

11)

V skladu s 24. členom Statuta Občine Gorje (Uradno glasilo slovenskih občin, št. 13/17) vam v prilogi pošiljam v obravnavo in sprejem:

POROČILO O IZVEDBI SLEDILNEGA POIZKUSA NA ŠIRŠEM OBMOČJU ZAJETJA OVČJA JAMA V DOLINI REKE RADOVNE

Kot predstavnik predlagatelja bo na seji sveta sodeloval dr. Mihael Brenčič, univ. dipl. inž. geol., profesor na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani.

Predlog sklepa:

1. Občinski svet Občine Gorje se je seznanil s Poročilom o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčje jame v dolini reke Radovne.

Peter Torkar
Župan Občine Gorje



Univerza
v Ljubljani

Naravoslovnotehniška
fakulteta



Katedra za aplikativno
geologijo
Oddelek za geologijo

Aškerčeva cesta 12
1000 Ljubljana
telefon: 01 470 46 32
faks: 01 470 45 60
p.p.312
e-mail:
spela.turic@ntf.uni-lj.si

POROČILO O IZVEDBI SLEDILNEGA POIZKUSA NA ŠIRŠEM OBMOČJU ZAJETJA OVČJA JAMA V DOLINI REKE RADOVNE



Datum: 10.10.2018
Nosilec naloge: dr. Mihael Brenčič, univ.dipl.inž, geol.
Predstojnik OG prof. dr. Nina Zupančič, univ.dipl.inž, geol.



Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne

Naloga Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne

Kraj Perniki, Krnica, Radovna, Mežakla

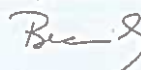
Naročnik Infrastruktura Bled d.o.o.

Datum 10.10.2018

Poročilo izdelali:

Oddelek za geologijo
Naravoslovnotehniška fakulteta
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva cesta 12
Ljubljana

vodja naloge:
dr. Mihael Brenčič, univ. dipl. inž. geol.



Ines Vidmar, mag. inž. geol.



Podizvajalec:

Inštitut za raziskovanje krasa
Znanstvenoraziskovalni center SAZU
Titov trg 2
6230 Postojna

dr. Metka Petrič, univ. dipl. inž. geol.
dr. Nataša Ravbar, univ. dipl. geog. in sinol.
Franjo Drole, geod. teh.
Mateja Zadel, lab. teh.

Kazalo

1	UVOD.....	3
2	METODOLOGIJA IZVEDBE POIZKUSA.....	3
2.1	Izhodišča	3
2.2	Terenske razmere in vzorčenje	4
2.3	Določanje koncentracij sledila.....	7
2.4	Meritve pretokov.....	8
3	PADAVINSKE RAZMERE.....	9
4	REZULTATI SLEDILNEGA POIZKUSA.....	10
4.1	Izhodišča	10
4.2	Drenažno zajetje Ovčja jama	11
4.3	Izvir Smešnik	11
4.4	Izviri v Tročini	13
4.5	Izviri v Zatrepu	14
4.6	Reka Radovna	14
4.7	Ostala opazovalna mesta.....	15
4.8	Rezultati občasnih meritev pretoka.....	16
5	SKLEPI.....	17

Priloge:

Priloga 1.1 Pregledna karta lokacij injiciranja, vzorčenja in meritev pretoka

Priloga 1.2 Karta lokacij injiciranja ter vzorčenja in meritev pretoka na območju Zatrepa

Priloga 1.3 Karta lokacij vzorčenja in meritev pretoka na območju Ovčje jame

Priloga 1.4 Karta lokacij vzorčenja na območju Spodnjih Laz in Črne Rečice

1 UVOD

V dolini reke Radovne vzhodno od vasi Krnica se nahaja zajetje Ovčje jame. Zajetje ima zelo visoko izdatnost, ki je ocenjena na 400 l/s. V severozahodni Sloveniji je to eno najpomembnejših zajetij, ki oskrbuje okoli 14.500 prebivalcev, poleg tega pa ima tudi zelo pomembno vlogo pri zagotavljanju oskrbe s pitno vodo med viški turistične sezone. Zajemni objekt je izdelan v obliki drenaže dolge 235 m. Trasa drenaže je lomljena in poteka vzporedno z levim bregom reke Radovne. Oddaljenost od brega se spreminja in znaša od 30 do 60 m. Neposredno območje drenaže je zavarovano in ograjeno, nepooblaščenim osebam je dostop prepreden.

V zajetju Ovčja jama je voda visoke kvalitete in po nekaterih rangiranjih kvalitete vodnih virov je bilo to zajetje na nivoju Slovenije med najvišje uvrščenimi. Voda na zajetju je neobdelana in neposredno gravitacijsko napaja vodovodno omrežje. V letu 2014 je prišlo do bakteriološkega onesnaženja vode na zajetju, zaradi česar je bilo potrebno daljši čas vodo v gospodinjstvih prekuhavati.

Ker je bilo zajetje od leta 1983, ko je bilo izvedeno, neoporečno, se je zastavilo vprašanje, zakaj je do tega onesnaženja prišlo. Glede na veliko izdatnost zajetja izhaja, da je tudi njegovo napajalno zaledje obsežno. Glede na geološke razmere je del napajalnega zaledja verjetno tudi na območju Mežakle, predvsem v okolici Pernikov. Z namenom da bi preverili to hipotezo, je bil v letu 2018 na tem območju izveden sledilni poizkus. Sledilni poizkus je bil izveden v sodelovanju med Oddelkom za geologijo, Naravoslovnotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani in Inštitutom za raziskovanje krasa (IZRK) iz Postojne, ki deluje v okviru Znanstveno raziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti (ZRC-SAZU). Sledilni poizkus je bil izveden v tesnem sodelovanju z javnim podjetjem Infrastruktura Bled, ki je upravljalec vodovoda; predstavniki podjetja so sodelovali tako pri določanju mesta injiciranja, kot vzorčnih točk ter zbiranja vzorcev.

V nadaljevanju poročila podajamo rezultate sledilnega poizkusa, v okviru katerega je bilo izvedeno injiciranje barve dne 17. aprila 2018.

2 METODOLOGIJA IZVEDBE POIZKUSA

2.1 Izhodišča

Sledilni poizkus je bil izveden na podlagi predhodnega poznavanja geoloških in hidrogeoloških razmer na širšem območju doline reke Radovne ter Pokljuke in Mežakle. V okviru priprav na sledilni poizkus je bilo izvedenih več podrobnih terenskih pregledov ter usklajevanje med izvajalci sledilnega poizkusa in s predstavniki naročnika. Te aktivnosti so

privedle do izbire mesta injiciranja in določitve točk in režima vzorčenja za določitev koncentracij sledila.

Zajetje Ovčja jama predstavlja pomemben vir pitne vode, zato je bilo sledilni poizkus potrebno izvesti tako, da morebitna vidnost sledila ne bi ogrozila oskrbe s pitno vodo. Kot najprimernejše sledilo za ta namen je bilo izbrano fluorescenčno sledilo naftionat, ki s prostim očesom ni vidno. Ne glede na to, pa smo pri injiciranju sledila ravnali po načelu previdnosti in smo injicirali ocenjeno najmanjšo količino sledila. Morda so relativno nizke koncentracije zabeleženega sledila na nekaterih opazovalnih mestih posledica tega, da je bila uporabljena prenizka masa sledila.

Sledilo je bilo injicirano 17. aprila 2018, vzorčenje je bilo zaključeno 1. julija 2018. Skupno trajanje sledilnega poizkusa je 75 dni.

Pregledna karta območja v merilu 1:25.000, na katerem je potekal sledilni poizkus, je podana v prilogi 1.1. V prilogah 1.1 do 1.4 so podane podrobnejše lokacije na kartah v merilu 1:5.000.

2.2 Terenske razmere in vzorčenje

Sledilo je bilo injicirano na območju vasi Perniki na jugovzhodnem območju planote Mežakla nad dolino reke Radovne. Za točko injiciranja smo izbrali usad. V usad je v času predhodnega terenskega ogleda (16. aprila 2018) ponikala meteorna voda s ceste nad usadom. Na dan injiciranja sledila (17. aprila 2018) smo v sodu z vodo raztopili 3 kg fluorescenčnega sledila naftionata (CAS 130-13-2) in tako pripravljeno raztopino ob 11:15 injicirali v dno usada (slika 1). S približno 5 m³ vode iz gasilske cisterne smo natančno sprali uporabljeno posodo in območje injiciranja ter zalili injicirano sledilo. Injiciranje je bilo zaključeno ob 11:35.



Slika 1: Injiciranje fluorescenčnega sledila naftionata 17. aprila 2018 med 11:15 in 11:35 na dnu usada v zaselku Perniki nad dolino Radovne.

Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne

Dan pred izvedbo injiciranja so bili na štirih izbranih lokacijah postavljeni avtomatski vzorčevalniki ISCO 6700 in 6712 (slike 2-4), isti dan se je pričelo tudi s predhodnim zajemanjem slepih vzorcev. Ti so bili odvzeli tudi na lokacijah, kjer je bilo predvideno občasno ročno zajemanje vzorcev.

