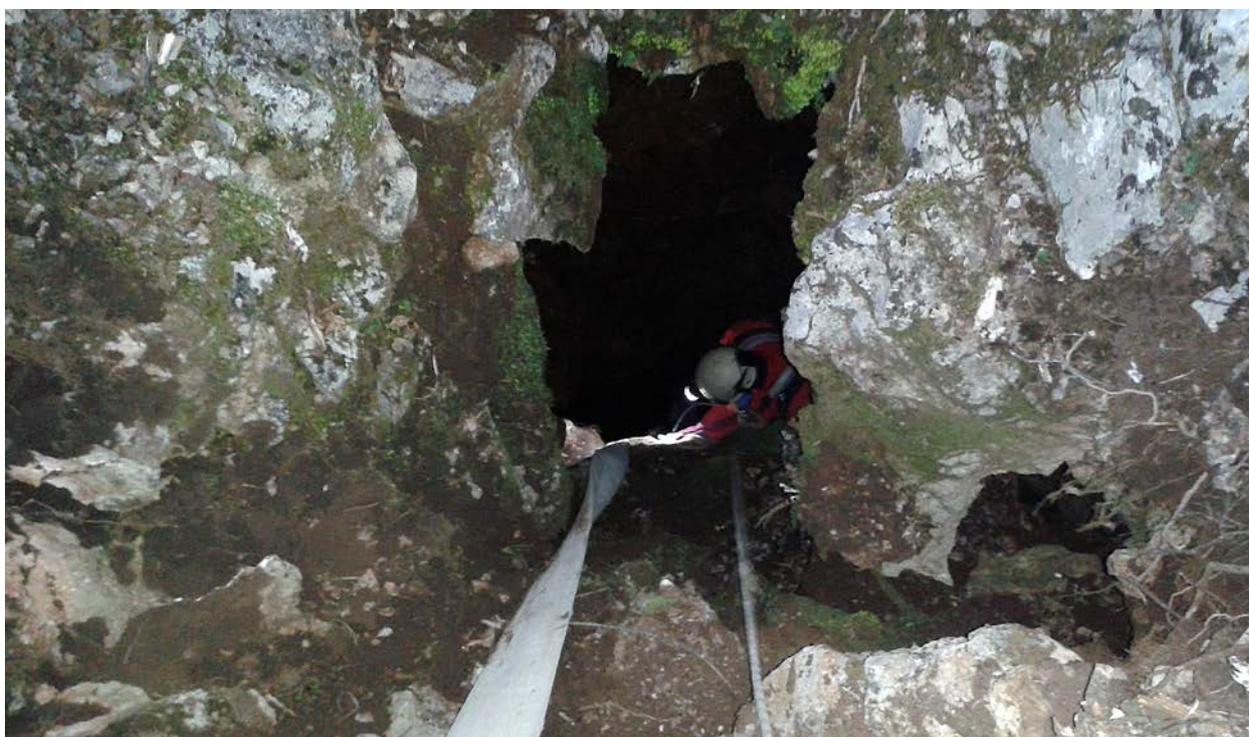


## **TRASIRANJE TOKOVA PODZEMNIH VODA IZ JAME NA LOKACIJI ŠILOVIĆA DOCI U Kladnjicama, Općina Lećevica**



Broj: 20/17

Predstojnik Zavoda:

Ravnatelj Instituta:

dr.sc. Josip Terzić, dipl.ing.geol.

dr.sc. Slobodan Miko, dipl.ing.geol.

**Zagreb, lipanj 2017.**

**PROJEKT:** TRASIRANJE TOKOVA PODZEMNIH VODA IZ JAME NA  
LOKACIJI ŠILOVIĆA DOCI U KLADNJICAMA, OPĆINA  
LEČEVICA

**NARUČITELJ:** REGIONALNI CENTAR ČISTOG OKOLIŠA  
Domovinskog rata 2  
21000, Split

**IZVOĐAČ:** HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT  
Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju  
Sachsova 2, 10000 Zagreb

**UGOVOR:** Broj: 762/17 od 24.02.2017.

**VODITELJ PROJEKTA:** Mladen Kuhta, dipl.ing.geol.

**TERENSKI RADOVI:** Mladen Kuhta, dipl.ing.geol.  
dr.sc. Tihomir Frangen, dipl.ing.geol.  
Josip Kolarić, ing.geot.  
Hrvoje Burić, teh.  
Nedeljko Stanić, teh.

**LABORATORIJSKA OBRADA UZORAKA:** dr.sc. Tihomir Frangen, dipl.ing.geol.

**AUTOR IZVJEŠTAJA:** Mladen Kuhta, dipl.ing. geol.  
dr.sc. Tihomir Frangen, dipl.ing.geol.

**Zagreb, lipanj 2017.**

**SADRŽAJ:**

	<b>str.</b>
<b>1. UVOD</b>	<b>3</b>
<b>2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA</b>	<b>3</b>
<b>3. PRIPREMNI RADOVI</b>	<b>5</b>
<b>4. HIDROLOŠKI UVJETI U VRIJEME TRASIRANJA</b>	<b>5</b>
<b>5. OPAŽAČKA MREŽA I DINAMIKA UZORKOVANJA</b>	<b>10</b>
<b>6. UPUŠTANJE TRASERA.</b>	<b>12</b>
<b>7. REZULTATI TRASIRANJA I DISKUSIJA</b>	<b>17</b>
<b>8. ZAKLJUČAK</b>	<b>20</b>
<b>9. DOKUMENTACIJA</b>	<b>21</b>

## 1. UVOD

Predmetno trasiranje izvedeno je temeljem ugovora Broj: 762/17 od 24.02.2017., sklopljenog između Regionalnog centra čistog okoliša d.o.o., Domovinskog rata 2, 21000 Split (u nastavku: Naručitelj) i Hrvatskog geološki institut, Sachsova 2, 10000 Zagreb (u nastavku : Izvršitelj). Budući da se kroz predviđeno razdoblje opažanja od 60 dana traser nije pojavio na niti jednom od opažanih izvora, dogovoreno je, a potom i aneksom osnovnom ugovoru Broj: 762-1/17 od 11.05.2017. regulirano, dodatno opažanje u trajanju 30 dana.

Svi programom istraživanja predviđeni radovi izvedeni su u razdoblju od 20.02. do 15.06.2017. godine. Projektne aktivnosti izvođene su u koordinaciji s Vlatkom Lucijančić-Justić, mr.sc., Voditeljicom odjela za pripremu i praćenje provedbe projekta u Regionalnom centru čistog okoliša d.o.o. i Želimirom Pekašem, dipl.ing.geol., iz Sektora za korištenje voda, Hrvatske vode - Zagreb, odgovornom osobom za provedbu trasiranja ispred Hrvatskih voda.

S obzirom na činjenicu da se dio opažanih izvorišta nalazi na posebno zaštićenim područjima, odnosno unutar Nacionalnog parka „Krka“ (Jaruga i Torak), Posebnog ornitološko-ihtiološkog rezervata Pantan i Posebnog ihtiološkog rezervata Jadro, a dio je zahvaćen za potrebe javne vodoopskrbe (Jaruga I i II, Torak, Rimski bunar i Jadro), ; za provedbu planiranih aktivnosti i slobodan pristup izvorištima Naručitelj je ishodio suglasnosti i dozvole: Ministarstva zaštite okoliša i energetike, Uprave NP „Krka“, Vodovoda i kanalizacije d.o.o. Split te Vodovoda i odvodnje d.o.o. Šibenik. Koristimo priliku svima zahvaliti na suradnji i razumijevanju.

Osnovni cilj provedenih hidrogeoloških istraživanja, odnosno trasiranja podzemnih tokova bio je utvrditi smjerove i prividne brzine tečenja podzemnih voda s područja Šilovića Docca u Kladnjicama u Općini Lećevica **u hidrološkim uvjetima visokih voda**. Uvjeti, provedba i rezultati istraživanja predmet su ovog izvješća.

## 2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Poznavanje smjerova i dinamike dreniranja podzemnih voda iz područja značajnijih zahvata u okolišu vrlo je važan element za ocjenu mogućih utjecaja planiranih aktivnosti na stanje podzemnih voda u okolišu predmetnog zahvata, kako u vrijeme izgradnje, tako i tijekom, te po završetku njegovog korištenja.

Tijekom višegodišnjih sveobuhvatnih istraživanja za potrebe projektiranja planiranog Centra za gospodarenje otpadom Splitsko-dalmatinske županije u Lećevici (u daljnjem tekstu CGO), na užem području izgradnje (Šilovića docci, Kladnjice) izvedena su dva trasiranja tokova podzemnih voda. Ovdje navodimo osnovne nalaze tih istraživanja.

### 1. Bušotina B-2 na lokaciji CGO

Trasiranje bušotine B-2 na planiranoj lokaciji CGO kod Lećevice izvedeno je 16.08.2004. godine s 80 kg Na-floresceina. Budući je u to vrijeme na vodomjernom profilu Jadro-Majdan zabilježen protok od svega 2,3 m<sup>3</sup>/s može se konstastirati da je trasiranje izvedeno u uvjetima niskih voda. Nakon ubacivanja traser je potisnut s 50 m<sup>3</sup> vode dopremljene auto-cisternom. Pojava boje praćena je na izvorima Žrnovnica, Jadro, Rupotina, Tupinolom, Radun i Pantan. Premda su opažanja trajala preko 4 mjeseca pojava boje nigdje nije registrirana (ECOINA, 2004).

U ovom je trasiranju izostalo opažanje na području nizvodnog dijela sliva Krke, a prvenstveno na izvorištima Torak i Jaruga.

