



## HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT

Sachsova 2, P.O. box 268, HR-10001 Zagreb, Croatia  
Telefon: +38516160 888, Fax: +38516144713, OIB: 43733878539  
E-mail: [ured@hgi-cgs.hr](mailto:ured@hgi-cgs.hr)

Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju



### UTVRĐIVANJA ZONE ONEČIŠĆENJA UGLJIKOVODICIMA DESNE OBALE ZRMANJE NIZVODNO OD OBROVCA

Broj: 053/20

Predstojnik Zavoda:

Ravnatelj Instituta:

dr.sc. Josip Terzić, dipl.ing.geol.

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

Zagreb, studeni 2020.

**PROJEKT:** **UTVRĐIVANJA ZONE ONEČIŠĆENJA  
UGLJIKOVODICIMA DESNE OBALE ZRMANJE  
NIZVODNO OD OBROVCA**

**NARUČITELJ:** **HRVATSKE VODE  
10000 Zagreb, Ul. grada Vukovara 220**

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

**UGOVOR:** **Ev. broj: 10-027/20  
Klasa: 325-01/20-10/80  
Urbroj: 374-1-2-20-7 (Hrvatske vode)  
Broj: 2475/20 (Hrvatski geološki institut)**

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

**TERENSKI RADOVI:** **Mladen Kuhta, dipl.ing.geol.  
dr.sc. Željka Brkić, dipl.ing.geol.  
Josip Kolarić, teh.  
Hrvoje Burić, teh.**

**KABINETSKA OBRADA:** **Mladen Kuhta, dipl.ing.geol.  
dr.sc. Željka Brkić, dipl.ing.geol.  
Hrvoje Burić, teh**

**AUTORI IZVJEŠTAJA:** **Mladen Kuhta, dipl.ing. geol.  
dr.sc. Željka Brkić, dipl.ing.geol.**

## Sadržaj:

	str.
1. UVOD . . . . .	4
2. PRIPREMNE AKTIVNOSTI I DINAMIKA RADOVA . . . . .	5
3. GEOLOŠKA SITUACIJA . . . . .	8
3.1. Litostratigrafski prikaz naslaga . . . . .	8
3.2. Tektonika . . . . .	10
4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE . . . . .	11
4.1. Hidrogeološke karakteristike stijena . . . . .	11
4.2. Hidrogeološki odnosi i kretanje podzemnih voda . . . . .	12
4.3. Vodne pojave . . . . .	13
5. HIDROLOŠKI UVJETI U VRIJEME TRASIRANJA . . . . .	21
6. OPAŽAČKA MREŽA I DINAMIKA UZORKOVANJA . . . . .	23
7. UPUŠTANJE TRASERA . . . . .	24
8. REZULTATI TRASIRANJA . . . . .	25
9. DISKUSIJA REZULTATA . . . . .	28
10. SAŽETAK . . . . .	32
Literatura . . . . .	33

## PRILOZI:

**Prilog 1: Hidrogeološka karta istraživanog područja (M 1:10 000)**  
(Na CD-ROM-u: Prilog 1\_HG-Karta.jpg; Prilog 1\_HG-Karta.pdf)

**Prilozi na CD-ROM-u**

**Prilog 2: Usporedni dijagram oborina (Muškovci, Gračac) i vodostaja (Zrmanja Obrovac i Berberi buk, Otuča-Gračac).** Fajl: Prilog 2\_Vodostaji i oborine.xlsx

**Prilog 3: Tablice i grafovi rezultata trasiranja.** Fajl: Prilog 3\_Glinica-Zrmanja\_Rezultati

**Prilog 4: Usporedni dijagram koncentracije trasera na opažanim izvorima i vodostaja na postaji Berberi buk.** Fajl: Prilog 4\_Korelacija Traser-Razina Zr.xlsx

**Prilog 5: Fotografska dokumentacija**

## 1. UVOD

Prve pojave istjecanja naftnih derivata na desnoj obali rijeke Zrmanje 2002. godine ukazale su na postojanje onečišćenja podzemlja ugljikovodicima u zaleđu desne obale kod Obrovca. Prema svim dosadašnjim spoznajama, pojava onečišćenja ugljikovodicima je posljedica istjecanja naftnih derivata iz spremnika napuštene Tvornice glinice Jadral. Točno vrijeme i način istjecanja naftnih derivata iz spremnika nije do kraja utvrđen, kao niti količine koje su istekle u podzemlje. S obzirom na to da je riječ o višestruko ponovljenim onečišćenjima, u kojima Republika Hrvatska i Hrvatske vode imaju višekratne troškove, zaključeno je da predmetnom problemu treba pristupiti sustavno, izradom Sanacijskog programa lokacije izvora samog onečišćenja i mjesta njegovog istjecanja.

**Utvrđivanja zone onečišćenja ugljikovodicima desne obale Zrmanje nizvodno od Obrovca** izvedeno je temeljem Ugovora sklopljenog između Hrvatskih voda (kao Naručitelja) Evidencijski broj.10-027/20, Klasa: 325-01/20-10/80, Urbroj 374-1-2-20-7 od 9. rujna 2020. godine, i Hrvatskog geološkog instituta broj 2475/20 od 10. rujna 2020. godine, Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju iz Zagreba (kao Izvršitelja).

Osnovni cilj provedenih istraživanja bio je utvrditi do kuda se proširilo onečišćenje ugljikovodicima u podzemlju te definirati zonu istjecanja ugljikovodika na desnoj obali rijeke Zrmanje nizvodno od Obrovca. Rezultati istraživanja koristit će se za izradu projekta sanacije.

Projektnim zadatkom (Pekaš, 2020) predviđeni su, a potom od strane Izvršitelja i u cijelosti realizirani sljedeći radovi:

1. Izrada detaljne hidrogeološke karte, mjerila 1:5000, područja između mjesta istjecanja ugljikovodika u podzemlje i zone istjecanja na desnoj obali rijeke Zrmanje, s osobitim naglaskom na izdvajanje strukturno-tektonskih elemenata, a u svrhu pronalazjenja lokacije za upuštanje trasera u podzemlje i utvrđivanja dominantnih smjerova toka podzemne vode.
2. U slučaju nepostojanja pogodnog mjesta za upuštanje trasera, na lokaciji određenoj temeljem podataka detaljnog kartiranja i analize postojećeg stanja na mikrolokaciji, bilo je potrebno bagerom zakopati jednu ili više „upojnih jama" minimalno do dubine koja će osigurati zadovoljavajuću upojnost. Jame za upuštanje trasera moraju biti izvan tankvana nekadašnjih spremnika ugljikovodika koje, iako su zatrpane, postoje na lokaciji.
3. Ispitivanje upojnosti jame za upuštanje trasera nalijevanjem minimalno 10 m<sup>3</sup> vode i praćenjem otjecanja.
4. Provedba trasiranja sa lokacije za koju se utvrdi zadovoljavajuća upojnost uz praćenje istjecanja trasera na 4 lokacije u nizvodnom toku Zrmanje, koje su naznačene na karti u prilogu Programa.