Tabela 1. Seznam točk injiciranja in vzorčenja (GKY, GKX, Z: koordinate, D: razdalja med točkama injiciranja in vzorčenja, AV: avtomatski vzorčevalnik).

Lokacija	GKY	GKX	Z (m)	D (km)	Način in obdobje vzorčenja
Perniki_injiciranje	425556	139440	816		
Ovčje jame_glavni	426766	138007	621	1,88	AV (16.4.-1.7.18)
Tročina 3	426895	138173	633	1,84	AV (16.4.-11.6.18)
Tročina 1	426947	138125	628	1,91	ročno (16.4.-11.6.18)
Tročina 4	426814	138276	634	1,71	ročno (16.4.-11.6.18)
Smešnik	426464	138412	636	1,37	AV (16.4.-11.6.18)
Zatrep_skupni	424993	139165	665	0,63	AV (16.4.-11.6.18)
Zatrep_levi	425018	139176	670	0,60	ročno (16.4.-11.6.18)
Spodnje Laze	427864	138669	680	2,43	ročno (16.4.-11.6.18)
Črna Rečica	428243	139715	630	2,70	ročno (16.4.-11.6.18)
Radovna	426431	138245	624	1,48	ročno (16.4.-11.6.18)
Ovčje jame_gornji	426562	138122	624	1,66	AV (11.6.-1.7.18)



Slika 2.: Levo pogled v smeri poteka drenažnega zajetja na območju Ovčje jame. Desno priprava lokacije za opazovanja na iztoku drenaže.

Ob glavnem jašku drenažnega zajetja Ovčje jame (slika 2) ter na izviri Smešnik (slika 3) in Tročina 3 (slika 4) so bil 16. aprila 2018 postavljeni avtomatski vzorčevalniki. Na vseh treh lokacijah je bilo v obdobju 16.4.-19.4.2018 nastavljeno vzorčenje na vsake 3 ure, v obdobju 19.4.-23.4.2018 na vsake 4 ure, v obdobju 23.4.-29.4.2018 na vsakih 6 ur, v obdobju 29.4.-7.5.2018 na vsakih 8 ur in v obdobju 7.5.-11.6.2018 na vsakih 12 ur. Na izviru Zatrep (Zatrep_skupni) (slika 4) je bil avtomatski vzorčevalnik postavljen 17.4.2018 in do 19.4.2018 je vzorčili na vsake 2 uri, v nadaljevanju pa v enakih intervalih, kot je opisano zgoraj. Po priporočilu predstavnika Infrastruktura Bled d.o.o g. Štefana Korošca je bil 11.6.2018 postavljen avtomatski vzorčevalnik ISCO še na gornji jašek v zajetju Ovčje jame, saj naj bi v tem jašku občasno poslabšanje kakovosti vode (povečano število mikroorganizmov) zaznali

bolj izrazito kot v glavnem jašku. V obeh jaških v zajetju Ovčje jame je bilo nadaljevano z vzorčenjem v intervalu 12 ur do 1.7.2018.

Na vseh izvirih, ki so bili opremljeni z avtomatskimi vzorčevalniki, so rezervne vzorce (za uporabo v primeru odpovedi avtomatskih vzorčevalnikov) ročno zajemali sodelavci podjetja Infrastruktura Bled d.o.o. (2-krat dnevno v začetnem obdobju od 17.4. do 6.5.2018, potem pa občasno v obdobjih po močnejših padavinah). Ob ogledih 16.4. in 17.4.2018 ter ob pobiranju vzorcev iz avtomatskih vzorčevalnikov (19., 23. in 29.4.2018, 7. in 30.5.2018 ter 11.6.2018) so bili ročno odvzeti vzorci na izvirih Tročina 1 in Tročina 4 (še dva od štirih izvirov v izvirnem območju potoka Tročina), zajetju v Spodnjih Lazah, izviru ob Črni Rečici in površinskem toku Radovne dolvodno od pritoka izvira Smešnik. Na območju izvira Zatrep je bil dodatno vzorčen levi pritok nad cesto (Zatrep_levi), ki je bil ob ogledu pred injiciranjem vizualno bolj onesnažen kot skupni tok izvira, razlikoval se je tudi po izmerjenih vrednostih temperature in specifične električne prevodnosti.



Slika 3.: Avtomatski vzorčevalnik ISCO 6712 na izviru Smešnik.

V izvirih Črna Rečica, Spodnje Laze in Zatrep_levi so bile za kontrolo, ob morebitnih težavah z vzorčenjem, nastavljene še vrečke z aktivnim ogljem, ki omogočajo le potrditev pojava sledila za celotno obdobje, ko so nastavljene v izviru, ne pa tudi bolj natančne določitev časa pojava. Ker je vzorčenje potekalo redno in je določitev pojava naftionata v vrečkah z ogljem manj zanesljiva, te analize niso bile narejene.

Imena izvirov na katerih so se izvajala vzorčenja in imena območij so povzeta po različnih topografskih kartah. Imena lahko nekoliko odstopajo od dejanske rabe imen v prostoru s strani domačinov in lastnikov zemljišč.



Slika 4. Vzorčenje z avtomatskima vzorčevalnikoma ISCO 6700 in 6712 se je izvajalo tudi na izviroh Tročina 3 (levo) in Zatrep (desno).

2.3 Določanje koncentracij sledila

Zajeti vzorci vode za meritve fluorescence so bili analizirani v laboratoriju IZRK ZRC SAZU s fluorescenčnim spektrometrom LS 45 firme PERKIN ELMER pri $E_{ex}=320$ nm, $E_{em}=430$ nm. Jakost izmerjene fluorescence je proporcionalna koncentraciji sledila. V literaturi se za mejo določljivosti naftionata pojavljajo različne vrednosti med 0,1 in 1 $\mu\text{g/l}$, pregled opravljenih raziskav pa kaže tudi na težave pri interpretaciji rezultatov zaradi nekaterih manj ugodnih lastnosti tega sledila. Predvsem pri vodah z organskim onesnaženjem lahko že pri slepih vzorcih izmerimo vrednosti fluorescence nad zgoraj opisano mejo določljivosti. Posledično lahko v nekaterih primerih na analitskem inštrumentu zaznamo odzive, ki so podobni odzivu na sledilo, vendar so povzročeni z drugimi organskimi spojinami raztopljenimi v vodi in ne s sledilom. Sledilo in te druge organske spojine (naravnega ali antropogenega izvora) so si po svoji naravi podobne. Zato je pri interpretaciji rezultatov sledilnega poizkusa pri zabeleženem odzivu, ki je posledica nižjih koncentracij, potrebna posebna previdnost.

Pregled celotne serije analiziranih vzorcev je pokazal, da so bile v slepih vzorcih, ki so bili odvzeti v času visokega vodostaja pred injiciranjem, izmerjene koncentracije višje kot potem v obdobju upadanja vodostaja. Za posamezne izvire so bili za koncentracijo ozadja privzete najnižje izmerjene vrednosti koncentracije, za zanesljivo potrditev pojava sledila pa upoštevane koncentracije, ki so bile višje od koncentracij vzorcev odvzetih pred injiciranjem in so presegle 1 $\mu\text{g/l}$.

2.4 Meritve pretokov

V okviru sledilnega poizkusa so bile za potrebe določitve povrata sledila izvedene tudi meritve pretokov. Meritve pretokov so bile izvedene neposredno in posredno, kar je omogočilo zvezne meritve pretokov.

Z neposredni metodami so bili pretoki izmerjeni v štirih merskih kampanjah, in sicer: 17.4.2018, 25.4.2018, 9.5.2018 in 31.5.2018.

Za izvedbo meritev pretoka je bil uporabljen elektromagnetni merilec pretoka OTT MF Pro proizvajalca OTT Hydromet (hidrometrično krilo). Merilec deluje na principu zaznavanja amplitude napetosti, povzročene z ustvarjenim elektromagnetnim poljem, ki predstavlja hitrost toka vode. Globina vode se meri s pomočjo senzorja z diafragma, ki zaznava absoluten tlak. Uporabljen instrument ima 2 % natančnost merjenja hitrosti toka in globine. Meritve z elektromagnetnim merilcem potekajo z merjenjem razdalje od brega ter globine vode za določitev površine preseka struge ter meritev hitrosti toka vode, ki je z določeno površino preračunana v vrednost pretoka, končna vrednost pretoka predstavlja vsoto tako določenih delnih pretokov. V odvisnosti od razmer na lokaciji meritve (globina, hitrost) smo uporabljali 2 različni metodi meritev. Pri prvi smo merili hitrost na 60 % globine, pri drugi pa na dveh globinskih točkah – na 20 % in na 80 % globine. Vsaka meritev hitrosti predstavlja povprečje 30-sekundnega zajema podatkov. Za kontrolo meritev smo, kjer so razmere to omogočale, vzporedno z merjenjem z merilcem OTT izvajali tudi meritve z integracijsko metodo, kjer smo kot sledilo uporabljali navadno kuhinjsko sol. Meritve so potrdile ustreznost vrednosti, izmerjenih s hidrometričnim krilom.