## 2. Jama na užoj lokaciji CGO

Trasiranje Jame na užoj lokaciji CGO izveli su djelatnici Hrvatskog geološkog instituta (HGI) iz Zagreba i jedno je od najznačajnijih trasiranja izvedenih na području sliva Jadra i Žrnovnice. Naime, razmatrano područje tipičan je krški teren bez stalnih ili povremenih površinskih tokova, pa samim tim na njemu nema ponora, odnosno mjesta pogodnih za izvođenje trasiranja podzemnih voda. Već u prvim hidrogeološkim studijama (Fritz, 1970, 1979), a potom i pri određivanju zona sanitarne zaštite (Fritz i dr., 1988) istaknut je problem razgraničenja slivova Krke, Pantana i Jadra. Premda je nekoliko puta planirano, upravo zbog nedostatka povoljnih lokacija, na širem području tromeđe ovih slivova dugi niz godina nije bilo izvedeno niti jedno trasiranje podzemnih tokova. Zbog toga uspješno trasiranje izvedeno za potrebe CGO imalo je i velik značaj za tumačenje regionalnih hidrogeoloških odnosa, a doprinijelo je i boljem definiranju vodozaštitnih područja izvorišta Jadra i Žrnovnice (GEO-CAD d.o.o., 2010) te saznanjima potrebnim za projektiranje CGO.

Trasiranje je izvedeno 16.5.2006. godine sa 60 kg Na-floresceina (uranin). S obzirom na to da je na vodomjernom profilu Jadro-Majdan u vrijeme ubacivanja trasera protjecalo  $5,16 \text{ m}^3/\text{s}$  može se konstatirati da je trasiranje izvedeno u uvjetima srednjih do niskih voda. Prije ulijevanja trasera u odabranu pukotinu u jami utisnuto je  $20 \text{ m}^3$  vode dopremljene auto-cisternom. Sva voda trenutno je nestajala u pukotini. Nakon provjere upojnosti, u 12:30 upuštena je boja. Potom je uslijedilo njeno ispiranje i potiskivanje pomoću ukupno  $80 \text{ m}^3$  vode.

Mjesta opažanja odabrana su na temelju analize rezultata do tada izvedenih hidrogeoloških istraživanja i usuglašena s predstavnicima Hrvatskih voda. Ovdje treba istaknuti da su izvori u zaleđu Kaštela (Tupinolom, Fuležina i Gospa Stomorija) uključeni u opažačku mrežu zbog pritiska javnosti, premda je s hidrogeološkog aspekta jasno da se oni napajaju iz lokalnih slivova formiranih u fliškim naslagama priobalnog područja i neposrednog zaleđa.

U razdoblju opažanja koje je trajalo 90 dana (od 16.05. do 14.08.06.) pojava trasera registrirana je jedino na izvoru Jadra. Prva pojava boje i to ujedno s najvećom koncentracijom od  $0,0062 \text{ mg/L}$ , konstatirana je na uzorku uzetom u 8 sati 22.07.06. Istjecanje boje ukupno je trajalo četiri dana. S obzirom na to da je izvor Jadra od mjesta ubacivanja boje udaljen oko 25,15 km, te da je od trenutka ubacivanja trasera do njegove prve registracije proteklo približno 66 dana i 20 sati, proizlazi da je prividna brzina toka podzemne vode iznosila  $0,44 \text{ cm/s}$ . Budući se smatra da su prosječne prividne brzine tečenja u našem kršu oko  $3,55 \text{ cm/s}$  (Kuhta i Brkić, 2008), evidentno je da dobivena brzina spada u kategoriju sporijih.

U vrijeme pojave trasera izdašnost izvora Jadra bila je oko  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  na profilu Majdan +  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  crpljenja za vodoopskrbu). S obzirom na tu izdašnost i zabilježene koncentracije trasera proizlazi da je kroz 4 dana na izvoru isteklo oko 4,7 kg, odnosno 7,8 % ubačenog trasera. Budući da traser nije zabilježen na drugim izvorištima, navedeni ukupni pronos trasera je vrlo mali, odnosno većina ubačene boje zadržala se u podzemlju ili je istekla u koncentracijama nižim od granice detekcije.

Geološka i hidrogeološka istraživanja koja su prethodila trasiranju i samo trasiranje detaljno su obrađeni u elaboratima Korbar i dr., 2006; Kuhta & Stroj, 2006.

### 3. PRIPREMNI RADVI

Neposredno nakon zaprimanja Odluke o odabiru najpovoljnije ponude kojom je za izvođenje planiranih istraživanja odabran Hrvatski geološki institut (HGI), u razdoblju od 21. do 22.2.2017. godine obavljen je terenski pregled Jame na lokaciji CGO pri kojem je utvrđeno da je jama u istom stanju kao i 2006. godine, te da je iz nje moguće izvesti trasiranje u uvjetima visokih voda. Konstatirano je da pristupni put prema jami nije u najboljem stanju. Tijekom kasnijeg obilaska Naručitelja i vozača vatrogasnih vozila predviđenih za dopremu vode za ispiranje i potiskivanje trasera, konstatirano je da put treba poravnati i dodatno nasuti.

Tijekom terenskog obilaska također su pregledana sva izvorišta predviđena za opažanje pojave trasera te utvrđeni uvjeti za montažu mjernih instrumenata i prikupljanje uzoraka.

Pored toga, djelatnici HGI bili su aktivno uključeni u pripremanje dokumentacije za ishođenje potrebnih suglasnosti i dozvola pristupa zahvaćenim izvorištima i posebno zaštićenim područjima.

### 4. HIDROLOŠKI UVJETI U VRIJEME TRASIRANJA

S obzirom na to da je osnovni cilj ovog ponovljenog trasiranja podzemnih tokova bio utvrditi smjerove i prividne brzine tečenja podzemnih voda s područja Šilovića Doca u Kladnjicama u **hidrološkim uvjetima visokih voda** posebna pozornost posvećena je definiranju traženih hidroloških uvjeta. Odlučujuću ulogu za određivanje stanja visokih voda imale su Hrvatske vode koje su u tom smislu izdale Očitovanje (KLASA: 351-03/17-01/0000083; URBROJ: 374-1-6-17-4 od 01.03.2017.). Očitovanje prenosimo u cijelosti:

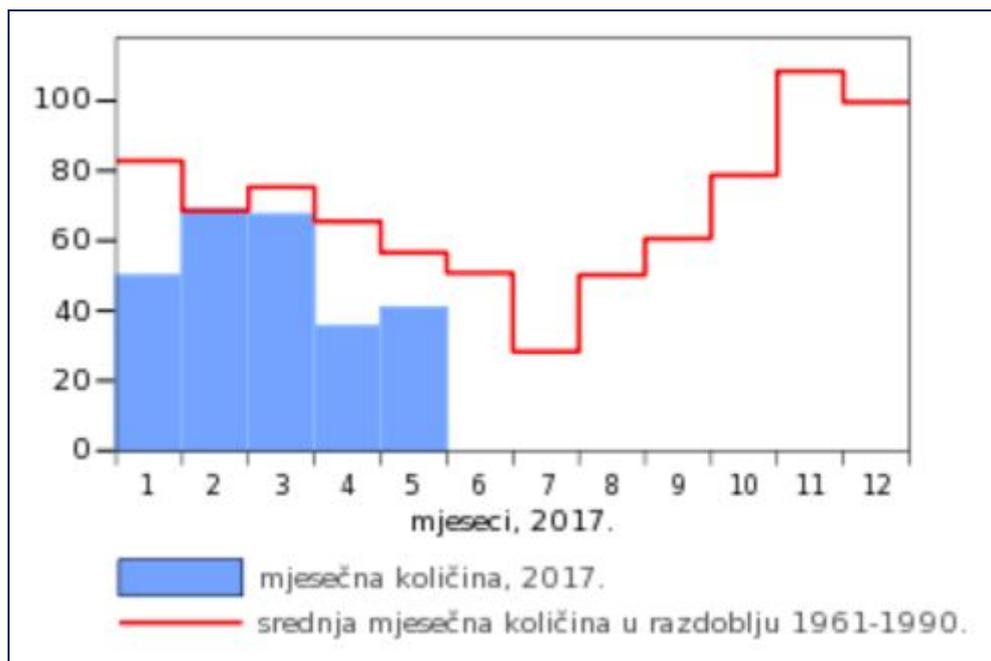
*„Nakon detaljne analize dnevnih podataka vodostaja i protoka na mjernoj postaji Majdan na rijeci Jadro, koja je u sustavu opažanja od 1983. godine, te analize hidrološke obrade velikih voda obrađenih u elaboratu „Preliminarna procjena poplavnih rizika na slivovima Cetine, Jadra i Žrnovnice“ (Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., 2009. god.) i višegodišnjih planova vodomjerenja DHMZ-a za potrebe izrade protočnih krivulja, u kojima su definirani vodostaji za male, srednje i velike vode za sve mjerne postaje, uvjeti velikih voda u slivu Jadra su onda kada je vodostaj na vodomjernoj postaji Majdan minimalno 90 cm, odnosno protok od 20,3 m<sup>3</sup>/s.*

*Prema gore navedenom, planirana hidrogeološka istraživanja u svrhu utvrđivanja prividne brzine podzemnih tečenja u uvjetima velikih voda mogu se provesti, u skladu s izdanim vodopravnim uvjetima te dostavljenim i prihvaćenim elaboratom „Elaborat hidrogeoloških istraživanja“ (HGI, 2017.), ubacivanjem trasera u jamu na lokaciji Šilovića Doci u Kladnjicama, općina Lečevica, kada se na vodomjernoj postaji Majdan pojavi gore navedeni vodostaj, odnosno protok.”*

Ovdje treba naglasiti da gore navedeni uvjeti na mjernom profilu Majdan imaju trajanje od 5 %. Drugim riječima to znači da se samo tijekom 5 % dana u godini (18,5 dana) na tom mjernom profilu javljaju vodostaji i protoci jednaki ili veći od navedenih. Ovako postavljena granica vrlo je konzervativna, a zadani uvjeti najčešće traju kratko (obično svega nekoliko dana) te ostavljaju malo vremena za organizaciju i provedbu samog trasiranja.