Svi planirani terenski radovi izvedeni su u razdoblju od 20.09. do 6.11.2020. godine, a njihovi rezultati obrađeni su u ovom izvješću. Radovi su obavljani u koordinaciji s ovlaštenim predstavnikom Hrvatskih voda g. Želimirom Pekašem dipl.ing.geol. i uz nadzor g. Ivana Peše dipl.ing. iz Vodnogospodarske ispostave za mali sliv „Zrmanja-Zadarsko primorje“.

Tijekom pripreme i izvođenja trasiranja podzemnih tokova s prostora bivše Tvornice glinice bili su angažirani djelatnici Vodovoda d.o.o. Zadar, Ispostave Obrovac, koji su u krugu tvornice izradili privremeni priključak vode s vodomjerom i time omogućili dobavu adekvatnih količina vode za ispiranje i potiskivanje trasera. Na tome im zahvaljujemo.

Posebnu zahvalu iskazujemo i članovima Dobrovoljnog vatrogasnog društva Obrovac, koji su nam posudili dio vatrogasnih crijeva za transport vode od hidranta do upojne jame. Također zahvaljujemo g. Ivanu Matiću, predsjedniku Ekološke udruge „Zrmanja“ i g. Anti Nekiću, dugogodišnjem djelatniku bivše Tvornice glinice, na vrlo korisnim informacijama.

## 2. PRIPREMNE AKTIVNOSTI I DINAMIKA RADOVA

Najznačajniji dio provedenih hidrogeoloških istraživanja bilo je trasiranje tokova podzemnih voda s lokacije napuštene Tvornice glinice Jadral u Obrovcu. Za tu svrhu je sredinom rujna provedena prospekcija i hidrogeološko kartiranje terena s ciljem određivanja potencijalne lokacije za upuštanje trasera u podzemlje. Pokazalo se da na površini terena u području bivše tvornice ili njenoj neposrednoj blizini, nema prirodnih mjesta pogodnih za upuštanje trasera. Povrh toga, utvrđeno je da teren u obuhvatu tvornice prekrivaju ostaci temelja pogona i asfaltirane površine, a prostor između njih prekriven je nasutim materijalom (kameni blokovi i kršje s malo glinovitog tla). U takvoj situaciji za upuštanje trasera bilo je nužno bagerom iskopati upojnu jamu. Budući da nisu utvrđeni prirodni elementi koji bi favorizirali bilo koje mjesto u krugu bivše tvornice, odlučeno je da se ona izvede na prostoru između nekadašnjih spremnika naftnih derivata, odnosno izravno na mjestu, koje se smatra glavnim izvorom onečišćenja. Premda je teren nasut, još uvijek su vidljivi rubni dijelovi betonskih tankvana oko spremnika, te je jama locirana izvan njih. Izgled tankvana prije nasipavanja vidljiv je na Fot. 1.



*Fot. 1: Detalj područja tankvana prije nasipavanja. Čini se da u lijevom spremniku ima mazuta. Fotografiju iz vremena rušenja tvornice ustupio nam je g. Ivan Matić iz Ekološke udruge „Zrmanja“.*

Upojna jama iskopana je pomoću bagera dana 23.09.2020. (Fot. 2 i 3). Jama je iskopana u nasutom materijalu do dubine od oko 4 m, nakon čega se naišlo na stijene podloge (kredni vapnenci). Na boku iskopa jasno su vidljivi tragovi naftnih derivata (mazuta) infiltriranog u tlo (Fot. 3). Narednog dana provedeno je testiranje njene upojnosti upuštanjem 12 m<sup>3</sup> čiste vode dopremljene auto-cisternom (Fot. 4 i 5). Budući da je svih 12 m<sup>3</sup> dopremljene vode oteklo u podzemlje u roku od svega 15 minuta (kapacitet gutanja 13,3 L/s) konstatirana je zadovoljavajuća upojnost, te je odlučeno da se trasiranje izvede s ove lokacije. Testiranju je bio nazočan g. Ivan Peša iz Vodnogospodarske ispostave za mali sliv „Zrmanja-Zadarsko primorje“.

S obzirom na činjenicu da su u to vrijeme vladali izrazito sušni hidrogeološki uvjeti, a da se spriječi dugo zadržavanje trasera u vodom nesaturiranoj zoni iznad aktivnih podzemnih tokova, odlučeno je trasiranje izvesti nakon prvih značajnijih oborina. Takvi uvjeti uskoro su ostvareni, no javile su se i nove okolnosti.



*Fot. 2: Iskop upojne jame*



Oborine koje su počele padati 23. rujna, a posebno vrlo intenzivne oborine koje su 28. rujna pale na području Gračaca (56,4 mm), imale su za posljedicu prvi visoki vodni val nakon ljetne suše. Uslijed naglog porasta razine i protoka podzemnih voda 29. rujna došlo je do novog onečišćenja rijeke Zrmanje. Tom prilikom je od strane djelatnika Vodnogospodarske ispostave za mali sliv „Zrmanja-Zadarsko primorje“, pored istjecanja na od ranije poznatim lokacijama nizvodno od Obrovca, zabilježeno istjecanje onečišćenja na izvoru oko 2 km uzvodno od Obrovca, u području Jurjevića drage. Tragovi ugljikovodika bili su jasno vidljivi i u samom Obrovcu. U dogovoru s predstavnicima Naručitelja odlučeno je da se područje istraživanja proširi i na prostor desne obale uzvodno od Obrovca, te da se predmetni izvor uključi u opažačku mrežu tijekom trasiranja.

*Fot. 3: Približno 4 m duboka upojna jama s jasnim tragovima procjeđivanja mazuta na boku.*

S obzirom na to da povećana koncentracija otopljenih organskih tvari u podzemnoj vodi može nepovoljno utjecati na određivanje koncentracije traserata (sličan emisijski/apsorpcijski spektar), odlučeno je da se s trasiranjem pričekava do stjecanja povoljnijih uvjeta, odnosno do smanjenja istjecanja ugljikovodika.

U konačnici trasiranje je izvedeno 15. rujna 2020. Trasiranju je prethodila izgradnja privremenog priključka na vodovodnu mrežu, koji je načinjen u šahtu odaljenom 200 m od upojne jame. Radove su izveli djelatnici Vodovoda d.o.o. Zadar, Ispostave Obrovac. Za dopremu vode postavljen je 200 m dug cjevovod od vatrogasnih crijeva.



*Fot. 4: Testiranje upojnosti izvedeno je nalijevanjem 12 m<sup>3</sup> čiste vode dopremljene cisternom.*



*Fot. 5: Sva voda otekla je u podzemlje kroz 15 minuta, dakle prosječnim kapacitetom upoja od 13,3 L/s*

### 3. GEOLOŠKA SITUACIJA

#### 3.1. Litostratigrafski prikaz naslaga

Istraživano područje dominantno izgrađuju karbonatne naslage krede i paleogena, a samo lokalno zastupljene su najmlađe kvartarne naslage ograničene debljine i rasprostiranja. Prostorni položaj litostratigrafskih jedinica prikazan je na priloženoj hidrogeološkoj karti (Prilog 1). Kartiranje je izvedeno na topografskoj podlozi M 1:5000 (HOK), dok je karta u prilogu, radi preglednosti i prikladnijeg formata, načinjena u mjerilu 1:10000.

