1995) se njihovi pretoki gibljejo med 9,1 m<sup>3</sup>/s in 127 m<sup>3</sup>/s, srednji pretok pa je 30,2 m<sup>3</sup>/s. Številni manjši izviri so tudi globlje v notranjosti celine na nadmorskih višinah med 0,4 in 12 m, posebej zanimivi pa so podmorski izviri vzdolž obale proti Trstu. Najpomembnejša od teh je Brojnica pri Nabrežini, ki je bila od leta 1857 do leta 1977 zajeta za vodooskrbo. Skupni srednji pretok vseh teh manjših izvirov je ocenjen na okrog 6 m<sup>3</sup>/s. Na severozahodni strani pa je kraški



vodonosnik v stiku z medzrnskim vodonosnikom aluvialnih nanosov vzdolž rek Soče in Vipave.

Masiv Krasa je presekan tudi s številnimi prelomi. Prevladujejo smeri vzhod-zahod, ki lahko prehajajo v dinarske (SZ-JV) in ponekod prečno-dinarske smeri (SV-JZ). Prav ob teh zadnjih so izviri Timave ter nekatere kraške jame s stalnim vodnim tokom. Pri raziskavah za vodooskrbo Krasa se je pokazalo, da se proti območju Klaričev, kjer je črpališče za oskrbo kraških občin s pitno vodo, vode primarno stekajo iz smeri sever-severozahod in razpoke v tej smeri so ocenili kot najbolj perspektivne za lociranje vodnjakov (Krivic 1980). Detajlno strukturno-litološko kartiranje okrog odlagališča je pokazalo, da na območju deponije prevladujejo porušene in razpoklinske cone, ki so zelo ugodne za vertikalno pretakanje vode (Kogovšek et al. 1996). Debelina nezasičene cone pod odlagališčem se ob različnih vodostajih giblje med 185 in 255 m.



**Slika 2.:** Hidrogeološka karta Krasa z rezultati starejših sledenj, označenimi lokacijami injiciranja in vzorčenja pri poskusu v letu 2005 in do sedaj zbranimi rezultati tega sledenja (Legenda: 1. dobro prepusten kredni apnenec, 2. nekoliko slabše prepusten kredni dolomit, 3. prepustni terciarni apneneci in dolomiti, 4. medzrnski vodonosnik, 5. zelo slabo prepusten eocenski fliš, 6. izvir Timave, 7. izvir, 8. črpališče, 9. piezometer, 10. s starejšim sledilnim poskusom dokazana podzemna vodna zveza, 11. kraška jama (a. Škocjanske jame, b. Kačna jama, c. Labodnica, d. Lazzaro Jerko, e. Gabranca), 12. ponikalnica, 13. površinski tok, 14. odlagališče Sežana, 15. naselje, 16. državna meja, 17. do sedaj dokazane podzemne vodne zveze pri sledenju 2005).

Mesta zajemanja vzorcev (številke v rjavi barvi): 1. izviri Timave, 2. izvir Sardoč, 3. izvir Moščenice-N, 4. Brojnica pri Nabrežini, 5. črpališče Klariči, 6. Doberdobsko jezero, 7. Laško jezero, 8. Jama v Kanjaducah 1, 9. Brezno v Stršinkni dolini, 10. Jama pri Komarjih, 11. izvir Moščenice-S, 12. piezometer P1, 13. piezometer S1.

## Sledilni poskus

Injicirno mesto je bilo določeno na podlagi poskusov požiranja vode. 20. aprila 2005 smo v razpoko sistema škrapelj na jugozahodnem obrobju odlagališča injicirali raztopino 38 kg uranina v 400 l vode in jo sprali z eno cisterno vode ( $12 \text{ m}^3$ ).

Kot glavna zajemna mesta so bili izbrani: izvira Timava 2 in Sardoč, Brojnica pri Nabrežini, črpališče Klariči, Moščenice-N. Kot občasna zajemna mesta za kontrolno preverjanje prisotnosti uranina so bili izbrani: izvira Timava 1 in Timava 3 ter izvira ob Doberdobskem in Laškem jezeru (Lago di Pietrarossa). Pri organizaciji zajemanja v Italiji so nam pomagala raziskovalci z Univerze v Trstu.