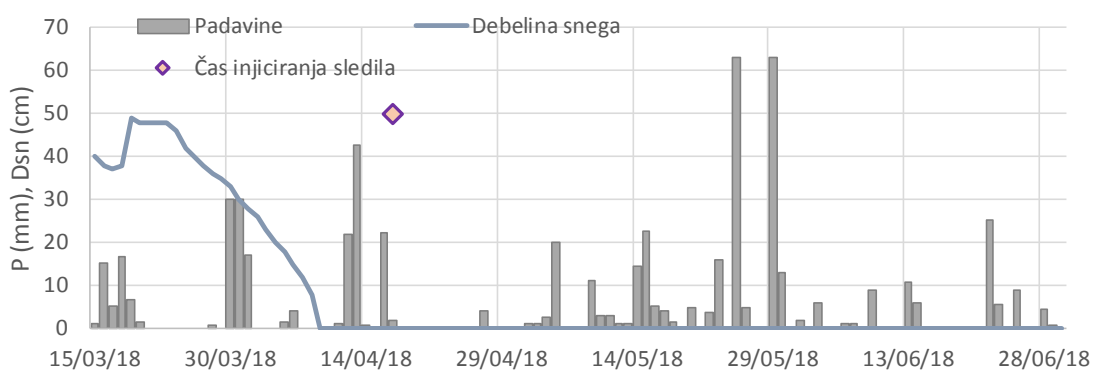
Slika 5.: Meritve pretoka s hidrometričnim krilom (levo na Tročini, desno na Zatrepu)

Tako izvedene meritve pretokov so bile uporabljene za umerjanje posredno izvedenih meritev. V ta namen so bili uporabljeni na izviri Smešnik in Zatrep samodejni merilniki Eijkelkamp, na katerih je bil v obdobju od 16.4. do 23.6.2018 nastavljen 30-minutni interval pretočnih višin.

Na osnovi zbranih podatkov je bil za izvir Smešnik, kjer se je sledilo pojavilo, izdelana pretočna krivulja, s pomočjo katere so bile izmerjene pretočne višine pretvorjene v volumski pretok. Za izvir Tročina, kjer se je sledilo tudi pojavilo, so bili pretoki določeni glede na primerjavo s hidrometričnim krilom izmerjene pretoke na Tročini in z režimom pretoka izvira Smešnik. Tako določeni pretoki so bili skupaj z merjenimi koncentracijami sledila uporabljeni pri oceni količine povrnjenega sledila.

3 PADAVINSKE RAZMERE

Čas izvedbe sledilnega poizkusa je bil izbran v obdobju zaključnega dela taljenja snega. To je v obdobju, ko so po predvidevanjih razmere v vodonosniku stabilizirane. Rezultati sledilnega poizkusa so odvisni od hidroloških razmer, tako padavin, ki vplivajo na napajanje vodonosnih struktur, kot velikosti pretokov na vodotokih, ki kažejo na volumne uskladiščene podzemne vode.



Slika 6.: Dnevne padavine (P) in debeline snega (Dsn) na postaji Zgornja Radovna ter čas injiciranja sledila.

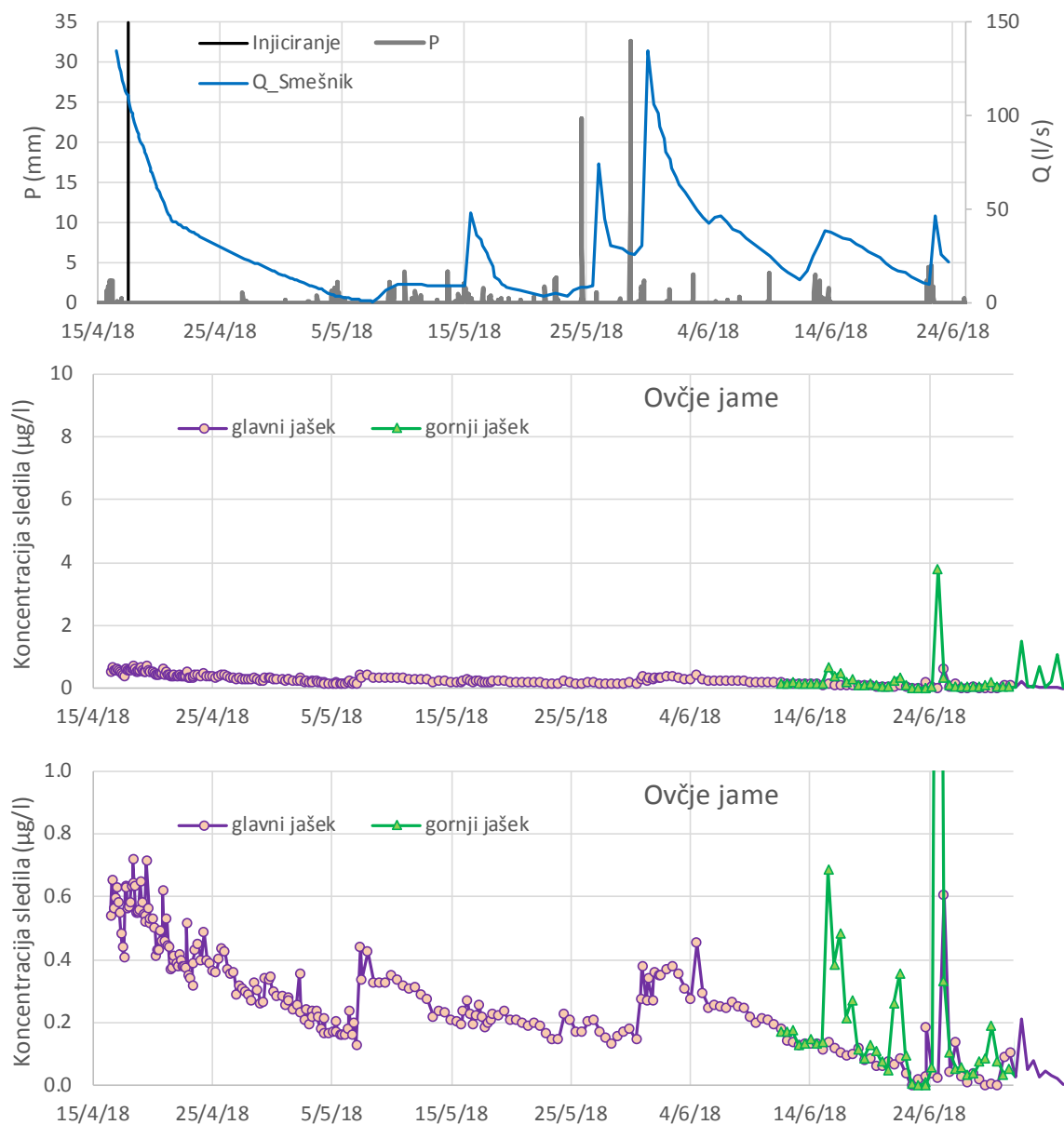
Podatke o padavinah v času sledenja smo dobili na spletni strani www.meteo.si, s katero upravlja Agencija za okolje - ARSO. Najbližja postaja, za katero so bili neposredno dostopni podatki, je Zgornja Radovna. V začetku marca 2018 je bilo tam več kot pol metra snega, snežilo je še v sredini marca. Ob obilnem dežju konec marca in v začetku aprila je sneg skopnel, v tednu pred injiciranjem je skupaj padlo še 93 mm dežja (slika 6). Pogoji za izvedbo injiciranja so bil ugodni, saj z vodo dobro zapolnjeno nezasičeno območje vodonosnika omogoča hiter prenos infiltrirane vode s površja skozi kraški vodonosnik proti izvirom.

Manj ugodne razmere so bile po injiciranju, saj so se dovolj intenzivne padavine, ki so se odrazile vsaj z majhnim povečanjem pretokov izvirov, pojavile šele 5. maja 2018. Nekoliko bolj izrazito je bilo povečanje pretokov po padavinah 14. in 15. maja ter nato še 25. in 29. maja 2018 (slika 6).

4 REZULTATI SLEDILNEGA POIZKUSA

4.1 Izhodišča

Rezultati sledilnega poizkusa so v nadaljevanju podani za vsak izvir ali skupino izvirov. Glavni cilj ugotavljanja prisotnosti sledila je bilo drenažno zajetje Ovčja jama, opazovanja v ostalih izviroh pa so bila namenjena ugotavljanju hidrogeoloških razmer na robovih glavnega vodonosnika v katerem je izvedeno drenažno zajetje.



Slika 7.: Padavine na postaji Zgornja Radovna (P), pretoki izvira Smešnik (Q_Smešnik) in označen čas injiciranja sledila (zgornji graf), izmerjene koncentracije v glavnem in gornjem jašku zajetja Ovčje jame z različnim razponom prikaza vrednosti do 10 $\mu\text{g/l}$ (srednji graf) in do 1 $\mu\text{g/l}$ (spodnji graf).

4.2 Drenažno zajetje Ovčja jama

Na drenažnem zajetju Ovčja jama je bil izveden najdaljši niz opazovanj. Na zajetju smo izvedli opazovanja na iztoku iz drenaže in že med izvajanjem opazovanj dodatno še na najvišjem zgornjem jašku drenaže. Pojava sledila v iztoku iz drenaže ne moremo nedvoumno potrditi, se pa je sledilo verjetno pojavilo v zgornjem jašku drenaže.