Najstarije naslage u obuhvatu karte su **karbonatne breče i vapnenci**, koje su prema Osnovnoj geološkoj karti (OGK) M 1:100 000, list Obrovac (Ivanović i dr., 1973), stratigrafski svrstane u prijelazno razdoblje između donje i gornje krede (**K<sub>1,2</sub>**). Ove naslage zastupljene su na rubnom istočnom dijelu terena u području Jurjevića drage, na potezu od Zrmanje do Zatona Obrovačkog. Breče su sivosmeđe, rjeđe svjetlosive boje, a izgrađene su uglavnom od ulomaka sivih, vjerojatno donjokrednih vapnenaca. Fragmenti su angularni i potpuno nesortirani, a veličina im je pretežno od 1 do 5 cm, dok se pojedinačno mogu zapaziti i znatno krupniji ulomci, pa čak i manji blokovi. Fragmenti su povezani mikrokristalastim do fino-zrnim kalcitom, koji sadrži rijetka zrnca kvarca.

Vapnenci dolaze u nepravilnoj vertikalnoj i horizontalnoj izmjeni s brečama ili u formi leća. Vapnenci su najčešće gromadasti, a rijede uslojeni. Pretežno su sive i sivosmeđe boje, često brečoliki i raspucali. Struktura im je mikrokristalasta, homogena ili grumulozna. U vapnenim ulošcima nalaze se rijetki fosili. U tumaču OGK Obrovac (Ivanović i dr., 1976) u opisanim naslagama navode se nalazi školjkaša, a od mikrofosila *Salpingoporella dinarica*, *Orbitolina discoidea* i *Nummuloculina heimi*, što dokazuje donjokrednu pripadnost naslaga.

Na širem području prijelaz ovih naslaga u vapnence gornje krede je postupan no na razmatranom terenu kontakt je rasjedan.

**Vapnenci gornje krede (K<sub>2</sub>)** široko su rasprostranjeni u sjevernom dijelu istraživanog područja od Jurjevića drage do izvora Jezero. Bivša Tvornica glinice u cijelosti je izgrađena na ovim naslagama (Fot. 6).



Fot. 6: Naslage gornje krede na južnom rubu područja Tvornice glinice. Vidljive su slojne plohe i dva sustava izraženih tektonskih pukotina. Sustavi slične orijentacije vrlo su česti na razmatranom području.



U prelaznom su dijelu vapnenci često brečasti, dok su u superpozicijski višim dijelovima brečasti vapnenci rjeđi, a mjestimično se nailazi i na manje pojave dolomitičnih vapnenaca. Struktura vapnenaca je mikrokristalasta, grumulozna i bioklastična, no primarne strukture često su izmijenjene rekristalizacijom.

U gornjem dijelu ovih naslaga slijedi serija rudistnih vapnenaca, koji su po litološkim karakteristikama slični prethodnima. Rudistni vapnenci izgrađuju najveći dio razmatranog područja. Slojevitost vapnenaca je samo mjestimično dobro izražena. U njima je uz rudiste i organogeni detritus često prisutna i mikrofossilna fauna.

Naslage paleogena zastuplje su **Promina naslagama**, koje su taložene u razdoblju gornjeg eocena i donjeg oligocena (**E<sub>3</sub>O<sub>1</sub>**). Ove naslage izgrađuju najveći dio istraživanog dijela desne obale Zrmanje. U širem pogledu, one su sastavni dio velikog prominskog bazena, koji svoje glavno rasprostiranje ima južno i jugoistočno od istraživanog terena, pa ovdje zahvaćeni dio čini sjeveroistočni rubni dio tog prostora.

U litološkom pogledu na širem području ove naslage se sastoje iz konglomerata, vapnenaca, breča, laporovitih vapnenaca i lapora. Naslage pokazuju izrazitu vertikalnu i lateralnu promjenu facijesa, što upućuje na veoma nemirno razdoblje sedimentacije. Na razmatranom području daleko najveći dio terena izgrađuju konglomerati i vapnenci. Proslojci laporovitih vapnenaca i lapora javljaju se samo iznimno i to kao ulošci debljine do nekoliko desetaka centimetara. Promina naslage diskordantno naliježu na starije kredne naslage. Tektonsko-erozijski kontakt mjestimice obilježavaju manje pojave boksita.

Konglomerati i vapnenci su uglavnom dobro uslojeni. Debljina slojeva konglomerata obično prati granulometrijski sastav, a kod krupnozrnih varijeteta doseže i preko 1 m (Fot. 7). U sastavu konglomerata prevladavaju valutice bijelog i smeđeg gornjokrednog vapnenca s rudistima. Nadalje konglomerati u malim količinama mjestimice sadrže i valutice raznobojnih kristaliničnih dolomita, foraminiferskih vapnenaca, oštrobridne fragmente rožnjaka pa i fragmente pješčenjaka srednjeocenskog fliša.



*Fot. 7: Debelo uslojene naslage konglomerata na cesti iznad Obrovca*

Vapneci su obično dobro uslojeni, debljina slojeva je pretežno 20-40 cm. Laminirani su i zastupljeni s nekoliko tipova koji se razlikuju uglavnom po svom sastavu i karakteru veziva. Izdvojeni erozioni ostatak na krednim naslagama sjeverno od izvora Jezero pretežito se sastoji od breča.

Najmlađe kvartarne naslage su holocenske starosti, a rasprostranjene su na niz lokaliteta uzduž čitavog terena. Budući da im je debljina obično mala i rasprostiranje ograničeno, te nemaju veći hidrogeološki značaj nisu detaljno obrađivane. Razvrstane su u tri osnovna genetska tipa. Na krškom platou iznad Obrovca u dnu plitkih i obično prostranih ponikvi prisutne su glinovito-prašinate naslage s promjenljivim udjelom fragmenata okolnih stijena ( $Q_2$ ). Tu je dijelom riječ o zemlji crvenici, deluvijalnim ili eluvijalnim tvorevinama koje nisu posebno izdvajane. Na strmim obroncima kanjona Zrmanje prisutni su sipari ( $Q_s$ ) koji se sastoje od fragmenata okolnih stijena uz relativno malo glinovitog veziva. Zaravnjeni dijelovi terena uz samu Zrmanju i pličine u njenom koritu predstavljaju aluvijalne naplavine ( $Q_{al}$ ), pretežito izgrađene od glinovito-prašinatog nanosa (donji tok Zrmanje) i recentnog mulja.