## Rezultati sledilnega poskusa

Prve sledi uranina so se v izviru Timave 2 pojavile po 12 dneh, maksimalna vrednost pa po 23 dneh (0,48 ppb). Maksimalna navidezna hitrost pretakanja v izvir Timave tako znaša 76 m/h, navidezna dominantna hitrost (glede na prvi sledilni val) pa 39 m/h. Mesec dni po injiciranju se je glavni val sledila pojavil v Brojnici pri Nabrežini (0,14 ppb) in izviru Sardoč, kjer je bila največja vsebnost uranina zelo majhna (0,011 ppb). Navidezna maksimalna hitrost pretakanja v Brojnico pri Nabrežini znaša 20 m/h, navidezna dominantna hitrost pa 19 m/h. V črpališču Klariči je bila vsebnost uranina pretežno pod mejo detekcije, le štirikrat pa smo zabeležili enkratna povečanja koncentracije uranina, vendar le do 0,012 ppb, kar ne zadošča za potrditev povezave. V ostalih izvirih, kjer smo zajeli vzorcev vode, se v času opazovanja sledilo ni pojavilo, saj so bile izmerjene koncentracije stalno pod mejo detekcije (0,005 ppb).

V piezometru P1, ki je lociran približno 4 km zahodno od jame Lazzaro Jerko, ter piezometru S1 in Jami pri Komarjih v bližini črpališča Klariči so rezultati so pokazali, da se v obdobju opazovanja med 21. aprilom in 27. majem 2005 uranin na teh mestih ni pojavil. Za vse tri točke torej lahko sklepamo, da so odmaknjeno od glavnih podzemnih poti pretakanja vode skozi vodonosnik krasa od jugovzhoda proti severozahodu do izvirov Timave.

## Izbrane točke monitoringa podzemne vode

Opravljeno sledenje je pokazalo, da je glavna smer odtekanja podzemne vode z območja odlagališča Sežana proti izvirom Timave, nekoliko slabša pa je povezava z Brojnico pri Nabrežini. To sta torej točki, v katerih lahko zanesljivo spremljamo tudi vodo, ki odteka z območja odlagališča Sežana skozi kraško podzemlje. Problem pri interpretaciji rezultatov monitoringa pa se lahko pojavi zaradi dejstva, da imata oba izvira zelo veliko in še premalo raziskano zaledje, zato pa tudi večje število možnih virov onesnaževanja.

V bližnjih kraških jamah je zaradi nevarnosti ob visokih vodah vzorčenje možno le v suhih obdobjih, ko so koncentracije nizke, zato niso primerne za vzorčevanje.

Za črpališče Klariči povezava z odlagališčem Sežana ni bila ugotovljena. V primeru, če bi ob nadaljnjih raziskavah zasledili prisotnost uranina, bi šlo le za zelo šibko, stransko povezavo z velikimi razredčenji na poti podzemnega pretakanja in zato majhnim potencialnim vplivom. Ker pa so Klariči izjemno pomemben vodni vir, je smiselno izvajanje načrtovanega monitoringa na tej lokaciji.

## ZAKLJUČKI

Kraški vodonosniki so zaradi strukturnih značilnosti zelo kompleksni, zato za vzorčevanje kraške podzemne vode karst opazovalne vrtine v večini primerov niso ustrezne, kar dokazuje tudi sledilni poskus pri odlagališču Mozelj. Sledilni poskusi so pokazali, da so izviri ustrezna vzorčevalna mesta za ugotavljanje vplivov odlagališč na podzemne vode. Pri tem je zelo pomembno, da se načrt monitoringa prilagodi hidrološkim razmeram, saj lahko bolj izrazit signal onesnaženja pričakujemo v bolj namočenih obdobjih po močnejših padavinah. Ob intenzivnih padavinah pride do spiranja kontaminantov iz odlagališča, pa tudi do iztiskanja že v prejšnjih dogodkih uskladiščene onesnažene vode v nezasičeni coni pod odlagališčem proti freatični (zasičeni) coni, po kateri pa je potem prenos proti izvirov zelo hiter. Ker se razmere v krasu zelo hitro spreminjajo, je bolj smiseln odvzem več vzorcev v času vodnega vala od začetka naraščanja pretoka preko viška in ponovnega padanja proti začetnemu stanju. Občasna, slučajna vzorčenja ne pokažejo prave slike kakovosti. Smiselno bi bilo torej opazovanje izbranega spomladanskega in jesenskega vodnega vala. Zaradi navedenega ne moremo na splošno predpisati dva vzorca letno, temveč je vzorčenje potrebno izvesti v primernem času, za kar pa je potrebna sprotna odločitev strokovnjaka glede na hidrološke razmere.