Ocjena hidrološkog stanja u slivu Jadra u vrijeme ubacivanja trasera i kroz razdoblje opažanja na odabranim izvorima, načinjena je na osnovi podataka motrenja količina oborina na širem području, te motrenja razine i protoka na referentnom vodomjernom profilu Jadro-Majdan. Pritom su korišteni podaci objavljeni na stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ; [http://klima.hr/klima\\_arhiva.php](http://klima.hr/klima_arhiva.php); <http://hidro.dhz.hr/>) i javno dostupne klimatološke stranice <https://pljusak.com/>.

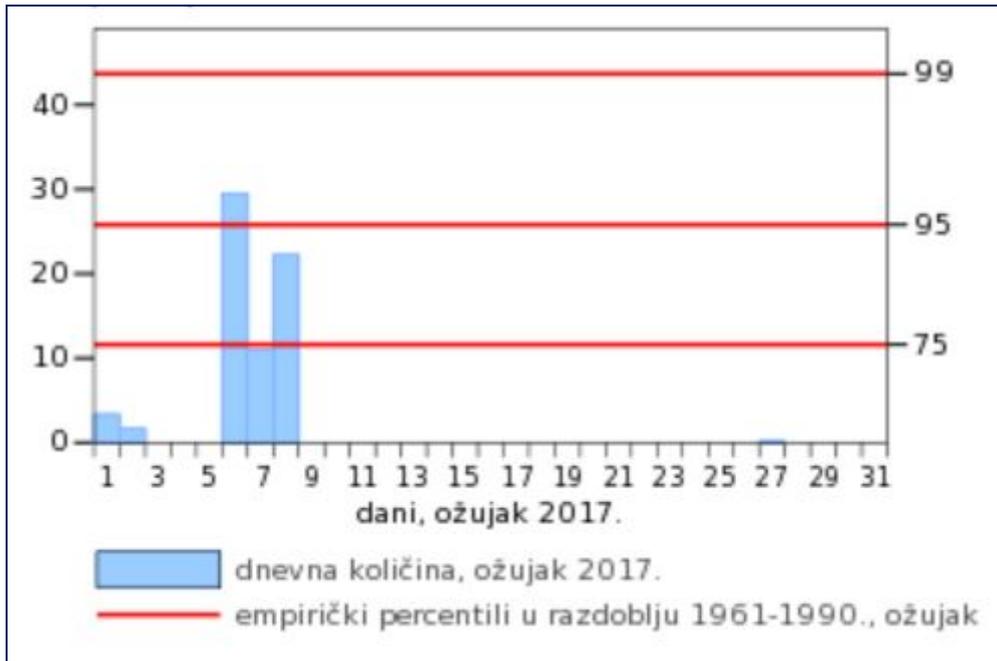
Na slici 1 prikazane su ukupne mjesečne oborine za razdoblje siječanj-svibanj 2017. zabilježene na klimatološkoj postaji Split-Marjan.



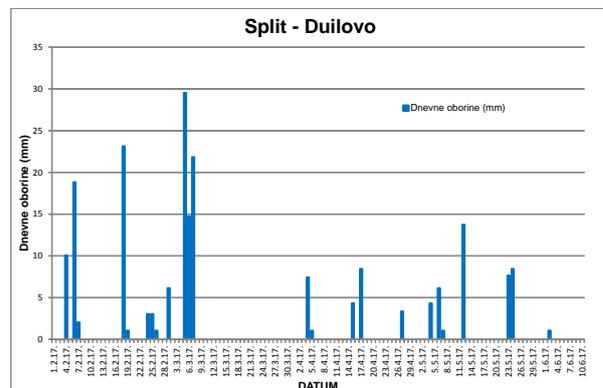
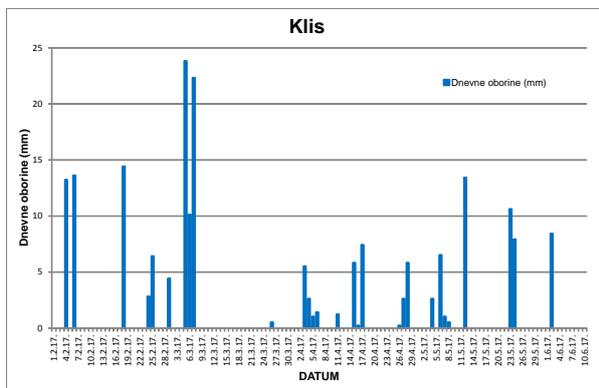
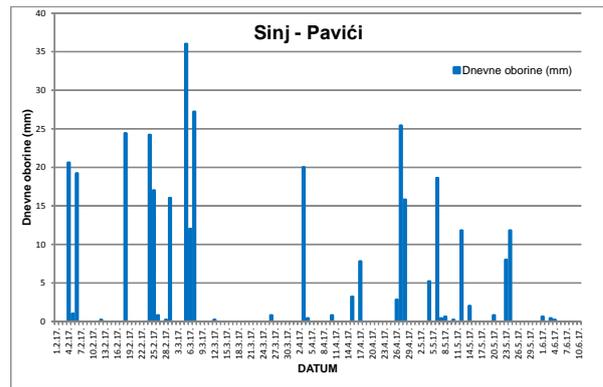
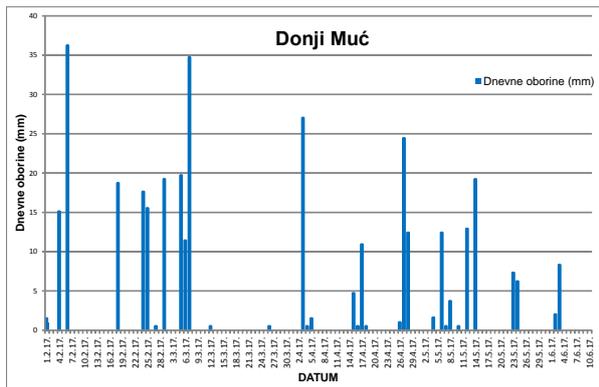
Slika 1: Mjesečne količine oborina na klimatološkoj postaji Split-Marjan u usporedbi s višegodišnjim mjesečnim srednjacima (prema: [http://klima.hr/klima\\_arhiva.php](http://klima.hr/klima_arhiva.php))

Nakon sušnog siječnja u veljači je zabilježena prosječna količina oborina. Ožujak je bio malo ispod prosjeka dok su naredni mjeseci bili izrazito sušni. Treba napomenuti da je glavina oborina za ožujak zabilježena u razdoblju od 6. do 9.3. (slika 2), dakle neposredno prije izvođenja trasiranja (10.3.2017.).

Za prikaz situacije na širem području korišteni su podaci motrenja oborina na kišomjerima Sinj-Pavići, Donji Muć, Klis i Split-Duilovo dostupni na stranici <https://pljusak.com/>.



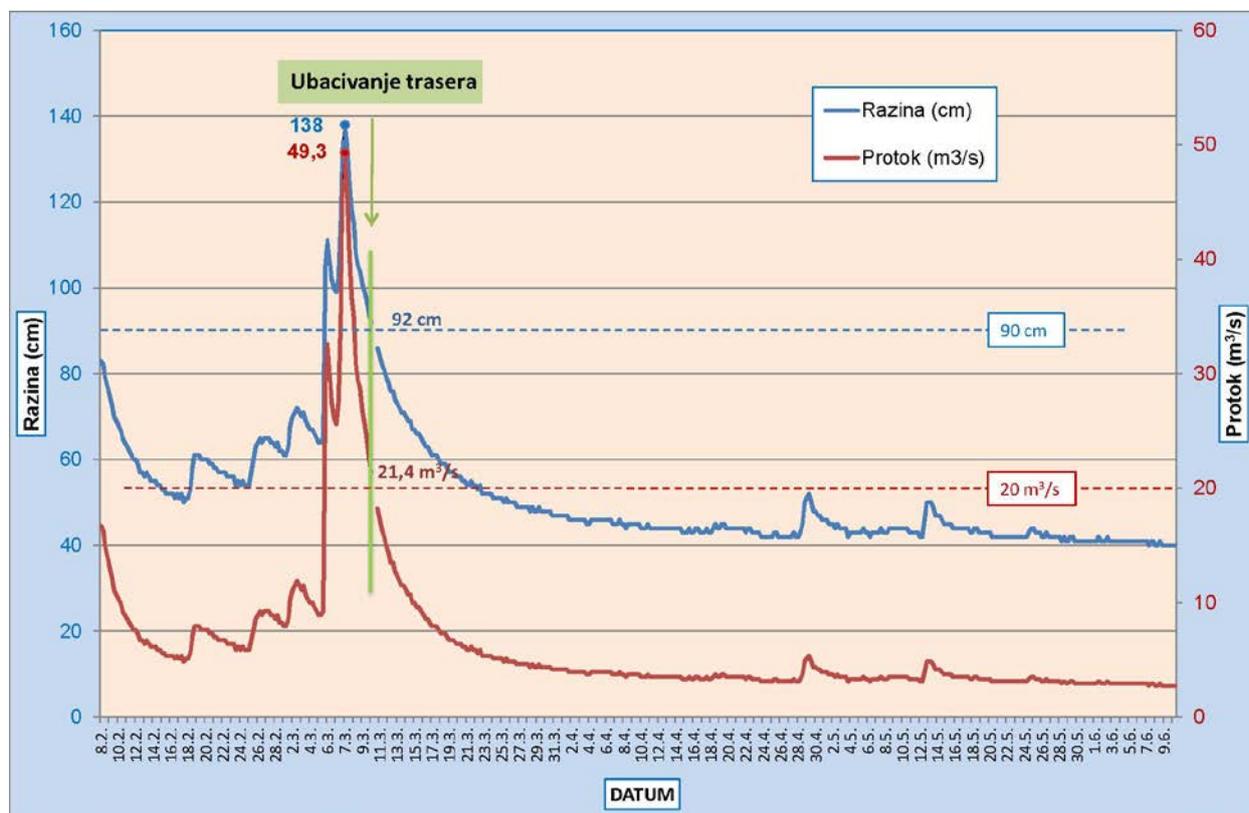
Slika 2: Dnevne količine oborina za mjesec ožujak 2017. na klimatološkoj postaji Split-Marjan (prema: [http://klima.hr/klima\\_arhiva.php](http://klima.hr/klima_arhiva.php))