### 3.2. Tektonika

Prema tektonskoj obradi u Tumaču OGK Obrovac (Ivanović i dr., 1976), istraživano područje nalazi se na granici tektonske jedinice Velebit i geotektonske jedinice Istra-Dalmacija. Granica jedinica postavljena je duž kontakta krednih i prominskih naslaga. Prema mobilističkoj koncepciji geotektonike Dinarida (Herak, 1986, 1991), ovo se područje nalazi na kontaktu paleodinamskih pojasa Adriatik i Dinarik, dok novije interpretacije ovo područje smještaju u zonu kolizije jadranske i dinarske karbonatne platforme (Korbar, 2009). Bez obzira na određena odstupanja u koncepcijskim rješenjima, istraživano područje je u geološkoj prošlosti nedvojbeno bilo izloženo snažnim geotektonskim promjenama. Kao posljedica, sve zastupljene stijene intenzivno su tektonski borane i razlomljene.

Promatrano u širem kontekstu kredne naslage razmatranog područje smještene su na JZ krilu prostrane velebitske antiklinale (izvan područja istraživanja). Pružanje naslaga je pravcem Z-I do ZSZ-IJI. Nagib slojeva najčešće je vrlo strm ( $40^\circ$ -  $60^\circ$ ) u smjeru J i JJZ. Zapadno od bivše Tvornice glinice, primijećeni su slojevi suprotne orijentacije, što je vjerojatno posljedica lokalnog povijanja naslaga. Kredne naslage izgrađuju krški plato iznad kanjona Zrmanje. Na tom zaravnjenom terenu prostor između niskih izdanaka u velikoj je mjeri zapunjen crvenicom, pa nije bilo moguće pratiti pružanje eventualnih rasjeda. Najznačajniji rasjed konstatiran je u rubnom istočnom dijelu terena, na prostoru Jurjevića drage. Pružanje rasjeda je pravcem SZ-JI, a duž njega su u kontaktu karbonatne breče ( $K_{1,2}$ ) i gornjokredni vapnenci.

Strme padine kanjona Zrmanje izgrađuju Prominske naslage, koje se strukturno nalaze na sjevernom krilu sinklinale čija os približno prati razmatrani dio toka Zrmanje. Pružanje naslaga generalno je pravcem ZSZ-IJI uz lokalna odstupanja. Nagibi slojeva vrlo su varijabilni i kreću se u širokom rasponu od  $10^\circ$  do  $60^\circ$ , što je vjerojatno posljedica rasjedanja i različitog kretanja pojedinih tektonskih blokova. Neposredno sjeveroistočno od Obrovca primjetna su lokalna boranja.

Rasjedi su parcijalno vidljivi na strmim bokovima kanjana. Pružanje im je različito no generalno dominiraju uzdužni rasjedi pružanja ZSZ-IJI, te poprečni rasjedi pružanja SI-JZ. Utjecaj ovih rasjeda na formiranje izvorišta je evidentan, budući da se svi kartirani izvori nalaze u blizini njihovih rasjednih zona (Prilog 1).

## 4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

### 4.1. Hidrogeološke karakteristike stijena

Hidrogeološka svojstva stijena na području istraživanja ocijenjena su prema litološkom sastavu, tipu poroznosti, stupnju propusnosti, stupnju deformacija stijena na površini te vodnim i morfološkim pojavama (Prilog 1). Klasifikacija je provedena u skladu s uputama za izradu Osnovne hidrogeološke karte (ŠARIN, 1988), a stijene zastupljene na razmatranom području razvrstane su u dvije osnovne grupe s različitim hidrogeološkim obilježjima:

1. Nevezane kvartarne naslage
  - a. vrlo dobre propusnosti
  - c. slabe propusnosti
2. Karbonatne stijene
  - a. dobre propusnosti
  - b. osrednje propusnosti

**Nevezane kvartarne naslage** zastupljene su s tri genetska tipa. Na krškom platou iznad Obrovca prostor između izdanaka okršenih karbonatnih stijena, te u nešto većoj debljini dna plitkih i obično prostranih ponikvi, pokrivaju glinovito-prašinate naslage s promjenljivim udjelom fragmenata okolnih stijena (**Q<sub>2</sub>**). Tu je najvećim dijelom riječ o zemlji crvenici i sličnim tlima. Poroznost ovih naslaga je međuzrnska, a propusnost im varira ovisno o debljini, zbijenosti i količini kršja, no generalno je slaba.

U slabo propusne kvartarne naslage međuzrnske poroznosti svrstane su i aluvijalne naplavine (**Q<sub>al</sub>**) na zaravnjenim dijelovima terena uz Zrmanju i pličinama u njenom koritu. Budući su taložene u donjem, usporenom toku Zrmanje, njihov gornji i pregledu dostupan dio, pretežito izgrađuju glinovito-prašinati nanos i recentni mulj s organskim materijalom.

Na strmim obroncima kanjona Zrmanje česti su sipari (**Q<sub>s</sub>**) koji se sastoje od fragmenata okolnih stijena uz relativno malo glinovitog veziva, te im je propusnost dobra.

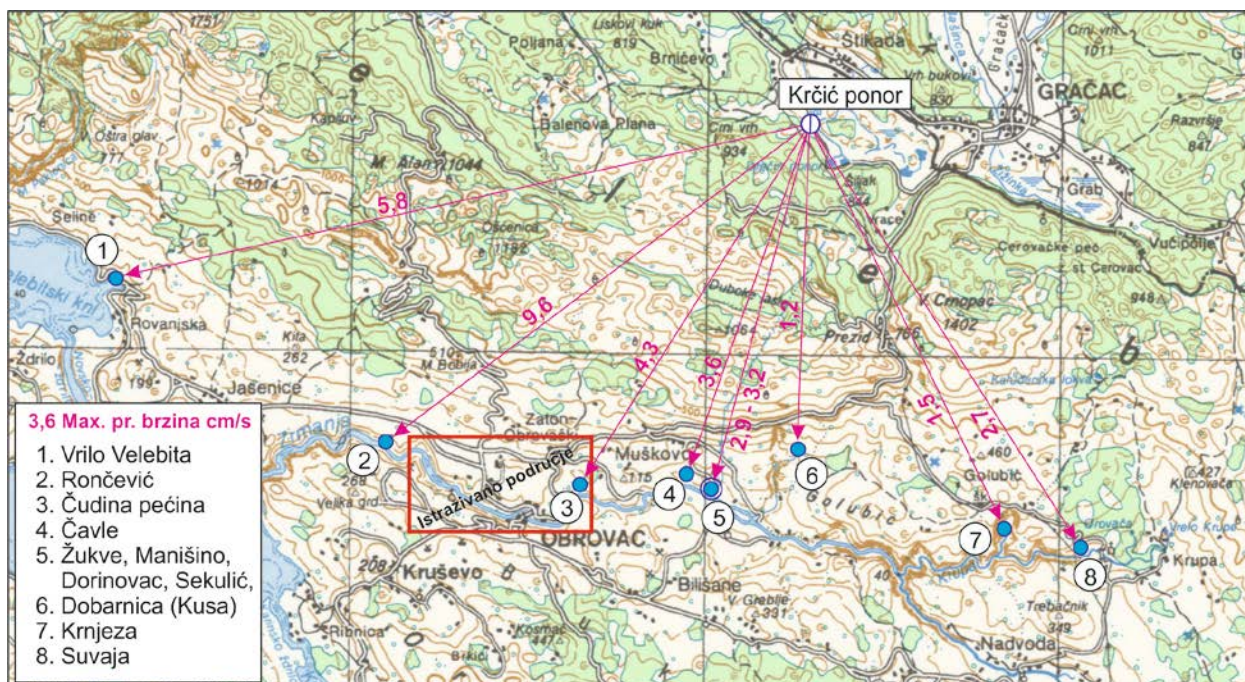
S obzirom na to da se cirkulacija podzemnih voda na razmatranom krškom području uglavnom odvija duboko ispod površine terena, pokrovne kvartarne naslage nemaju većeg utjecaja na hidrogeološke odnose i dinamiku podzemnih voda.