Na iztoku iz drenaže smo najvišje koncentracije izmerili ob začetku poskusa, pred in neposredno po injiciranju sledila na Pernikih. Zaradi tega teh relativnih povišanj koncentracij ne moremo povezati s pojavom sledila. Po padavinskih dogodkih v nadaljevanju opazovanj smo še večkrat zaznali podobno relativno povišanje koncentracij, ki pa niso presegle začetnih ničelnih vrednosti. Grafični prikaz rezultatov sledilnega poizkusa na območju Ovčje jame je podan na sliki 7.

Dne 11. junija 2018 je bil postavljen dodatni avtomatski vzorčevalnik na gornji jašek drenažnega zajetja, ki je od glavnega jaška oddaljen 235 m v smeri proti severozahodu. V primerjavi z iztokom iz drenaže so bila v gornjem jašku izmerjena značilno večja nihanja koncentracije z najvišjo izmerjeno vrednostjo 3,8 $\mu\text{g/l}$ (kot slepe vzorce smo privzeli tiste, v katerih smo izmerili najnižje koncentracije). Tako visoka vrednost je bila izmerjena samo v enem vzorcu, v ostalih pa ni presegla 1 $\mu\text{g/l}$.

Interpretacija pojava sledila v zgornjem jašku je manj zanesljiva. Iz podanih nihanj koncentracij v zgornjem jašku drenažnega zajetja menimo, da se je sledilo v njem pojavilo, povsem zanesljivo pa tega ne moremo potrditi.

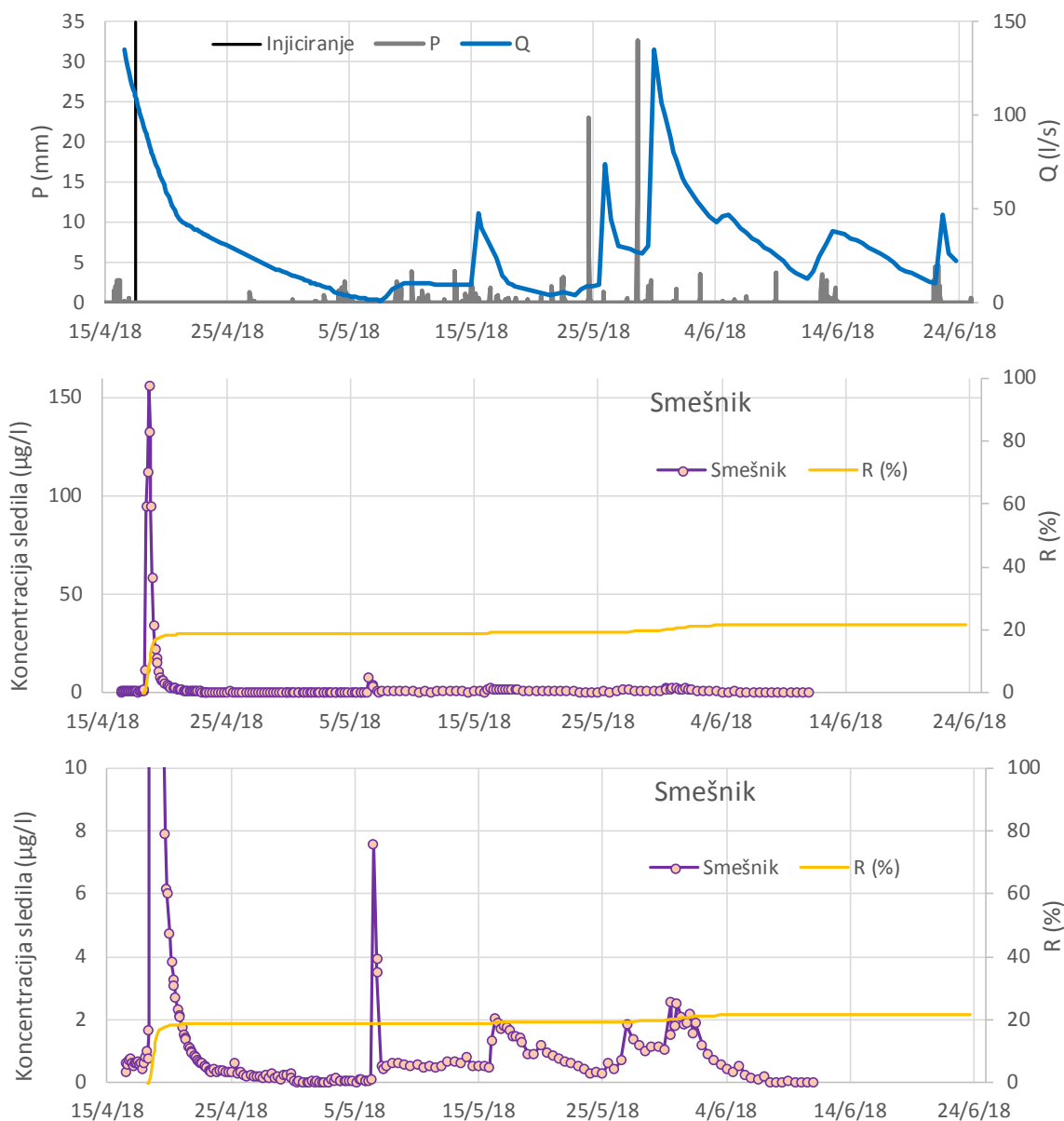
4.3 Izvir Smešnik

Izvir Smešnik se nahaja v manjši zatrepni dolini, ki leži pod pobočji Mežakle severno od vikenda, ki se nahaja zahodno od ograje zajetja Ovčje jame.

S sledilnim poskusom je bila ugotovljena glavna smer pretakanja podzemne vode z območja Perniki proti izviru Smešnik. Čeprav po injiciranju ni bilo padavin, je bil prenos sledila skozi kraški vodonosnik zelo hiter. Prvič je bilo značilno povišanje koncentracije sledila zaznano že v vzorcu, ki je bil odvzet 18.4.2018 ob 0:21 (13 ur po injiciranju), najvišja koncentracija 155,6 $\mu\text{g/l}$ pa je bila izmerjena v vzorcu odvzetem 18.4.2018 ob 18:21 (31 ur po injiciranju) (slika 8). Navidezna maksimalna hitrost podzemnega toka (razmerje med zračno razdaljo od točke injiciranja do izvira ter časom od injiciranja do prvega pojava sledila) je tako 105 m/h, navidezna dominantna hitrost podzemnega toka (razmerje med zračno razdaljo od točke injiciranja do izvira ter časom od injiciranja do pojava najvišje koncentracije sledila) pa 44 m/h. Ta prvi val pojava sledila, ki ga je skozi vodonosnik potisnilo zalivanje z vodo ob injiciranju, je trajal približno 5 dni, potem je koncentracija spet padla pod mejo določljivosti.

Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne

V ostalih opazovanih izviri v prvem valu sledilo ni bilo zaznано.

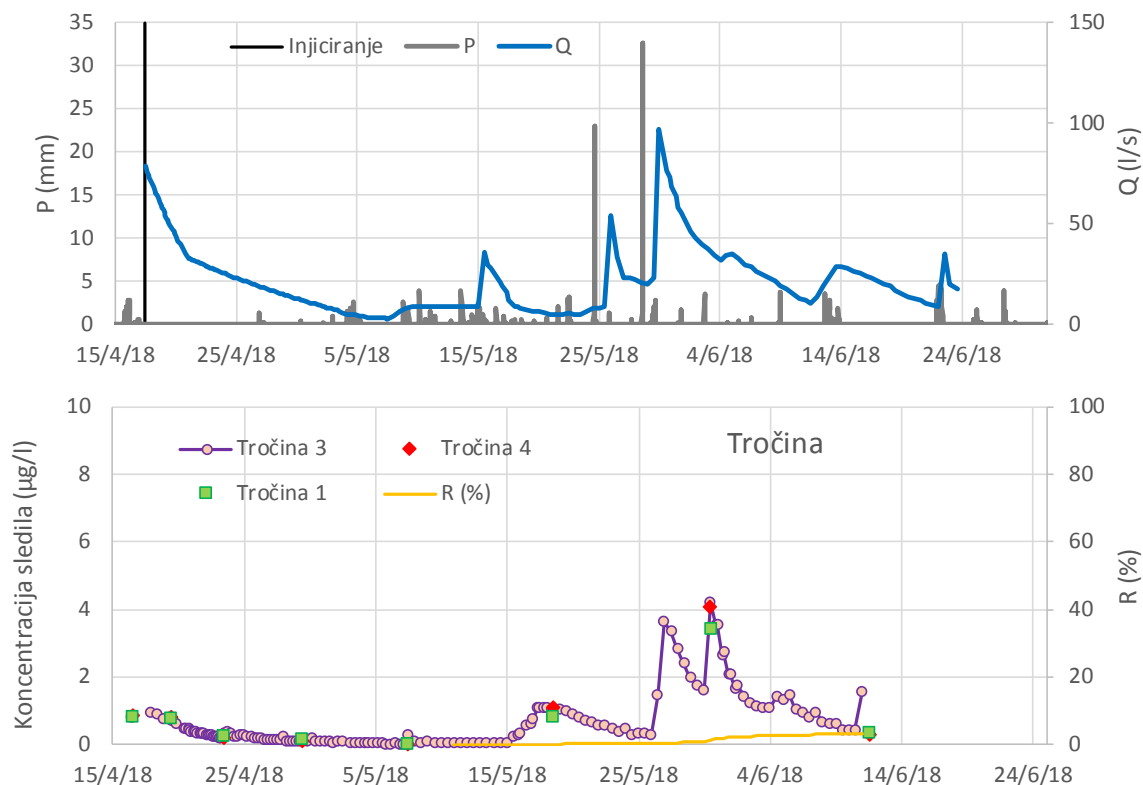


Slika 8.: Padavine na postaji Zgornja Radovna (P), pretoki izvira Smešnik (Q) in označen čas injiciranja sledila (zgornji graf), koncentracije sledila v izviri Smešnik s krivuljo deleža povrnjenega sledila R (%) (srednji graf) in prikaz koncentracij sledila v izviri Smešnik do vrednosti 10 µg/l, ki omogoča boljši pregled nad pojavom sledila v nižjih koncentracijah po prvem valu (spodnji graf).