Slika 3: Dnevne oborine na kišomjerima Donji Muć, Sinj-Pavić, Klis i Split-Duilovo za razdoblje od 1.2. do 10.6.2017. prema podacima <https://pljusak.com/>

Nakon nekoliko kišnih dana u veljači s dnevnim oborinama od 20-ak mm, u prvom dijelu ožujka (5. do 7.3.) na širem području palo je između 56 i 75 mm oborina. One su imale za posljedicu formiranje visokog vodnog vala na Jadru i ostalim izvorištima.

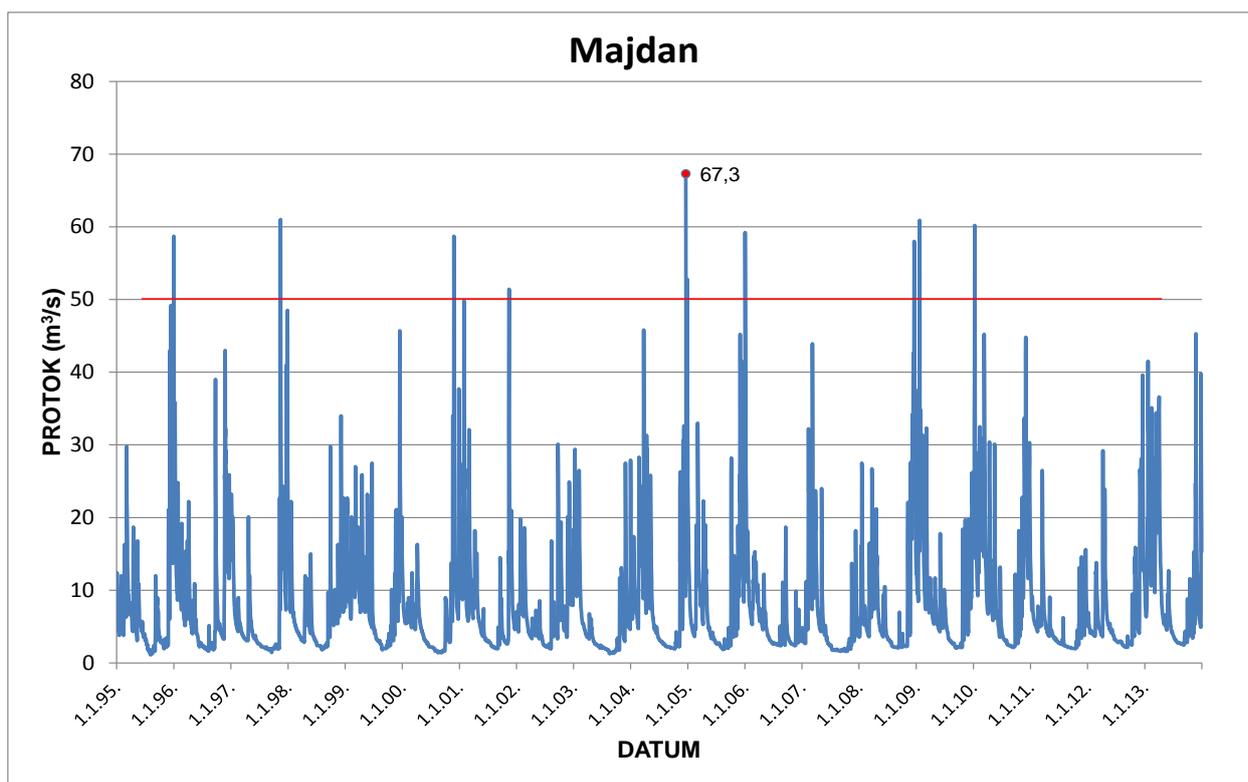
Razina vode i protok na vodomjernom profilu Jadro-Majdan za razdoblje od 8.2. do 10.6.2017. prikazani su na slici 4. Premda se podaci mjerenja registriraju automatski svakih 30 minuta, za izradu nivograma i hidrograma korištena su očitavanja u 6, 12, 18 i 24 sata. Izvor podataka je službena stranica hidrološkog odjela DHMZ-a <http://hidro.dhz.hr/>.



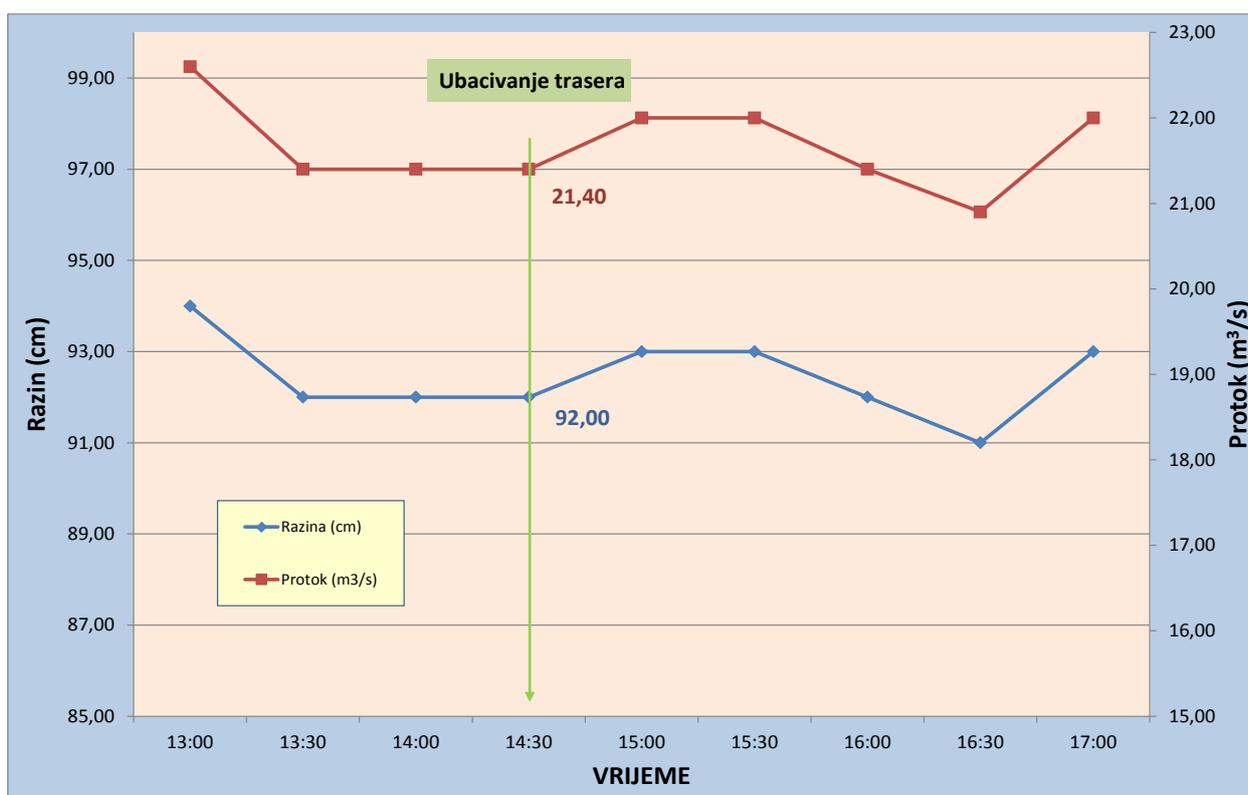
Slika 4: Nivogram i hidrogram Jadra na referentnom vodomjernom profilu Majdan

Porast izdašnosti bilježi se od poslijepodnevni sati 5.3. do postizanja maksimuma 7.3. u 23 sata. Uz razinu od 138 cm protok Jadra je tada dosegao 49,3 m<sup>3</sup>/s. Ovako visoki vodni val imao je za posljedicu zamućenje vode na izvoru Jadra što je izazvalo probleme u vodoopskrbi. Da se radi o vrlo visokom vodnom valu najbolje pokazuje hidrogram mjerne postaje Majdan za razdoblje od 1.1.1995. do 31.12.2013. (19 godina) prikazan na slici 5. Vidljivo je da se protoci na razini 50 m<sup>3</sup>/s javljaju vrlo rijetko, obično svake 2-3 godine.