**Karbonatne stijene** s obzirom na propusnost razvrstane su u dvije kategorije. Grupi dobro vodopropusnih karbonatnih stijena pripadaju kartografske jedinice u čijoj građi dominiraju dobro uslojeni vapnenci (**K<sub>2</sub>**) i vapnenačke breče (**K<sub>1,2</sub>**). Poroznost ove grupe stijena je sekundarna, pukotinska i pukotinsko kavernozna. Pored morfoloških pojava na površini terena (ponikve, doci, škrape), njihovu dobru okršenost pokazuje i formiranje preko 240 metara duge izvor-špilje Čudina pećina u Jurjevića dragi. Pored toga, prema usmenim informacijama dobivenim od dipl.ing. Tihomira Kovačevića iz Dinarida - Društva za istraživanja i snimanja krških fenomena (DDISKF), na području Tvornice glinice sedamdesetih godina prošlog stoljeća istražene su tri jame, koje su zatrpane u vrijeme izgradnje.

U kategoriju osrednje propusnih karbonatnih stijena svrstane su Promina naslage (**E<sub>3O1</sub>**). U litološkom pogledu na razmatranom području ove naslage najvećim se dijelom sastoje od dobro do debelo uslojenih konglomerata i u manjoj mjeri vapenaca i breča. Poroznost ove grupe stijena je sekundarna, pukotinska i dijelom pukotinsko kavernozna. Nešto slabija propusnost može se očekivati zbog slabije topivosti konglomerata i prisutnosti laporovitih vapnenaca i proslojaka lapora. Budući da su kao i prethodno opisane karbonatne stijene i ove naslage intenzivno tektonski razlomljene, a spomenute slabo propusne partije javljaju se u obliku tanjih proslojaka i leća, osrednja propusnost može se smatrati uvjetnom.

## 4.2. Hidrogeološki odnosi i kretanje podzemnih voda

Napajanje izvora na razmatranom dijelu desne obale Zrmanje odvija se dotocima iz neposrednog zaleđa ali i dotocima iz udaljenog krškog vodonosnika, odnosno iz područja masiva Velebita i vodama s područja Like, koje poniru na potezu od ponorne zone Obsenice do Gračaca. Povezanost izvora na Zrmanji s vodama „Ličkog horizonta“ dokazana je brojnim trasiranjima. S obzirom na ovdje razmatrano područje u zaleđu Obrovca, posebno su značajni rezultati trasiranja Krčić ponora na Štikadskom polju, izvedenog 1960. godine. Tom je prilikom utvrđena veza s izvorima na širokom potezu od Vrila Velebita u Modriču do Suvaje u dolini Krupa (Slika 1).



Slika 1: Utvrđene vodne veze tijekom trasiranja Krčić ponora u ponornoj zoni Ričice na Štikadskom polju.

Srednje godišnje oborine u dolini donjeg toka Zrmanje kreću se u rasponu od 1100 do 1300 mm, dok na području Like one su redovito veće od 1500 mm, da bi u vršnim dijelovima masiva Velebita dosezale i preko 2500 mm. U takvoj situaciji glavina voda koje uzrokuju visoke vodne valove na izvorima desne obale Zrmanje, uključujući i ovdje razmatrane, dotječe i šireg priljevnog područja. Prema rezultatima trasiranja Krčić ponora prividne brzine podzemnih tokova su visoke. Prema Izvoru Rončević (nizvodno od istraživanog područja) one iznose čak 9,6 cm/s, a prema izvoru špilji Čudina pećina 4,3 cm/s.

Generalno se može konstatirati da je napajanje prostranog krškog vodonosnika na Ličkom horizontu primarno alogeno, odnosno vezano na koncentrirane dotoke prema brojnim ponorima, dok je na području Velebita i u neposrednom zaleđu razmatranih izvora ono dominantno autigeno, odnosno vezano na direktnu infiltraciju oborina.

Na razmatranom području kretanje podzemnih voda uvjetovano je lokalnom hidrogeološkom situacijom, i čini se, pod utjecajem nešto slabije propusnosti prominskih naslaga. Na to upućuju i rezultati ovdje provedenog trasiranja. Dotoci iz regionalnog zaleđa generalno su usmjereni prema JJZ (Prilog 1). Nailaskom na pojas prominskih naslaga, koje se na desnoj obali pružaju paralelno s tokom Zrmanje, dolazi do usporavanja tokova pod utjecajem barijernog djelovanja slabije propusne sredine i posljedično podizanja razine podzemnih voda. Može se očekivati da je podizanje razine najveće uzvodno od središnjeg dijela pojasa prominskih naslaga, odnosno upravo na području Tvornice glinice. Budući da se kontakt bolje propusnih krednih naslaga i

nešto slabije propusnog paketa prominskih naslaga, na istoku i zapadu spušta do same Zrmanje, za očekivati je da u tim smjerovima dolazi i do preraspodjele podzemnog tečenja. Premda to ne isključuje mogućnost da se dio podzemnih voda i u takvim uvjetima drenira direktno prema Zrmanji, dakle na jugoistok, kroz prominske naslage, činjenica je da na tom dijelu toka nema značajnijih izvorišta, već se ona javljaju u rubnim dijelovima na istoku i zapadu.

Ovakav koncept tečenja potvrđen je i rezultatima trasiranja. Naime, on objašnjava neočekivanu pojavu trasera, a u krajnjoj liniji i onečišćenja, na povremenom izvoru neposredno nizvodno od Jurjevića drage (Prilog 1; lokacija 5).

### 4.3. Vodne pojave

Opisane vodne pojave prvi put su pregledane pri kraju sušnog razdoblja početkom rujna 2020. Budući je kasnije na njima praćena pojava trasera, obišli smo ih više puta kroz razdoblje opažanja u vrijeme viših voda.