Šele padavine 4.5. in 5.5.2018 so ob le majhnem povišanju pretoka povzročile izrazito, a kratkotrajno iztekanje sledila z najvišjo koncentracijo 7,6 µg/l. Pojav sledila s koncentracijami pod 3 µg/l je bil potem zabeležen še v treh valovih do 11.6.2018, ko je bilo zaključeno z vzorčenjem na tem izviri. Z upoštevanjem koncentracij sledila in ocenjenih pretokov izvira je bilo izračunano, da je v času opazovanja skozi izvir Smešnik izteklo 643 g naftonata, torej nekaj več kot 21 % injicirane količine.

Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne

Na osnovi izkušenj prejšnjih sledenj predvidevamo, da sledilo je in bo iztekalo še dalj časa ob vsakem od naslednjih padavinskih dogodkov s povišanjem pretokov izvira.



Slika 9.: Padavine na postaji Zgornja Radovna (P), ocenjeni skupni pretoki izvira Tročina (Q) in označen čas injiciranja sledila (zgornji graf), koncentracije sledila v izviroh Tročina 3, Tročina 1 in Tročina 4 s krivuljo skupnega deleža povrnjenega sledila R (%) (spodnji graf).

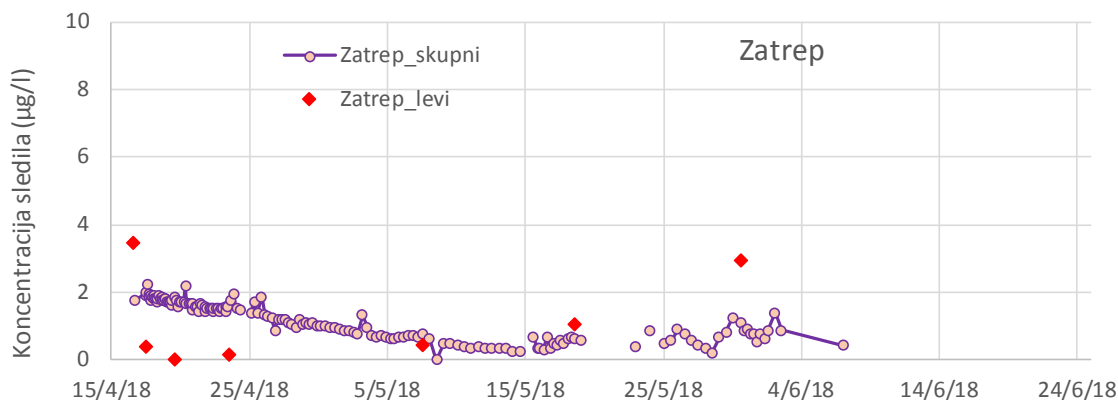
4.4 Izviri v Tročini

Izviri v Tročini so izviri, ki se nahajajo na stiku ravnine Ovčjih jam in pobočij Mežakle. Skupno se pojavljajo trije bolj ali manj stalni izviri, ob visokih vodah pa se pojavi še nekaj manjših izvirov, ki hitro presahnejo. Voda iz teh izvirov odteka v smeri proti vzhodu ob severnem robu izravnave in se pod asfaltirano cesto izlije v reko Radovno.

V izviru Tročina 3 se je sledilo najverjetneje pojavilo najprej 16. maja 2018 v koncentracijah do 1,1 µg/l, zanesljivo pa po 26. maju 2018 v koncentracijah do 4,2 µg/l (slika 9). Na tem izviru je bilo vzorčenje izvedeno z avtomatskim vzorčevanjem. Navidezna maksimalna hitrost toka do izvira v Tročini je tako ocenjena na 2,6 m/h, navidezna dominantna hitrost pa na 1,8 m/h. Tako koncentracije kot hitrosti so na izviru Tročina mnogo nižje kot pri povezavi med Perniki in izvirom Smešnik.

Iz slike 9 pa je razvidno, da so se koncentracije sledila v občasno zajetih vzorcih v izviroh Tročina 1 in Tročina 4 zelo dobro ujemale s tistimi v izviru Tročina 3.

Skupno je skozi izvire Tročina v času opazovanja izteklo dobrih 90 g ali 3 % injiciranega sledila.



Slika 10.: Izmerjene koncentracije v skupnem toku izvira Zatrep in v skrajnem levem kraku izvira.

4.5 Izviri v Zatrepu

Izviri v Zatrepu se nahajajo zahodno od Ovčjih jam na robu območja imenovanega Ravne. Do njih pridemo po asfaltirani cesti v smeri proti zahodu od fužin v Radovni. Najmočnejši izviri se pojavljajo pod cesto, občasni izviri, ki se pojavijo le ob visokih vodah pa tudi višje na pobočju Mežakle.

Približno enak režim vzorčenja kot na zgoraj opisanih izvirih je bil vzpostavljen tudi na izvira Zatrep. Podobno kot v primeru drenažnega zajetja so bile na skupnem toku izvira Zatrep najvišje koncentracije izmerjene v času visokega vodostaja pred injiciranjem, potem pa so koncentracije upadale in niso več dosegle teh začetnih vrednosti.

Občasno so bili vzorci zajeti tudi na skrajno levem kraku dotoka nad cesto, ki izvira višje v pobočju. Ta dotok je bil že na pogled bolj onesnažen od ostalih, voda je bila kalna in je imela neprijeten vonj, značilne so bile razlike v merjenih fizikalnih parametrih (npr. specifična električna prevodnost med 212 in 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$ v skupnem toku ter med 285 in 346 $\mu\text{S}/\text{cm}$ v levem dotoku). Tudi v tem levem dotoku je bila najvišja koncentracija izmerjena pred injiciranjem.

Iz rezultatov izhaja, da se injicirano sledilo v izvira Zatrep ni pojavilo.

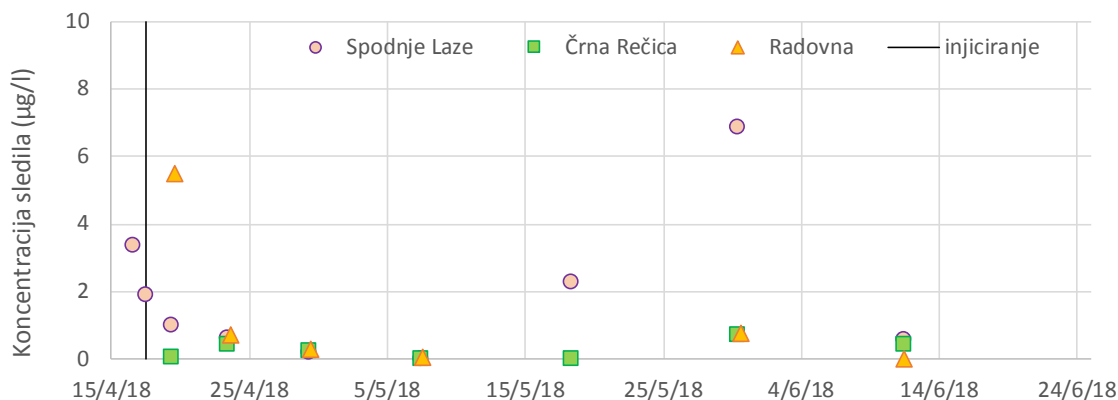
4.6 Reka Radovna

Pod dotokom vode iz bajerjev, v katere se izteka potok Smešnik smo odvzeli nekaj občasnih vzorcev iz reke Radovne. Slep vzorec je bil odvzet 15. marca 2018, po izvedenem injiciranju

Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne

pa še 6 vzorcev. Izrazito povišanje koncentracije z vrednostjo 5,5 $\mu\text{g/l}$ smo izmerili v vzorcu odvzetem 19.4.2018 ob 15:00 (52 ur po injiciranju) (slika 11).

Ali gre za sledilo, ki je posledica dotoka neposredno v strugo reke ali je to posledica izlivanja vode iz Smešnika, ni mogoče ugotoviti.



Slika 11.: Izmerjene koncentracije na lokacijah Spodnje Laze, Črna Rečica in Radovna.