Trasiranje je izvedeno 10.3.2017. u vrijeme opadanja opisanog vodnog vala. Traser je upušten u podzemlje u vremenu od 14:20 do 14:40 sati (usvojeno srednje vrijeme 14:30). U to vrijeme na vodomjernom profilu Majdan izmjerena je razina vode od 92 cm, odnosno protok je bio 21,4 m<sup>3</sup>/s. Nivogram i hidrogram vodomjernog profila Majdan u vrijeme upuštanja trasera detaljnije je prikazan na slici 6. Navedeni podaci nedvojbeno potvrđuju da je trasiranje izvedeno u skladu s izdanim Vodopravnim uvjetima (KLASA: UP/1-325-01/17/ 0000761, URBROJ: 374-24-2-17-2, Datum: 15.02.2017) i Očitovanjem Hrvatskih voda (>90 cm i protok >20,3 m<sup>3</sup>/s).



Slika 5: Hidrogram vodomjerne postaje Jadro-Majdan za razdoblje 1995.-2013. (Prema: DHMZ - dnevni podaci).



Slika 6: Nivogram i hidrogram Jadra na referentnom vodomjernom profilu Majdan u vrijeme neposredno prije i nakon ubacivanja trasera.

Ovdje je važno naglasiti da pored formalnog zadovoljenja zadanog kriterija za trasiranje u stanju visokih voda, provedeno testiranje izvedeno je u vrijeme povlačenja izuzetno visokog vodnog vala, a u hidrogeološkoj praksi smatra se da su upravo to uvjeti najbržeg tečenja podzemnih voda.

Kroz razdoblje opažanja koje je trajalo od 10.3. do 10.6.2017. godine (92 dana) hidrološka situacija znatno se promijenila. Budući da su u travnju i svibnju pale ispodprosječne količine oborina (slika 1) došlo je do postupnog pada protoka Jadra te je on koncem svibnja opao na svega 3 m<sup>3</sup>/s. Premda su u tom razdoblju na širem području zabilježene određene količine oborina (slika 3), one nisu bile dovoljne za značajnije povećanje protoka Jadra (slika 4).

## 5. OPAŽAČKA MREŽA I DINAMIKA UZORKOVANJA

Izvori koji su opažani po ubacivanju trasera, dinamika i način njihovog uzorkovanja definirani su ugovorenim Programom istraživanja te Elaboratom istraživanja izrađenim u skladu s vodopravnim uvjetima i odobrenim od strane Hrvatskih voda. Zbog izuzetne važnosti ovog istraživanja, opažanje pojave trasera iznimno je pomno organizirano, a dinamika uzorkovanja pojačana je u odnosu na onu predviđenu spomenutim dokumentima. Dinamika opažanja pregledno je prikazana u tablici 1, a lokacije opažanih izvorišta prikazane su na slici 7.

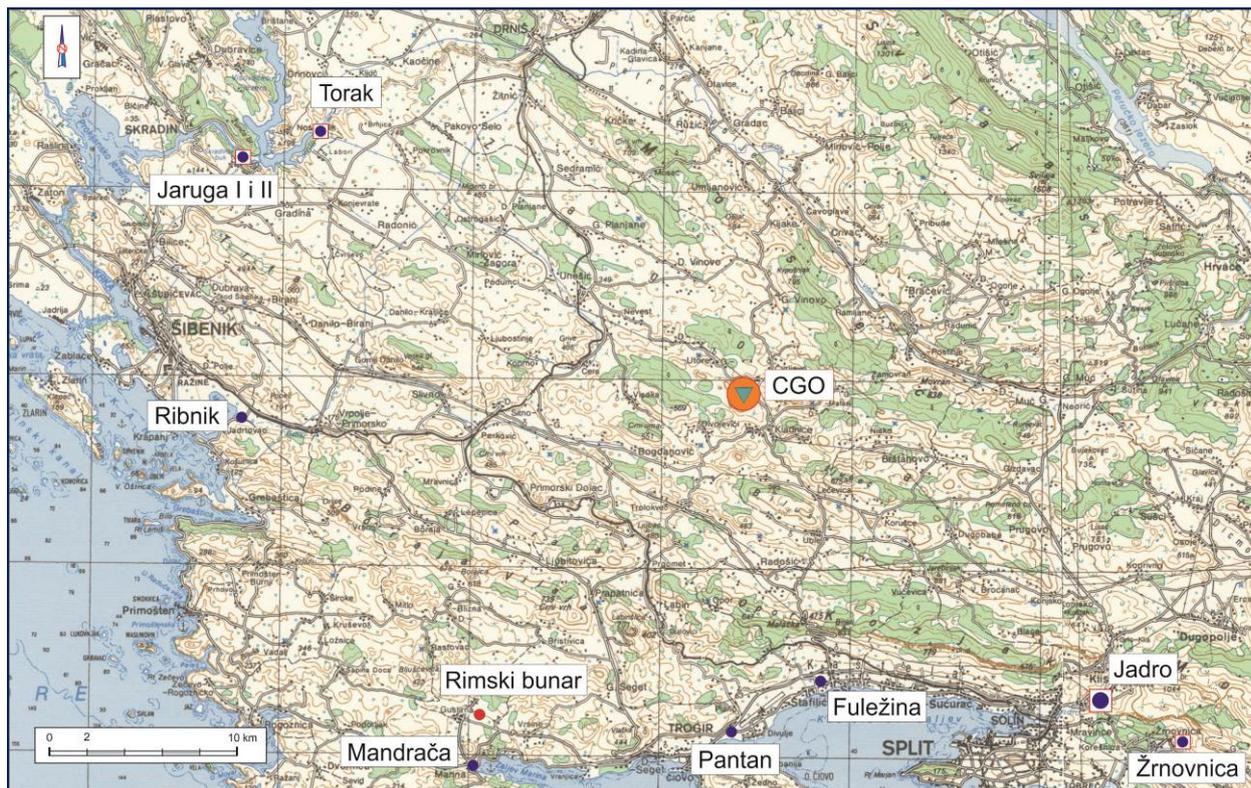
Trasiranje jame na lokaciji Šilovića doci u Kladnjicama izvedeno je 10.03.2017. godine u 14:30 sati. U prijedodnevnom satima toga dana, odnosno prije upuštanja trasera, zasebna ekipa Hrvatskog geološkog instituta obavila je prikupljanje „nultih“ uzoraka i montažu mjerne opreme na izvorima predviđenim za praćenje pojave i istjecanja trasera.

Tablica 1: Pregled lokacija, dinamike i načina opažanja trasera

Naziv izvora	Udaljenost (km)	Opazanje od 10. do 25.3.	Opazanje od 25.3. - 10.6.
		15 dana	77 dana
Žrnovnica	29,80	Opazači 2 x dnevno	Opazači 1 x dnevno
Jadro	25,15	Logger + opazači 2 x dnevno	Logger + opazači 1 x dnevno
Fuležina	15,73	Opazači 2 x dnevno	Opazači 1 x dnevno
Pantan	17,90	Logger + opazači 2 x dnevno	Logger + opazači 1 x dnevno
Marina (Mandrača)	24,37	Opazači 2 x dnevno	Opazači 1 x dnevno
Rimski bunar	22,85	Logger	Logger
Ribnik	26,21	Opazači 2 x dnevno	Opazači 1 x dnevno
Jaruga I i II	29,1	Logger + opazači 2 x dnevno	Logger + opazači 1 x dnevno
Torak	26,7	Opazači 1 x + aktivni ugljen	Aktivni ugljen

Izvor Jadra, vodozahvat Rimski bunar i crpilište Jaruga opremljeni su automatskim terenskim fluorometrima tipa GGUN-FL, tvrtke Albillia iz Švicarske (Jaruga nije bila predviđena). Uređaji su programirani za opažanje u intervalima od po 15 minuta. Pored toga na vodozahvatima Jadra i Jaruge, mimo programa, uspostavljeno je redovito prikupljanje kontrolnih uzoraka podzemne vode od strane djelatnika zaštitarske službe, odnosno vodocrpilišta. Na Jaruzi uzorci su uzimani na vodozahvatu Jaruga I, a mjerni instrument bio je montiran u sabirnom bazenu u koji se slijevaju vode s izvora Jaruga I i Jaruga II.

Do 25.3. na Jadru uzorci su prikupljeni jednom, a na Jaruzi dva puta dnevno. Do kraja opažanja 10.6.2017. kontrolni uzorci su na ovim izvorima prikupljeni jednom dnevno. Neovisno od toga, do 21.03. uzorke Jadra svakodnevno su prikupljali i djelatnici Regionalnog centra čistog okoliša (RCCO) iz Splita. Na vodozahvatu Rimski bunar, budući da na njemu nema stalne posade, kontrolne uzorke su tijekom očitavanja i kontrole rada postavljenog mjernog uređaja u devet navrata prikupljali djelatnici HGI. Kontrola rada mjernih uređaja, očitavanje podataka i uzorkovanje vode izvedeno je u 9 navrata i na izvorištima Jadra i Jaruge. Na ova tri izvorišta do uključujući 10.06.2017. godine, dakle tijekom 92 dana od utiskivanja trasera, ukupno je prikupljeno 226 uzorka podzemne vode.