#### Izvor Jezero (1)

Izvor se nalazi na zapadnom rubu istraživanih terena, približno 3,8 km nizvodno od Obrovca, neposredno nizvodno od kontakta krednih i paleogenskih naslaga. Podzemne vode istječu iz jezera (oka) promjera 40x55 m. Jezero je smješteno ispod strme stijene (kredni vapnenci), a s glavnim tokom Zrmanje spojeno je cca 130 m dugim kanalom kroz plicak nad aluvijalnim naplavinama (Fot. 8).



*Fot. 8: Izvor Jezero u vrijeme niskih voda.*

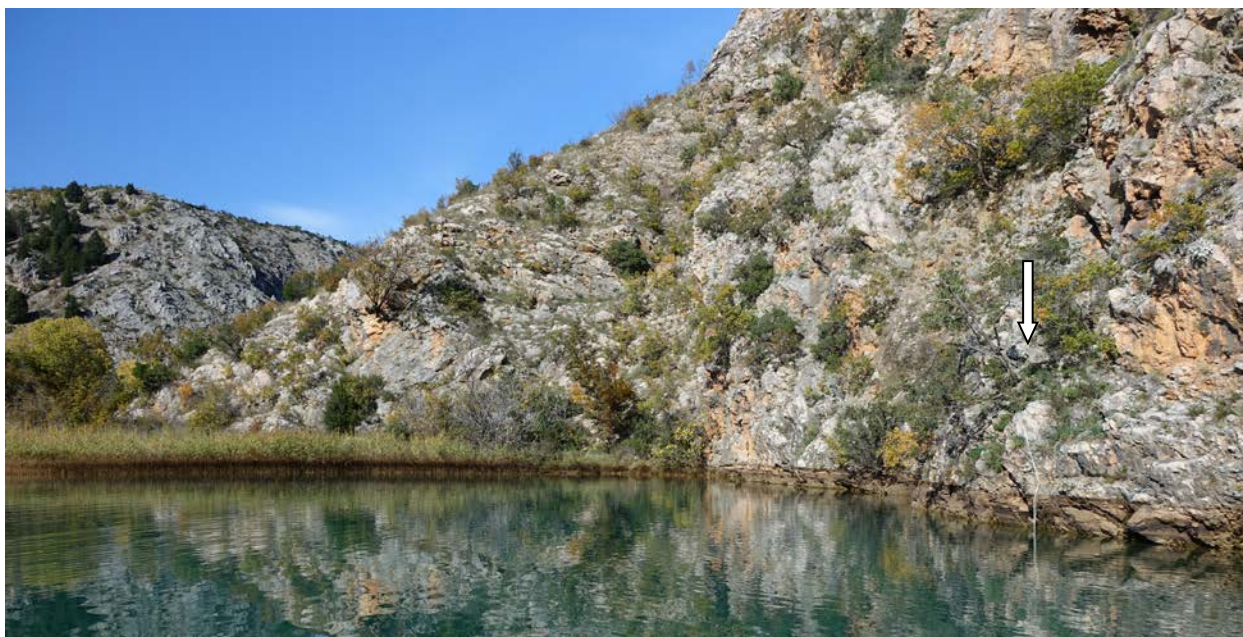


*Fot. 9: Izvor Jezero u vrijeme visokih voda.*

Zbog velike količine ujezerene vode u sušnom razdoblju istjecanje nije primjetno. Na fotografiji 9 snimljenoj u vrijeme izrazito visokog vodnog vala 16.10.2020. istjecanje prema Zrmanji jasno je uočljivo. Premda je voda na izvoru zamućena, njena motnoća je daleko manja od mutnoće glavnog toka Zrmanje. Također se može primijetiti da dio bistre vode dotječe i iz jaruge nizvodno od Jezera.

Prema informacijama dobivenim od dipl.ing. Tihomira Kovačević, članovi DDISKF-a su 11.6.2011. godine ronili u ovom izvoru. Tom je prilikom konstatirano da se na dubini od 9 m nalazi ulaz u dovodni podzemni kanal u kojem su zaronili do dubine od 46,2 m. Po stjenkama kanala uočene su zalijepljene nakupine ugljikovodika (mazuta). O ovoj činjenici svakako treba voditi računa, budući da utvrđeno kanalsko napajanje izvora pogoduje transferu onečišćenja.

Za vrijeme trasiranja mjerni instrument bio je spušten niz stijenu na SI strani izvora (Fot. 10). Na stijenama su jasno uočljivi tragovi povremenog istjecanja onečišćenja, dok ostaci mazuta na okolnom šašu datiraju od posljednjeg incidenta 29.9.2020.



*Fot. 10: Mjerni instrument na SI stijeni i tragovi recentnog i prethodnih onečišćenja.*

### **Izvor Vrulja (2)**

Ovaj se izvor nalazi na području plićaka oko 240 m južno (uzvodno) od Jezera. Voda izbija na nekoliko mjesta koja u formi uskog kanala vode do završnog ovalnog udubljenja u aluvijalnim naplavinama promjera 3-4 m (Fot. 11). Za vrijeme obilaska u sušnom razdoblju istjecanje nije bilo vidljivo, no slabo istjecanje nije moguće potpuno isključiti budući je izvorište preplavljeno vodama Zrmanje.



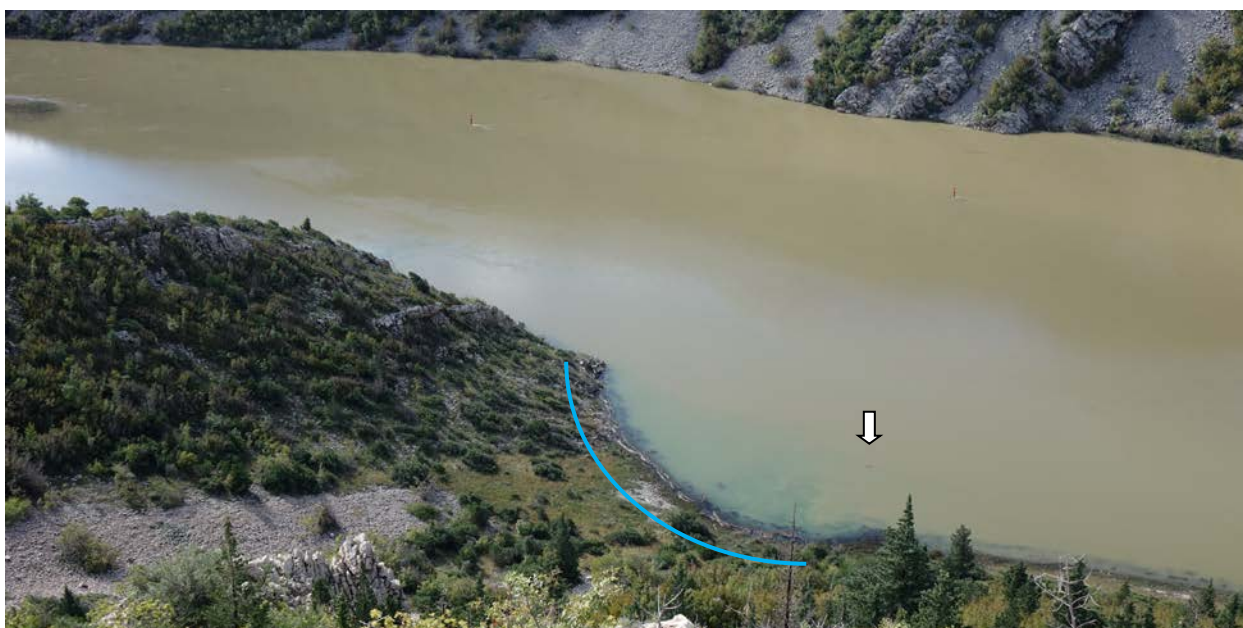
*Fot. 11: Izvor Vrulja. Voda istječe iz niza udubljenja duž kanala od obale do završnog oka.*