4.7 Ostala opazovalna mesta

V izviri ob Črni Rečici izmerjene koncentracije niso presegle 0,8 $\mu\text{g/l}$ (slika 11), zato lahko glede na primerjavo z ostalimi izviri sklepamo, da se sledilo v tem izviri ni pojavilo.

V manjšem zajetju v Spodnjih Lazah smo visoko koncentracijo izmerili že v slepem vzorcu pred injiciranjem (slika 11), kar kaže na povišane vsebnosti organskih snovi v vodi. V občasnem vzorcu odvzetem 30.5.2018 ob 9:50 je bila izmerjena koncentracija 6,85 $\mu\text{g/l}$. Ker je šlo le za občasen odzvem in ker so bile že pred začetkom poizkusa zabeležene relativno visoke koncentracije, pojava sledila ne moremo zanesljivo potrditi.

Tabela 2. Rezultati občasnih meritev pretoka

Datum	Tročina [l/s]	Smešnik [l/s]	Zatrep [l/s]
17.4.2018	78	109	1430
25.4.2018	24	28	1115
9.5.2018	7*	10	782
31.5.2018	88	81	688

*ocena; meritev zaradi nizkega pretoka ni bila možna

4.8 Rezultati občasnih meritev pretoka

Rezultate občasnih meritev pretoka podaja Tabela 2. Pretoki, izmerjeni na Tročini so imeli med merskimi kampanjami razpon od 7-88 l/s, na Smešniku od 10-109 l/s in na Zatrepu od 688-1430 l/s. Hidrološki režim se je z relativnimi vrednostmi med posameznimi meritvami ujemal med Tročino in Smešnikom, kjer se je vrednost pretoka zmanjševala od prve do tretje meritve, med tretjo in četrto meritvijo pa je narasla. Na lokaciji Zatrepa se je od prve do zadnje meritve vrednost pretoka zniževala. Zaradi izjemno nizkega pretoka na lokaciji Tročine med tretjo mersko kampanjo dne 9.5.2018 meritev ni bila izvedljiva, zato podana vrednost predstavlja le oceno.

5 SKLEPI

Glede na zahtevo, da sledilo tudi v primeru pojava v višjih koncentracijah na izviri in v drenažnem zajetju s prostim očesom naj ne bi bilo vidno, smo za sledilni poskus izbrali fluorescenčno sledilo naftionat. To sledilo ima nekaj neugodnih lastnosti, ki otežujejo interpretacijo rezultatov analiz predvsem v vodah v katerih so prisotne tudi druge organske spojine. Tudi v primeru izvedbe sledilnega poizkusa na območju Pernikov se je pokazalo, da so lahko že v pred injiciranjem odvzetih slepih vzorcih, ko so bile na obravnavanem območju prisotne relativno visoke vode, izmerjene vrednosti fluorescence znotraj razpona mej določljivoosti med 0,1 do 1 $\mu\text{g/l}$. Zato smo kot zanesljivo potrditev pojava sledila upoštevali koncentracije, ki so bile višje od koncentracij vzorcev odvzetih pred injiciranjem in so presegle 1 $\mu\text{g/l}$.

Zelo visoke koncentracije sledila (do 155,6 $\mu\text{g/l}$), ki so bile izmerjene na Smešniku so zanesljiva potrditev glavne smeri pretakanja podzemne vode z območja Pernikov proti izviru Smešnik z navidezno maksimalno hitrostjo podzemnega toka 105 m/h in navidezno dominantno hitrostjo 44 m/h.

Zanesljivo lahko potrdimo tudi povezavo z izviri v Tročini na severnem robu izravnave Ovčje jame ob stiku s pobočji Mežakle, vendar pa so sledilo proti tem izvirov potisnili šele kasnejši padavinski dogodki, zaradi tega so bile zabeležene tudi ustrezno nižje koncentracije sledila (do 4,2 $\mu\text{g/l}$) in ocenjene nižje navidezne hitrosti toka podzemne vode (2,6 m/h in 1,8 m/h).

Na iztoku iz drenažnega zajetja Ovčje jame se sledilo v določljivih količinah ni pojavilo. Velika verjetnost je, da je bilo sledilo zaznano v gornjem jašku zajetja.

V izviru Zatrep in izviru ob potoku Črna Rečica se injicirano sledilo ni pojavilo. Enkratno izmerjena višja koncentracija v zajetju v Spodnjih Lazah ne zadošča za potrditev pojava sledila na tej lokaciji.

V času opazovanj je skozi izvire Smešnik in Tročina izteklo skupno okoli četrtnina injiciranega sledila. Iztekanje se je nadaljevalo tudi po prenehanju opazovanja. Skupni delež povrnjenega sledila skozi omenjene izvira je posledično ustrezno večji, vendar, glede na majhno razdaljo med točko injiciranja in izviri, še vedno manjši od pričakovanega. Iz tega izhaja, da se tudi po koncu opazovanja del sledila še vedno nahaja na območju vodonosnika, verjetno v njegovem nezasičenem območju, to je nad gladino podzemne vode od koder se bodo še nekaj časa spirali.

Glede na strukturo kamnin je mnogo hitrejši odziv izvira Smešnik kot izvirov v Tročini presenetljiv. Glede na položaj izvirov v prostoru bi pričakovali v obeh primerih podoben odziv. Rezultat sledilnega poizkusa nakazuje na različno zakraselost in odprtost razpok, to pa je povezano tudi z različnimi smermi. Da je temu tako kaže tudi odsotnost pojava sledila na izviri v Zatrepu, katerih oddaljenost od zaselka Pernikov in od mesta injiciranja sledila znaša 640 m. Iz vizualnih opazovanj je razvidno, da se v teh izviri pojavlja onesnaženje (barva in vonj kažeta na gnojevko), zlasti v zgornjih prelivnih izviri, ki delujejo le ob zelo visokih vodah in hitro presahnejo. Glede na prostorsko lego je vir tega vizualno zaznanega onesnaženja možen le z območja Pernikov.

Sledilni poizkus je nedvomno pokazal na obstoj povezave med mestom injiciranja na območju vasi Perniki in izviri, ki se nahajajo na robovih vodonosnika Ovčja jama v katerem je izdelano drenažno zajetje za zajem pitne vode. Kraške izvire Smešnik in izvire v Tročini glede na njihov položaj opredelimo kot prelivne izvire v katerih voda preliva na stiku z dolvodnim medzrnskim vodonosnikom. Do tega prelivanja prihaja, ker ima medzrnski vodonosnik nižjo prepustnost kot kraški vodonosnik. Ne glede na to lahko pričakujemo, da se del podzemnih vod, ki se infiltrira na širšem območju Pernikov infiltrira neposredno v medzrnski vodonosnik in odteka v smeri proti drenaži, vendar pa je ta tok mnogo počasnejši, kot tok vode znotraj kraškega vodonosnika. Medzrnski vodonosnik ima tudi zelo velik volumen, zaradi česar se je sledilo zelo razredčilo. Vse to je verjetno vzrok, da se sledilo ni pojavilo na iztoku iz drenaže za zajem pitne vode.