Slika 7: Položaj opažanih izvorišta i lokacija trasirane jame kod CGO

**Izvorište Pantan** također je opremljeno automatskim mjernim uređajem no ovdje je korišten uređaj tipa Cyclops 7, Precision Measurement Engineering, Inc. USA, programiran za očitavanja svakih 10 minuta. Pored toga na izvoru su do 25.03.2017. od strane angažiranog opažača svakodnevno prikupljaju dva kontrolna uzorka, a do 10.06. po jedan kontrolni uzorak dnevno. Pored opažača kontrolne uzorke povremeno su prikupljali djelatnici RCCO i HGI. Do 10.06.2017. godine ukupno je prikupljen 121 uzorak podzemne vode.

Na izvorima **Žrnovnica**, **Fuležina**, **Marina (Mandrača)** i **Ribnik kod Jadrtovca**, organizirano je prikupljanje uzoraka od strane angažiranih opažača dva puta dnevno, odnosno svakih 12 sati do 25.03.2017. U nastavku do 10.06.2017., sukladno programu istraživanja, uzorci su prikupljeni jednom dnevno. U trinaest navrata ovi su izvori uzorkovani i od strane djelatnika HGI, te je na njima do 10.05. ukupno prikupljeno 480 uzoraka (120 po izvoru).

**Izvorište Torak** je zbog teškog pristupa i nenaseljenosti bilo predviđeno pratiti pomoću doza s aktivnim ugljenom. Međutim, zbog prisutnosti terenske ekipe HGI, te angažmanom RCCO na ovom su izvoru također do 21.03. prikupljeni uzorci podzemne vode jednom dnevno. Daljnja uzorkovanja obavljena su samo od strane djelatnika HGI tijekom zamjene doza s aktivnim ugljenom. Ukupno je prikupljeno 20 uzoraka vode i 10 uzoraka aktivnog ugljena (za razdoblja: 10.3.-15.3.; 15.3.-21.3.; 21.3.-3.4.; 3.4.-11.4.; 11.4.-19.4.; 19.4.-27.4.; 27.4.-10.5.; 10.5.-22.5.; 22.5.-1.6. i 1.6.-10.6.).

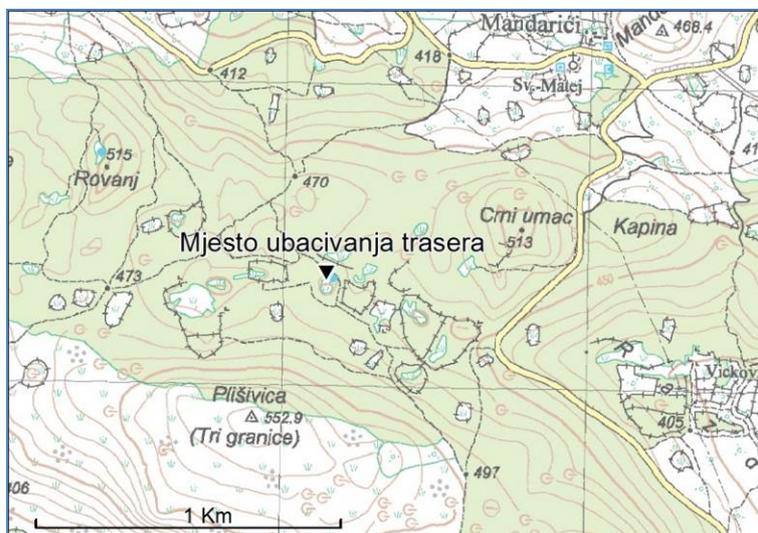
Slijedom prethodno navedenog u promatranom razdoblju od 10.03. do 10.06.2017. na opažanim izvorištima ukupno je prikupljeno 847 uzoraka podzemne vode i 10 doza s aktivnim ugljenom.

Angažirani opažači bili su opremljeni kutijama za čuvanje uzoraka, a uzorci su dostavljani u laboratorij za hidrokemiju HGI u pravilu svakih 7-10 dana. Svi prikupljeni uzorci obrađeni su na laboratorijskom digitalnom fluorescence spectrometru Perkin-Elmer LS 55.

## 6. UPUŠTANJE TRASERA

Trasiranje je izvedeno upuštanjem trasera u istu jamu koja je bila trasirana i tijekom istraživanja 2006. godine (Kuhta & Stroj, 2006) u uvjetima srednjih do niskih voda. Podsjećamo da je tom prilikom pojava trasera registrirana na izvoru Jadra nakon 66 dana uz prividnu brzinu toka od 0,44 cm/s.

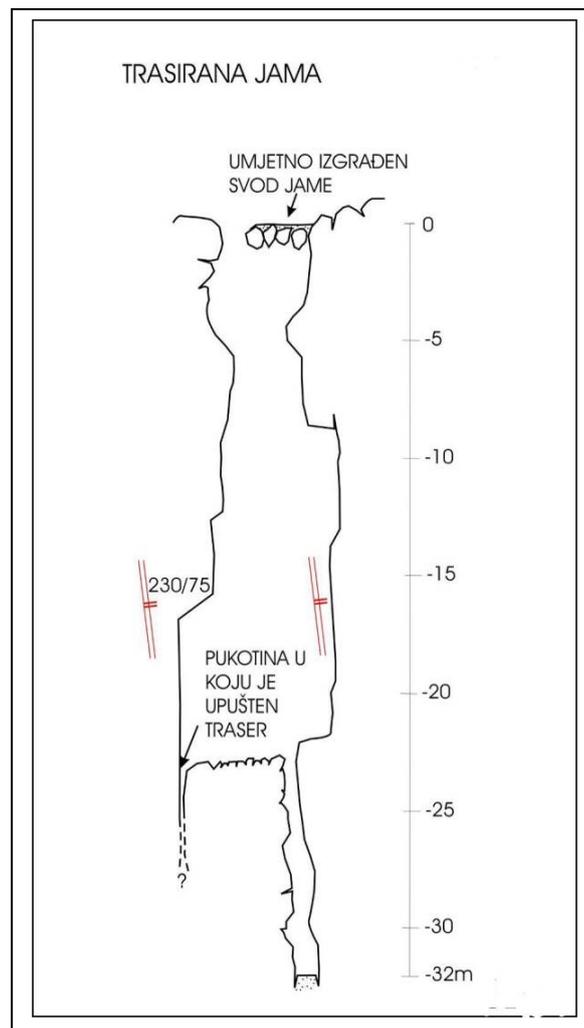
Koordinate ulaza u jamu su: x 482.847; y 4.839.076, a približna kota ulaza je 456 m n.m. (slika 8).



Slika 8: Lokacija trasirane jame

Jama je duboka 32 m (slika 9), a traser je kao i kod prethodnog trasiranja utiskivan u proširenu tektonsku pukotinu na dubini od približno 23 m (fot. 1 i 2). Budući da je tijekom prethodnog trasiranja u ovu pukotinu bilo uspješno utisnuto ukupno 100 m<sup>3</sup> vode, njena upojnost nije bila upitna. Kanal koji se na suprotnoj strani spušta još 9 m niže nije odabran zbog znatne količine

gline na njegovo dnu i vrlo slabe upojnosti, što je konstatirano još tijekom pripreme prethodnog trasiranja.



*Slika 9: Topografski profil trasirane jame*

Ekipa Hrvatskog geološkog instituta na teren je stigla oko 10:00 sati, te je na lokaciji zatekla vatrogasnu ekipu s cisternama vode. Sve tehničke pripreme za trasiranje, što je uključivalo transport boje i drugih pomagala do otvora jame, te postavljanje vatrogasnog crijeva kroz jamu obavljene su do 12:00 sati.

Montažu vatrogasnog cjevovoda od okretišta cisterni do jame (cca 200m) i dopremu vode za ispiranje trasera obavili su članovi DVD iz Podstrane pomoću cisterni zapremine 12 i 7 m<sup>3</sup>. Radi ubrzanja postupka kasnije je angažirana i Javna vatrogasna postrojba iz Splita s dodatnom cisternom zapremine 10 m<sup>3</sup>. Vatrogasnim cisternama ukupno je dopremljeno i u jamu utisnuto 104 m<sup>3</sup> čiste vode punjene na hidrantu u Lećevici.



*Fot. 1: Vatrogasno crijevo s čeličnom cijevi na kraju ugurano oko 1 m u trasiranu pukotinu. Zelena voda oko crijeva posljedica je ulijevanja u jamu vode od pranja korištenih posuda.*



*Fot. 2: Detalj proširene tektonske pukotine u koju je utiskivan traser a potom i voda za ispiranje.*



Fot. 3: 100 kg Na-floresceina i 30 kg Na lužine pripremljeni za transport na lokaciju trasiranja.



Fot. 4: Priprema trasera

Premda je iz prethodnog testiranja bila poznata vrlo dobra upojnost spomenute proširene tektonske pukotine, ona je prije upuštanja trasera isprana s 4 m<sup>3</sup> čiste vode.

Trasiranje je izvedeno 10.03.2017. godine pomoću 100 kg Na-floresceina (uranin) visoke koncentracije, otopljenog u približno 450 L vode s dodatkom 30 kg NaOH za bolju topljivost boje (fot. 3). Nakon što je traser razmućen u bačvama zapremine 200 L (fot. 4) u vremenu od 14:20 do 14:40 sati izvedeno je njegovo upuštanje u jamu (usvojeno srednje vrijeme upuštanja trasera

---

Trasiranje tokova podzemnih voda iz jame na lokaciji Šilovića Doci u Kladnjicama, općina Lečevica

je 14:30). Potom je uslijedilo njegovo ispiranje i potiskivanje pomoću ukupno 100 m<sup>3</sup> vode. Zbog udaljenosti lokacije od hidranta u Lećevici, te vremena potrebnog da se cisterne napune, a potom i isprazne, ovaj je postupak trajao do nešto iza 22:00 sata. Postavljeni vatrogasni cjevovod i oprema u jami raspoređeni su do 23 sata, kada su lokaciju napustile vatrogasne ekipe i djelatnici Instituta.