Pored toga tragovi mazuta od posljednjeg onečišćenja 29.9.2020., vidljivi na obali u području izvora (Fot. 12), upućuju na to da podzemne vode povremeno istječu i iz sipara na samoj obali. To je potvrđeno tijekom obilaska u vrijeme ekstremno visokog vodnog vala 16.10.2020. kada se

moglo primijetiti da znatno čišće podzemne vode istječu duž obale na potezu dugom približno 50-ak metara (Fot. 13).



*Fot. 12: Plutača na koju su bile obješene doze s aktivnim ugljenom. Na obalnom raslinju vidljivi su tragovi onečišćenja tijekom posljednjeg incidenta.*



*Fot. 13: Mutne vode Zrmanje u vrijeme ekstremno visokog vodnog vala 16.9. Vidljiva je plutača s aktivnim ugljenom usidrena iznad završnog izvorskog udubljenja. Bistrija voda uz obalu upućuje na podzemne dotoke.*

Nakon što je ova pojava primijećena, plutača s aktivnim ugljenom premještena je bliže obali.

Nakon što je tijekom onečišćenja 29.9.2020. konstatirana pojava ugljikovodika na izvoru kod Jurjevića drage, u dogovoru s naručiteljem, odlučeno je da se eventualna pojava trasera na izvoru Vrulja prati pomoću doza s aktivnim ugljenom, a da se planirani mjerni instrument postavi na Jurjevića dragu koja do tada nije bila planirana kao mjesto opažanja. Takvoj odluci doprinosi i položaj Vrulje svega 240 m uzvodno od Jezera i stotinjak metara nizvodno od slijedećeg opažanog izvora kod Velikog oka.

### Izvor kod Velikog oka (3)

Veliko oko je kao i Jezero prostrana depresija promjera 45x50 nastala istjecanjem podzemnih voda kroz aluvijalne naplavine na desnom boku korita Zrmanje. Depresija je potpuno preplavljena vodama Zrmanje i okružena plićakom (Fot. 14). Zbog velike količine ujezerene vode tijekom obilaska u sušnom razdoblju istjecanje nije primjetno. Međutim, tom prigodom uočen je manji izvor svega 15-ak metara uzvodno od oka (Fot. 15), na kojem je istjecanje vode između blokova na samoj obali bilo jasno vidljivo. Pored toga na obali oko njega vidljivi su tragovi onečišćenja (Fot. 16).



*Fot. 14: Izvor Veliko oko.*



*Fot. 15: Opažani izvor nalazi se svega 15-ak m uzvodno od Velikog oka.*





*Fot. 16: Na obali iznad izvora jasno su vidljivi tragovi mazuta.*

Zbog jasnih tragova istjecanja onečišćenja i mogućnosti postavljanja mjernog uređaja izravno u dotok podzemne vode bez mogućnosti njenog značajnijeg miješanja s vodama Zrmanje, odlučeno je da se opažanje izvede na ovom izvoru. To se pokazalo ispravno budući je na ovom izvoru konstatirana najveća koncentracija trasera.

#### **Izvor Smokva (4)**

Izvor Smokva nalazi se na samom početku pružanja potopljenih aluvijalnih naplavina, približno 630 m uzvodno od Velikog jezera, cca 2,7 km nizvodno od Obrovca (Fot. 17). I na ovom izvoru voda izbija iz udubljenja u kvartarnim naslagama promjera 10-ak i dubine oko 5 m. Potpuno je okružen šašem, a prema glavnom toku Zrmanje voda otječe uskim kanalom kroz šaš i aluvijalne naplavine. U sušnom razdoblju količine istjecanja su vrlo male i neprimjetne, dok u visokim vodama izdašnost izvora doseže i do 1 m<sup>3</sup>/s (Fot. 18).



*Fot. 17: Izvor Smokva od glavnog toka Zrmanje udaljen je 25 m.*

Smatra se da na ovom izvoru izbijaju najveće količine onečišćenja. S obzirom na količine ugljikovodika na raslinju oko izvora (Fot. 19), kao i u mulju na plićaku uz izvor, to je vjerojatno točna konstatacija. Obilno raslinje oko izvora i položaj iza zavoja riječnog korita praktički ga potpuno odvajaju od utjecaja voda Zrmanje. To je dijelom utjecalo i na oblik krivulje istjecanja trasera, što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 8.



*Fot. 18: Istjecanje velikih količina vode na izvoru Smokva u vrijeme visokih voda 30.9.2020. (Fotografija je dobivena od Hrvatskih voda)*



*Fot. 19: Tragovi onečišćenja nakon 29.9.2020.*

#### **Izvor kod Jurjevića drage (5)**

Izvor kod Jurjevića drage nalazi se oko 2,2 km uzvodno od Obrovca i 140 m nizvodno od ušća Jurjevića drage. Prema originalnom programu radova (Pekaš, 2020) nije bio obuhvaćen istraživanjima. Ta se potreba javila nakon posljednjeg onečišćenja Zrmanje 29.9.2020. Tom je prilikom konstatirana određena količina ugljikovodika u koritu Zrmanje uzvodno od Obrovca. Interventnim pregledom djelatnika Hrvatskih voda utvrđeno je da se oni javljaju upravo na ovom izvoru. Premda se smatralo da je to prva takva pojava uzvodno od Obrovca, neki od mještana su nam rekli da se onečišćenje javljalo i ranije ali je bilo znatno manje od onog na nizvodnim izvorima.

Pregledom izvora prije ubacivanja trasera (14.9.) konstatirano je da su na njemu još uvijek vidljivi tragovi onečišćenja (Fot. 20). Izdašnost izvora bila je vrlo malo i procijenjena je na 1-2 L/s. Voda izbija iz sipara koji pokriva dno oštre jaruge razvijene duž rasjeda neposredno sjeverno od kontakta krednih i paleogenskih naslaga (Fot. 21). Položaj izvora sličan je položaju

izvora Jezero na drugoj, zapadnoj strani pružanja prominskih naslaga. U vrijeme visokog vodnog vala 16.9. na izvoru su istjecale znato veće količine vode (Fot. 22).