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (Uradni list RS, št. 32/06) prepoveduje gradnjo odlagališč na zelo prepustem (kraškem) ozemlju, kar je iz stališča varovanja kraških vodnih virov pravilno. Po drugi strani pa 40 % slovenskega ozemlja pokrivajo karbonatne kamnine, kar predstavlja pomemben socio-ekonomski vidik, saj je odvoz odpadkov na oddaljena odlagališča drag. Za ta območja je potrebna skrbno izbrana lokacija odlagališča po možnosti obrobju na manj prepustnih kamninah in izjemoma na prepustnih kamninah, toda zgrajena v skladu z vsemi okljevjarstvenimi standardi in z dodatno zaščitno plastjo pri tesnenju dna. Predvsem pa je potrebno lokalno prebivalstvo izobraziti in čim več odpadkov ločeno zbrati in s tem zmanjšati ostanek odpadkov. Postavlja se tudi vprašanje možnosti sežiganja odpadkov.

## REFERENCE

- (1) Benson, R.C. & L. Yuhr 1993: Spatial sampling considerations and their applications to characterizing fractured rock and karst systems.- *Environmental Geology*, **22**: 296-307, Springer-Verlag.

- (2) Civita, M., Cucchi, F., Garavoglia, S., Maranzana, F., Vigna, B. 1995: The Timavo hydrogeologic system: an important reservoir of supplementary water resources to be reclaimed and protected.- *Acta carsologica*, **24**: 169-186, Ljubljana.
- (3) Kogovšek, J., Knez, M., Petrič, M., Slabe, T., Šebela, S. 1996: Geološke raziskave o vplivu izcednih voda iz odlagališča komunalnih odpadkov Sežana.- Tipkano poročilo, IZRK ZRC SAZU, 16 str., Postojna.
- (4) Kogovšek, J. & M. Petrič, 2002: Podzemno raztekanje vode iz ponora Tržiščice (JV Slovenija).- *Acta carsologica*, **31/2**: 75-91, Ljubljana.
- (5) Kogovšek, J. & M. Petrič, 2004: Advantages of longer-term tracing -- three case studies from Slovenia.- *Environmental Geology*, **47**: 76-83, Berlin.
- (6) Kogovšek, J. & M. Petrič & M. Pregl 2005: Preparation of the water quality plan for monitoring the impact area of the Mala gora landfill near Ribnica (SE Slovenia).- In:
- (7) Stevanović, Z. & P.T. Milanović (Eds), *Water resources and environmental problems in karst* : proceedings of the International conference and field seminars, Belgrade and Kotor, 13-19 September 2005. Institute of Hydrogeology, Faculty of Mining and Geology, 169-174, Belgrade.
- (8) Kogovšek, J & M. Petrič 2006: Tracer test on the Mala gora landfill near Ribnica in south-eastern Slovenia.- *Acta Carsologica*, **35/2**: 91-101.
- (9) Kranjc, A., 1981: Prispevek k poznavanju razvoja krasa v Ribniški Mali gori.- *Acta carsologica*, **9**, 31-85, Ljubljana.
- (10) Krajnc M. & M. Gacin 2006: Legislative aspect of karst aquifer protection in Slovenia.- *All about karst & water:decision making in a sensitive environment*, Proceedings, international conference Vienna, 09.-11.10.2006, p. 107-111.
- (11) Krivic, P. 1980: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah z osnutkom odloka o varstvenih pasovih vodnih virov pri Brestovici na Krasu.- Elaborat, GZL, Ljubljana.
- (12) Pregl, M., Čenčur Curk, B. 2004a: Hidrogeološko poročilo območja predvidenega vpliva deponije Mala Gora in možnosti izvajanja monitoringa onesnaženja podzemnih vod : ip 84/2004. Ljubljana: IRGO, februar 2004. 22p.
- (13) Pregl, M., Tancar, M., Čenčur Curk, B.2004b: Hidrogeološko poročilo območja predvidenega vpliva deponije Mozelj in možnosti izvajanja monitoringa onesnaženja podzemnih vod : ip 313/2004. Ljubljana: IRGO, avgust 2004. 31p.
- (14) Pregl, M., Čenčur Curk, B., Tancar, M.2004c: Hidrogeološko poročilo območja predvidenega vpliva deponije Sežana in možnosti izvajanja monitoringa podzemnih voda : št.: ip 277/2004. Ljubljana: IRGO, julij 2004.
- (15) Uhan J., Krajnc M., 2003: Podzemne vode, v: *Vodno bogastvo Slovenije*.- Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, p.55-65. Ljubljana.