Cijeli postupak pripreme i trasiranja izveden je uz veći broj predstavnika medija i promatrača. Važno je istaknuti da su tijekom postupka upuštanja trasera bili prisutni:

- Želimir Pekaš dipl.ing.geol., iz Sektora za korištenje voda, Hrvatske vode - Zagreb, odgovorna osoba za provedbu trasiranja ispred Hrvatskih voda. Gospodin Pekaš provjerio je količinu dopremljenog trasera, te nakon provjere stanja na vodomjernom profilu Majdan izdao dozvolu za izvođenje trasiranja.
- mr.sc. Toni Carević dipl.ing.građ., voditelj Službe korištenja voda, VGO za slivove južnog Jadrana, Split
- Anđelko Parčina, predsjednik Ekološke udruge "Rast Zagore" iz Lećevice
- Vinko Grgurević, predsjednik Ekološke udruge "Zvona Kaštela"
- Tomislav Šuta, privremeni upravitelj Regionalnog centra čistog okoliša iz Splita (Naručitelj)

Kako je već istaknuto u poglavlju o hidrološkim uvjetima u vrijeme trasiranja, prema Očitovanju o uvjetima provedbe planiranih hidrogeoloških istraživanja u svrhu utvrđivanja prividne brzine podzemnih tečenja u uvjetima velikih voda, izdanih od strane Hrvatskih voda (KLASA: 351-03/17-01/0000083, URBROJ: 374-1-6-17-4, Datum: 01.03.2017.), uvjeti velikih voda u slivu Jadra su onda kada je vodostaj na vodomjernoj postaji Majdan minimalno 90 cm, odnosno protok minimalno 20,3 m<sup>3</sup>/s. Budući da se prema podacima s vodomjernog profila Majdan u vrijeme trasiranja protok na rijeci Jadro kretao između 21,4 i 22,0 m<sup>3</sup>/s, može se konstatirati da je trasiranje izvedeno sukladno spomenutom Očitovanju, kao i izdanim Vodopravnim uvjetima Hrvatskih voda (KLASA: UP/1-325-01/17/ 0000761, URBROJ: 374-24-2-17-2, Datum: 15.02.2017.).

Isto tako treba naglasiti kako je i sa hidrogeološkog aspekta trasiranje provedeno u uvjetima povlačenja izrazito visokog vodnog vala, što se smatra uvjetima pojave najvećih brzina tečenja podzemnih voda.

## 7. REZULTATI TRASIRANJA I DISKUSIJA

Na temelju obavljenih očitavanja terenskih mjernih uređaja i laboratorijske analize 847 prikupljenih uzoraka podzemnih voda, kao i nakon obrade 10 uzoraka aktivnog ugljena, **nedvojbeno se može konstatirati da u razdoblju od upuštanja trasera 10.03.2017. godine do uključujući 10.06.2017. godine, dakle kroz razdoblje opažanja od 92 dana, pojava trasera nije registrirana niti na jednom od opažanih izvora.**

Razloga za izostanak pojave boje može biti više. Jedan od njih je i premala količina ubačenog trasera i njegovo veliko razrjeđenje u uvjetima velikih voda. Ipak, ovaj je razlog malo vjerojatan. Činjenica jest da se kod trasiranja u kojima se pojava boje očekuje na izvorima uključenim u javnu vodoopskrbu, a u ovom slučaju to su Jadro, Žrnovnica, Jaruga i Rimski bunar, nastoji upotrijebiti što manja količina trasera, prvenstveno zbog problema u vodoopskrbi koje može izazvati pojava obojene vode. Premda su svi kolorimetrijski traseri (boje) koji se koriste pri ovakvim istraživanjima potpuno neškodljivi za ljude i okoliš, pojava obojene vode u kućanstvima obično izaziva nelagodu i pomutnju.

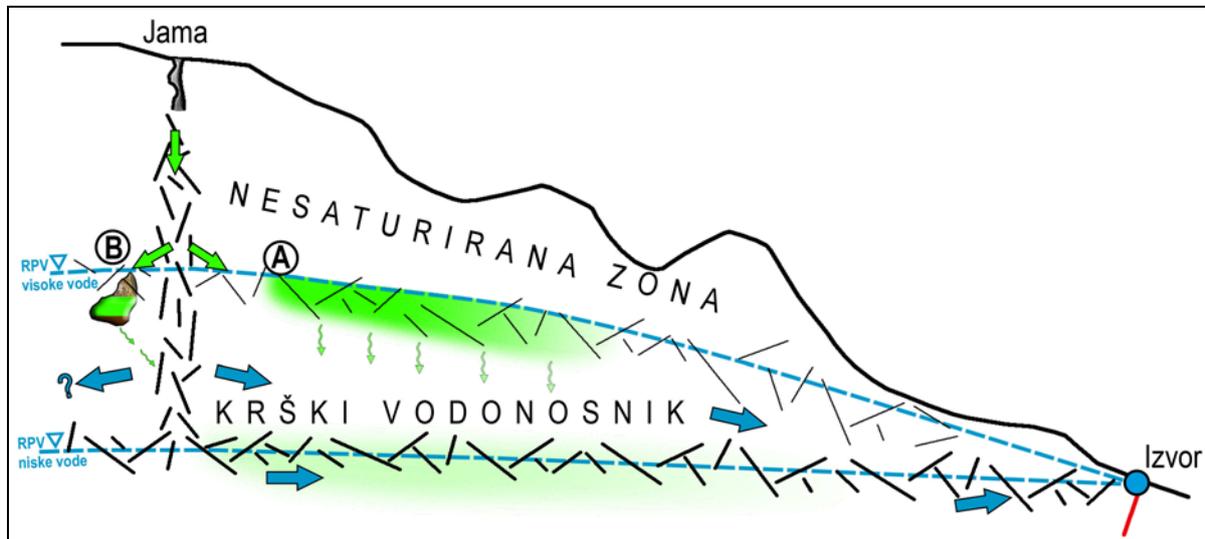
Zbog činjenice da je trasiranje trebalo izvesti u uvjetima visokih voda, dakle u uvjetima očekivanog povećanog razrjeđenja trasera, naizgled vrlo hrabro, korišteno je 100 kg uranina (Na-florescein). Važno je istaknuti da se ovako velika količina ovog obilježivača do sada koristila samo pri većim regionalnim trasiranjima. Tako je npr. ista količina korištena pri trasiranjima ponora naših najvećih ponornica Like i Gacke (Markov ponor, Bikina jama), kada je pojava boje registrirana na izvorima i vruljama u priobalju u zoni širokoj oko 70 km. Pritom je najduža potvrđena veza s izvorištem Novljanske Žrnovnice udaljenim 47 km. Oba trasiranja izvođena su u uvjetima visokih voda.

Na području zapadnog dijela sliva Jadra 100 kg istog trasera korišteno je pri uspješnom trasiranju Čuline Mlinice kod Kljaka i ponora u Postinju. Mučki ponor trasiran je sa 120 kg uranina ali je u to vrijeme (1978.) korišten traser koncentracije 50 %, dok se danas koristi uranin visoke koncentracije > 98 % (dakle tadašnjih 120 kg približno odgovara današnjim 60 kg).

Nadalje, tijekom prethodnog trasiranja iste jame uz lokaciju CGO korišteno je 60 kg uranina, što je bilo dovoljno da se utvrdi veza s izvorom Jadra u maksimalnoj koncentraciji od 0,0062 mg/L. To je tri reda veličine iznad donje granice detekcije, a istovremeno i približno 3-4 puta manje od vidljive koncentracije. Budući da je zadani protok za visoke vode od minimalno 20,3 m<sup>3</sup>/s približno 4 puta veći od protoka pri prethodnom trasiranju (5,16 m<sup>3</sup>/s), ocijenjeno je da bi 100 kg uranina trebalo biti dovoljno za trasiranje u visokim vodama, a da pritom ne dođe do pojave trasera u previsokoj (vidljivoj) koncentraciji.

Ukoliko je količina trasera bila dovoljna, u što vjerujemo, nepojavljivanje trasera kroz razdoblje opažanja od 92 dana, vjerojatno je uzrokovano njegovim zadržavanjem u slabije propusnom ili potpuno zatvorenom dijelu krškog podzemlja. Budući da je trasiranje izvedeno u uvjetima visoke razine podzemnih voda moguće je da se traser utisnuo u sustave uskih tektonskih pukotina visoko iznad glavne drenažne zone. Uslijed pada razine podzemnih voda pri povlačenju visokog vodnog vala, došlo je prvenstveno do pražnjenja većih podzemnih kanala, dok je dreniranje užih pukotinskih sustava s utisnutom bojom znatno sporiji proces. Sporo dreniranje uskih pukotina ujedno znači i dugotrajan unos, ali malih količina trasera u glavne drenažne sustave, što ima za posljedicu veliko razrjeđenje na njegovom dugom putu do mjesta istjecanja. Ovakav scenarij shematski je prikazan na slici 10 (varijanta A). Moguća je i druga varijanta (B), prema kojoj se u

uvjetima visokih razina podzemnih voda traser zajedno s vodom za ispiranje utisnuo u nepoznatu, potpuno ili djelomično zatvorenu podzemnu šupljinu. Nakon povlačenja visokog vodnog vala traser je jednostavno mogao ostati zarobljen visoko iznad zone glavnih podzemnih tokova. Iz te „klopke“ on se može postupno drenirati kroz sustave sitnih pukotina, što ima za posljedicu veliko razrjeđenje kao i u prethodnom slučaju, ili u njoj zaostati do narednog izrazito visokog vodnog vala kada će biti bar dijelom ispran.