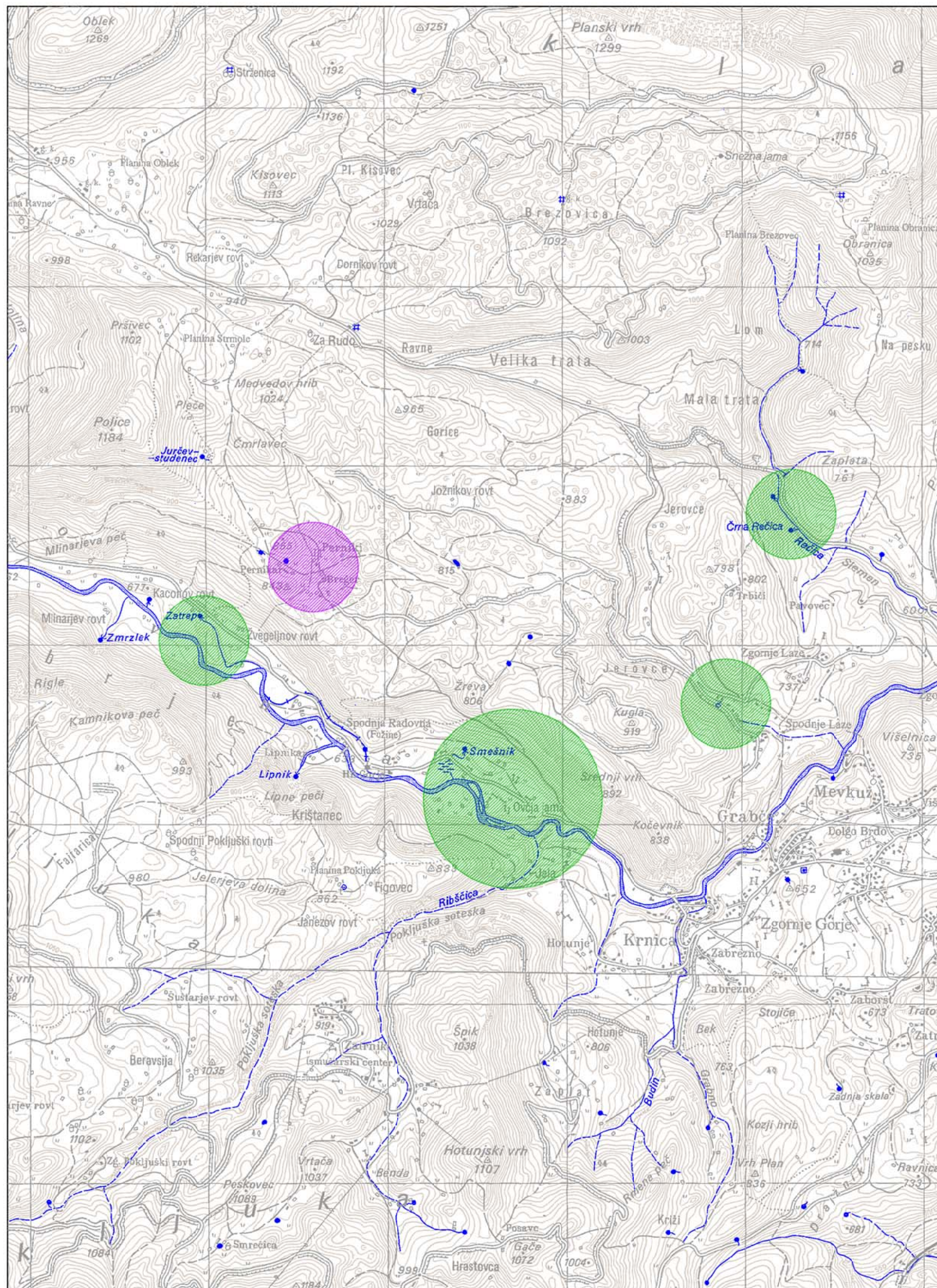
Rezultati sledilnega poizkusa kažejo, da se je sledilo pojavilo tudi v zgornjem jašku drenažnega zajetja. Hkrati pa se sledilo ni pojavilo na njegovem iztoku. Takšen rezultat je na videz paradoksalen. Razložimo ga lahko z velikim razredčenjem, saj ima izvedena drenaža zelo visok pretok. To pa nakazuje tudi na to, da se vzdolž drenaže dolge 235 m spreminja tudi delež reke Radovne, ki vteka v vodonosnik in se s tem tudi drenira skozi drenažno cev.

V primeru onesnaženja na območju Pernikov lahko pričakujemo zelo hiter odziv na izviri Smešnik in nekoliko počasnejši na izviri Tročina. Upravičeno domnevamo, da se bo to onesnaženje infiltriralo tudi v medzrnski vodonosnik Ovčje jame. V kolikor bodo prisotne višje koncentracije onesnaževal, se bodo ta verjetno pojavila tudi v drenažnem zajetju. V primeru pojava onesnaženja v drenažnem zajetju se bo to iztekalo relativno daljši čas.



Rezultati sledilnega poizkusa kažejo tudi na to, da so hidravlične razmere v napajalnem zaledju drenažnega zajetja Ovčje jame zelo spremenljive. Razmisliti bi bilo potrebno o tem, da bi se sledilni poizkus ponovil še v stanju visokih in nizkih vod.


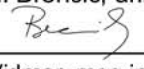

PREGLEDNA KARTA LOKACIJ INJICIRANJA, VZORČENJA IN MERITEV PRETOKA

Merilo: 1:25.000



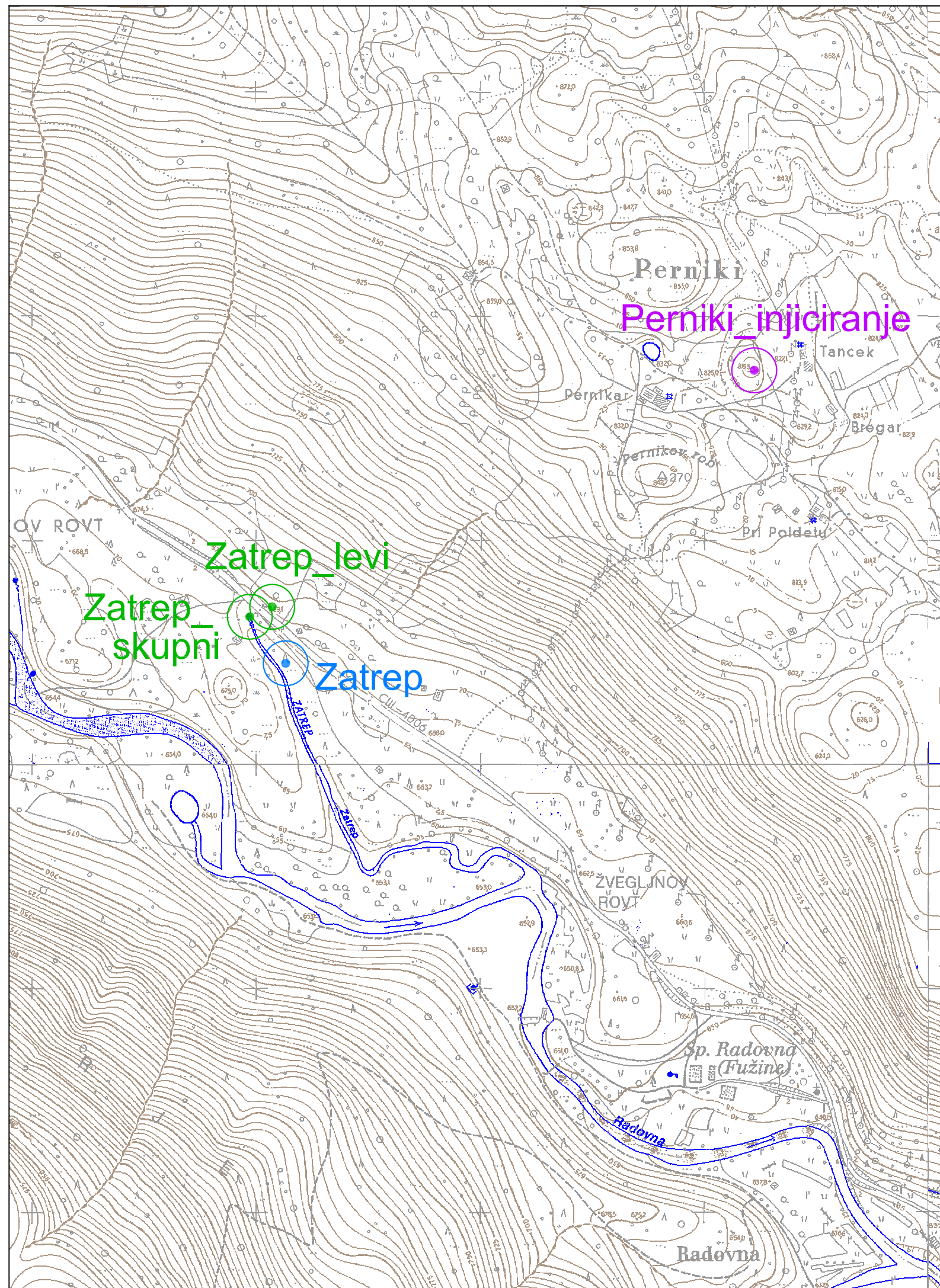
Legenda:

-  Območje injiciranja
-  Območje vzorčenja in merjenja pretokov




Naročnik: Infrastruktura Bled d.o.o.		Investitor: Infrastruktura Bled d.o.o.	
	NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA Oddelek za geologijo		Elaborat: Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne
Odgovorni vodja projekta:	izr. prof. dr. Mihael Brenčič, uni. dipl. inž. geol. 		Objekt:
Sodelavka:	asist. Ines Vidmar, mag. inž. geol. 		Pregledna karta lokacij injiciranja, vzorčenja in meritev pretokov
Sodelavec:			
Sodelavec:			
Datum:	oktober 2018	Merilo:	1:25.000
List:		Priloga:	1.1


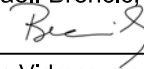

KARTA LOKACIJ INJICIRANJA TER VZORČENJA IN MERITEV PRETOKA NA OBMOČJU ZATREPA

Merilo: 1:5.000



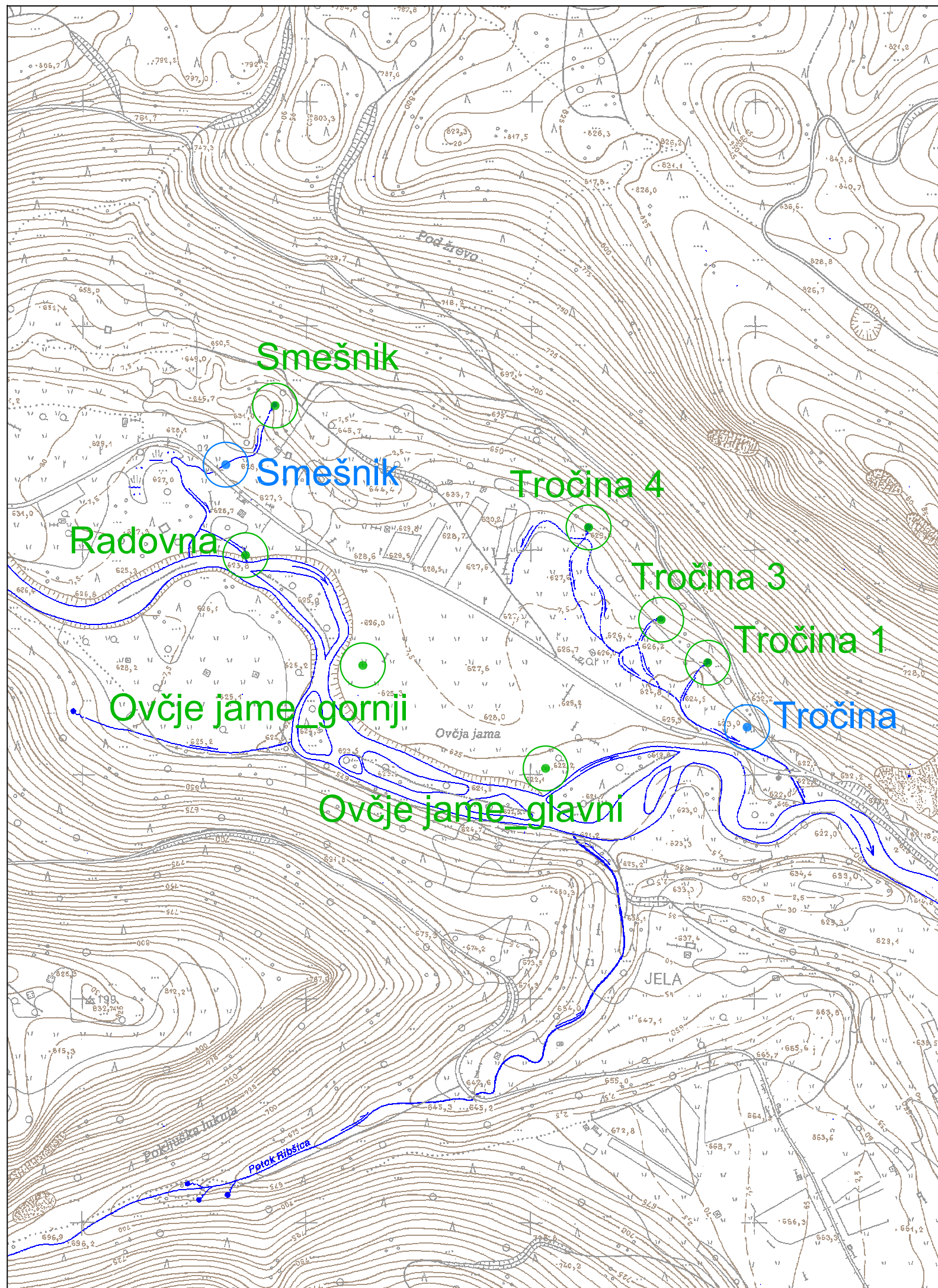
Legenda:

-  Mesto injiciranja
-  Mesto vzorčenja
-  Mesto merjenja pretoka

Naročnik: Infrastruktura Bled d.o.o.		Investitor: Infrastruktura Bled d.o.o.
	NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA Oddelek za geologijo	Elaborat: Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne
Odgovorni vodja projekta:	izr. prof. dr. Mihael Brenčič, uni. dipl. inž. geol. 	Objekt:
Sodelavka:	asist. Ines Vidmar, mag. inž. geol. 	Karta lokacij injiciranja ter vzorčenja in meritev pretokov na območju Zatrepa
Sodelavec:		
Sodelavec:		
Datum: oktober 2018	Merilo: 1:5.000	List: Priloga: 1.2


KARTA LOKACIJ VZORČENJA IN MERITEV PRETOKA NA OBMOČJU OVČJE JAME

Merilo: 1:5.000



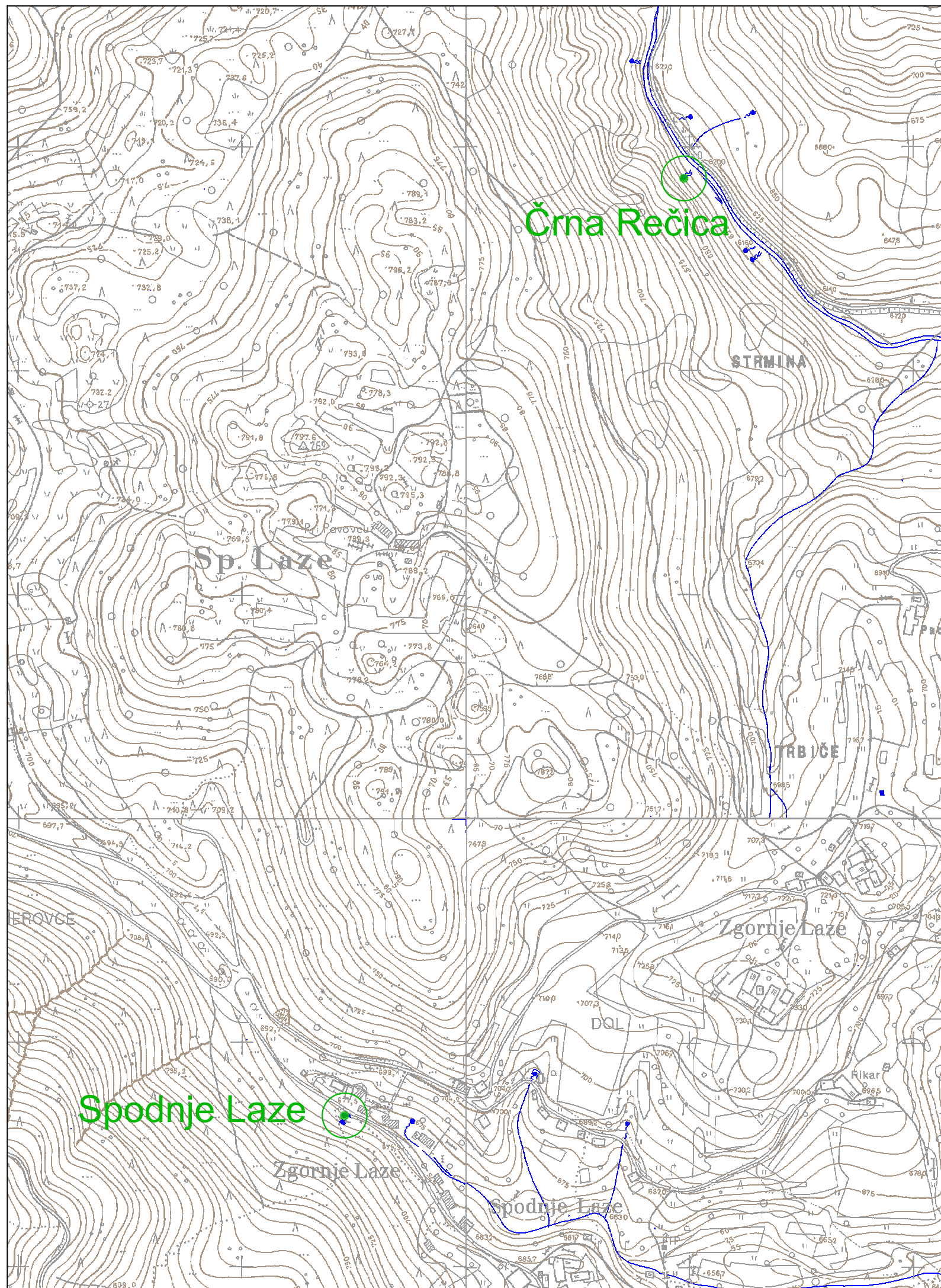
Legenda:

- Mesto vzorčenja
- Mesto merjenja pretoka

Naročnik: Infrastruktura Bled d.o.o.		Investitor: Infrastruktura Bled d.o.o.
	NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA Oddelek za geologijo	Elaborat: Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne
Odgovorni vodja projekta:	izr.prof.dr.Mihael Brenčič, uni.dipl.inž.geol. <i>Brenčič</i>	Objekt:
Sodelavka:	asist. Ines Vidmar, mag.inž.geol. <i>Ines Vidmar</i>	Karta lokacij vzorčenja in meritev pretokov na območju Ovčje jame
Sodelavec:		
Sodelavec:		
Datum: oktober 2018	Merilo: 1:5.000	List: Priloga: 1.3


KARTA LOKACIJ VZORČENJA NA OBMOČJU SPODNJIH LAZ IN ČRNE REČICE

Merilo: 1:5.000



Legenda:

 Mesto vzorčenja

Naročnik: Infrastruktura Bled d.o.o.		Investitor: Infrastruktura Bled d.o.o.				
	NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA Oddelek za geologijo		Elaborat: Poročilo o izvedbi sledilnega poizkusa na širšem območju zajetja Ovčja jama v dolini reke Radovne			
Odgovorni vodja projekta:	izr.prof.dr.Mihael Brenčič, uni.dipl.inž.geol. <i>Brenčič</i>		Objekt:			
Sodelavka:	asist. Ines Vidmar, mag.inž.geol. <i>Ines Vidmar</i>		Karta lokacij vzorčenja na območju Spodnjih Laz in Črne Rečice			
Sodelavec:						
Sodelavec:						
Datum:	oktober 2018	Merilo:	1:5.000	List:	Priloga:	1.4