Slika 10: Konceptualni model tečenja podzemne vode i transporta trasera u vrijeme trasiranja.

Na mogućnost dužeg zadržavanja trasera u podzemlju na području mikrolokacije CGO upućuju i druge činjenice. Kao prvo treba podsjetiti da se traser nije pojavio na opažanim izvorima niti prilikom trasiranja bušotine B-2, smještene na samoj lokaciji CGO.

Nadalje, prema rezultatima geološkog kartiranja na dijelu razmatrane lokacije i u njejoj podlozi zastupljene su naslage iz donjeg dijela formacije Gornjeg Humca, koje su izdvojene kao član s horizontima dolomita (Korbar i dr., 2006). U tom se horizontu sivi do smeđi kasnodijagenetski dolomiti izmjenjuju sa srednjedebeleslojevitim vapnencima. Uz poprečne lomove, dolomitizacija je zahvatila i deblje pakete vapnenaca, pa granica vapnenac – dolomit može imati interkalirajući karakter. U slijedu naviše, odnosno sjeverno od CGO, horizonti dolomita postupno izostaju, a nepravilno se izmjenjuju debeloslojeviti i masivni paketi vapnenaca. U hidrogeološkom smislu ovaj član je ocijenjen kao osrednje propustan, za razliku od okolnih vapnenačkih stijena koje su dobre propusnosti. Opisani geološki uvjeti na užem razmatranom području pogoduju razvoju spomenutih scenarija zadržavanja trasera u podzemlju.

Premda bi za ovdje razmatranu problematiku pojava trasera na nekom od opažanih izvora bila poželjna i pojednostavila bi tumačenje rezultata, određeni zaključci mogu se donijeti i s negativnim rezultatima.

Nepojavljivanje trasera na opažanim izvorištima u razdoblju od 92 dana nakon njegovog ubacivanja pokazuje da je i u uvjetima visokih voda podzemno otjecanje s razmatrane mikrolokacije vrlo sporo. Naime, u slučaju brzih tokova, traser bi se na izvorima pojavio u visokim koncentracijama, te ne bi bilo moguće da prođe nezabilježen.

Budući da su od ubacivanja trasera (10.3.) do posljednjih prikupljenih i obrađenih uzoraka (10.6.) protekla 92 dana, a s obzirom na udaljenost mjesta opažanja od mjesta ubacivanja, može se konstatirati da će eventualna pojava trasera na nekom od opažanih izvora biti uz prividnu brzinu tečenja znatno manju od 1 cm/s. Slijedom toga, a temeljem uvjeta iz Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/2011 i 47/2013), može se konstatirati da se lokacija planiranog CGO, prema oba postavljena kriterija (vrijeme zadržavanja i maksimalna prividna brzina), nalazi unutar IV. zone sanitarne zaštite bilo kojeg od opažanih vodozahvata za javnu vodoopskrbu (Jadro, Žrnovnica; Rimski bunar; Jaruga i Torak) (tablica 2).

*Tablica 2: Potrebno vrijeme nailaska trasera u danima za prividne brzine 1 i 3 cm/s.*

Naziv izvora	Udaljenost (km)	Broj dana za $v > 3$ cm/s	Broj dana za $v = 3$ do 1 cm/s
Žrnovnica	29,80	< 11,5	11,5 - 34,5
Jadro	25,15	< 9,7	9,7 - 29,1
Fuležina	15,73	< 6,1	6,1 - 18,2
Pantan	17,90	< 6,9	6,9 - 20,7
Marina (Mandrača)	24,37	< 9,4	9,4 - 28,2
Rimski bunar	22,85	< 8,8	8,8 - 26,4
Ribnik	26,21	< 10,1	10,1 - 30,3
Jaruga I i II	29,1	< 11,2	11,2 - 33,7
Torak	26,7	< 10,3	10,3 - 30,9

## 8. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj provedenih hidrogeoloških istraživanja, odnosno trasiranja podzemnih tokova bio je utvrditi smjerove i prividne brzine tečenja podzemnih voda s područja Šilovića Doca u Kladnjicama u Općini Lećevica **u hidrološkim uvjetima visokih voda.**

Trasiranje je izvedeno 10.3.2017. u vrijeme opadanja opisanog vodnog vala s 100 kg Na-fluoresceina. Traser je upušten u jamu na užoj lokaciji CGO-a u vremenu od 14:20 do 14:40 sati (usvojeno srednje vrijeme 14:30). U to vrijeme na vodomjernom profilu Majdan izmjerena je razina vode od 92 cm, odnosno protok je bio 21,4 m<sup>3</sup>/s. Navedeni podaci nedvojbeno potvrđuju da je trasiranje izvedeno u skladu s izdanim Vodopravnim uvjetima (KLASA: UP/1-325-01/17/0000761, URBROJ: 374-24-2-17-2, Datum: 15.02.2017.) i Očitovanjem Hrvatskih voda (>90 cm i protok >20,3 m<sup>3</sup>/s).

Ovdje je važno naglasiti da pored formalnog zadovoljenja zadanog kriterija za trasiranje u stanju visokih voda, provedeno testiranje izvedeno je u vrijeme povlačenja izuzetno visokog vodnog vala, a u hidrogeološkoj praksi smatra se da su upravo to uvjeti najbržeg tečenja podzemnih voda.

Izvori koji su opažani po ubacivanju trasera, dinamika i način njihovog uzorkovanja definirani su ugovorenim Programom istraživanja te Elaboratom istraživanja izrađenim u skladu s vodopravnim uvjetima i odobrenim od strane Hrvatskih voda. Opažani su izvori Žrnovnica, Jadro, Fuležina, Pantan, Marina (Mandrača), Rimski bunar, Ribnik, jaruga I i II, Torak. Na izvorima Jadro, Pantan, Rimski bunar i Jaruga su bili postavljeni loggeri za kontinuirano praćenje pojave trasera.

Na temelju obavljenih očitovanja terenskih mjernih uređaja i laboratorijske analize 847 prikupljenih uzoraka podzemnih voda, kao i nakon obrade 10 uzoraka aktivnog ugljena, **nedvojbeno se može konstatirati da u razdoblju od upuštanja trasera 10.03.2017. godine do uključujući 10.06.2017. godine, dakle kroz razdoblje opažanja od 92 dana, pojava trasera nije registrirana niti na jednom od opažanih izvora.**

Budući da su od ubacivanja trasera (10.3.) do posljednjih prikupljenih i obrađenih uzoraka (10.6.) protekla 92 dana, a s obzirom na udaljenost mjesta opažanja od mjesta ubacivanja, može se konstatirati da će eventualna pojava trasera na nekom od opažanih izvora biti uz prividnu brzinu tečenja znatno manju od 1 cm/s. Slijedom toga, a temeljem uvjeta iz Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/2011 i 47/2013), može se konstatirati da se lokacija planiranog CGO, prema oba postavljena kriterija (vrijeme zadržavanja i maksimalna prividna brzina), nalazi unutar IV. zone sanitarne zaštite bilo kojeg od opažanih vodozahvata za javnu vodoopskrbu (Jadro, Žrnovnica; Rimski bunar; Jaruga i Torak).

U Zagrebu, 30.lipnja, 2017.

\_\_\_\_\_  
Mladen Kuhta, dipl. ing. geol.

\_\_\_\_\_  
Dr sc. Tihomir Frangen, dipl. ing. geol

## 9. Dokumentacija

- ECOINA (2004): Elaborat o kompleksnim geološkim istraživanjima područja „Kladnjice“ – Lečevica. Zagreb.
- FRITZ, F. (1970): Geološka građa i hidrogeološki odnosi sabirnog područja izvora Pantan. Arhiv OVP, Split.
- FRITZ, F. (1979): Općina Split – Hidrogeološka studija. Fond str. dok. HGI br. 191/79, Zagreb.
- FRITZ, F., PAVIČIĆ, A., RENIĆ, A., KAPELJ, J., (1988): Izvori Jadro i Žrnovnica. Dio hidrogeoloških istražnih radova potrebnih za prijedlog zona sanitarne zaštite izvora. Fond str. dok. HGI br. 140/89, Zagreb.
- GEO-CAD d.o.o. (2010): Izvorište Jadra i Žrnovnice Split, zone sanitarne zaštite, Zagreb.
- KORBAR T., L. FUČEK, D. PALENIK, D. MATIČEC, M. KUHTA, A. STROJ (2006): Geološka i hidrogeološka istraživanja na području predložene lokacije Centra za gospodarenje otpadom Splitsko-dalmatinske županije kod Lečevice. Hrvatski geološki institut, Zagreb. Fond stručne dokumentacije 68/06. Studija.
- KUHTA, M., STROJ, A. (2006): Geološka i hidrogeološka istraživanja na području predložene lokacije Centra za gospodarenje otpadom Splitsko-dalmatinske županije kod Lečevice. Dopunsko izvješće. Rezultati trasiranja jame na lokaciji Centra. Hrvatski geološki institut, Zagreb. Fond stručne dokumentacije 90/06.
- KUHTA, M. & BRKIĆ, Ž. (2008): Water Tracing Tests in the Dinaric Karst of Croatia. Integrating Groundwater Science and Human Well-being, Taniguchi, M., Yoshioka, R., Sinner, A., Aureli, A. (ur), Proceedings CD, Toyama, Japan.