*Fot. 20: Tragovi ugljikovodika u šašu ispred izvora.*



*Fot. 21: Izvor kod Jurjevića drage kod niskih voda.*



*Fot. 22: Izvor kod Jurjevića drage za visokih voda*

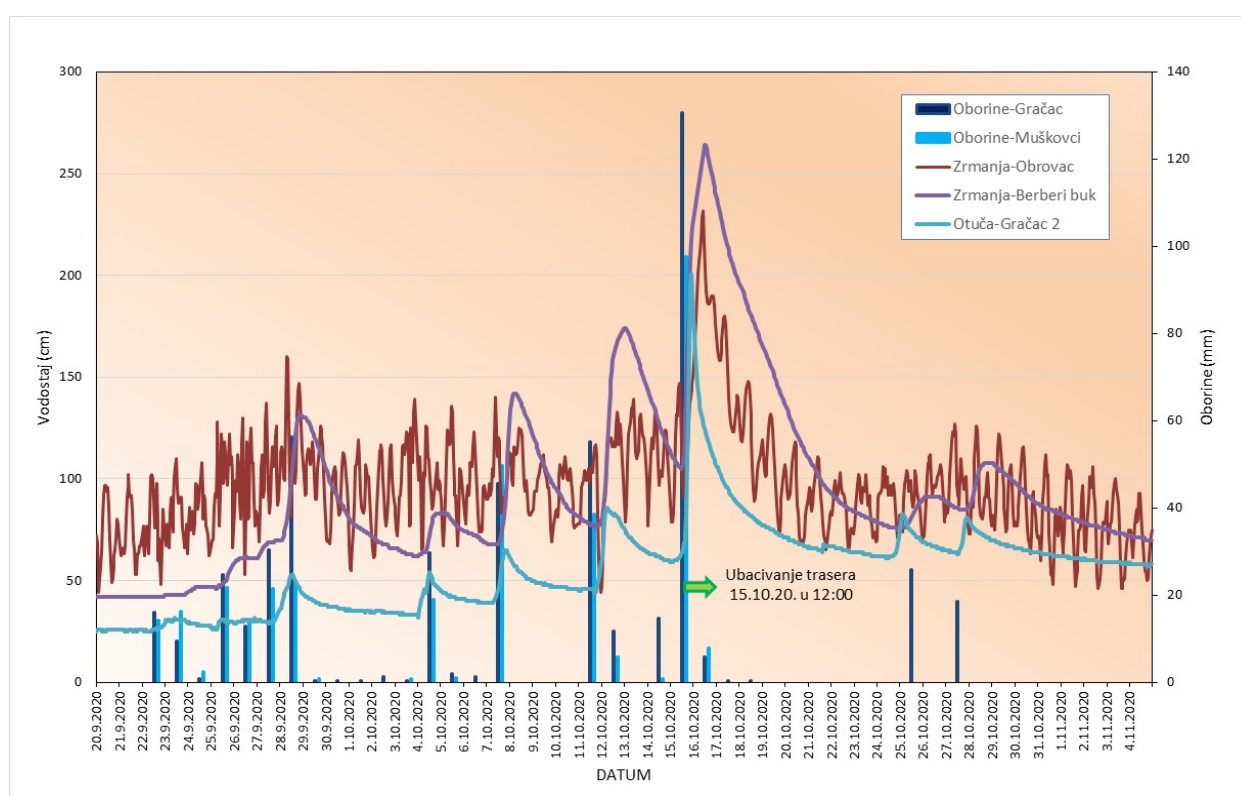
U takvim uvjetima istjecanje podzemne vode moglo se primijetiti na još dva mjesta neposredno nizvodno od ovog izvora (Fo. 23). Na tim mjestima istjecalo je nešto manje vode.



*Fot. 23: U vrijeme visokog vodnog vala 16.10. pored velikog dotoka iz Čudine pećine u samoj Jurjevića dragi (crvena strelica), bila su vidljiva i dva mjesta istjecanja neposredno nizvodno od opažanog izvora označenog zelenom strelicom.*

## 5. HIDROLOŠKI UVJETI U VRIJEME TRASIRANJA

Analiza hidroloških uvjeta u vrijeme trasiranja načinjena je na temelju podataka o oborinama izmjerenim na kišomjernoj postaji Muškovci, te podacima o razinama vode na rijeci Zrmanji izmjerenim na vodomjernim postajama Berberi buk i Obrovac. Kako je istaknuto u poglavlju o hidrogeološkim odnosima na širem razmatranom području, na stanje rijeke Zrmanje te izdašnost krških izvora na njenoj desnoj obali, uvelike utječu hidrološke prilike na području Velebita i Like u njihovom zaleđu. Zbog toga su u analizu uključeni i podaci o oborinama palim na području Gračaca kao i vodostaj rijeke Otuče. Podaci o dnevnim oborinama na spomenutim kišomjernim postajama preuzeti su sa stranice <https://pljusak.com/>, dok su satni podaci mjerenja razine i Zrmanje dobiveni iz informatičkog sustava Hrvatskih voda. Nivogrami Zrmanje i Otuče, kao i podaci o dnevnim oborinama na kišomjerima u Gračacu i Muškovcima, prikazani su na Slici 2. Tablica izmjerenih podataka dostupna je u digitalnom obliku (Prilog 2\_Vodostaji i oborine.xlsx).



Slika 2: Dnevne oborine na kišomjernim postajama Gračac i Muškovci u usporedbi s nivogramima rijeke Zrmanje (vodomjeri Berberi buk i Obrovac) i Otuče (vodomjer Gračac 2).

Nakon izrazite suše koja je obilježila ljetno razdoblje 2020. godine, prve značajnije oborine na širem području Obrovca i njegovog zaleđa pale su u drugoj polovici rujna. Zaredalo je nekoliko kišnih dana s oborinama između 20 i 30 mm, da bi 28.9.2020. na području Gračaca palo 56,4 mm, što je rezultiralo povećanom izdašnošću izvora i prvim visokim vodnim valom na Zrmanji. Budući da razina Zrmanje na području Obrovca fluktuirala ovisno o morskim mijenama, a na nju utječe i režim rada RHE Velebit u Muškovcima, vodni val jasnije je izražen na nivogramu mjerne postaje Berberi buk. Ovaj prvi visoki vodni val nakon dužeg sušnog razdoblja, izazvao je ponovno onečišćenje Zrmanje. Istjecanje ugljikovodika konstatirano je na svim izvorima nizvodno od Obrovca, koji su bili planirani za opažanje nakon upuštanja trasera, ali i na izvoru neposredno nizvodno od Jurjevića drage, cca 2 km uzvodno od Obrovca. Premda ima mišljenja da je to bila prva pojava onečišćenja na tom području, iz razgovora s nekim mještanima Obrovca proizlazi da se onečišćenje tu javljalo i ranije.

Zbog činjenice da otopljena organska tvar u podzemnoj vodi nepovoljno utječe na određivanje koncentracije korištenog traseru (uranin), termin trasiranja pomaknut je do prestanka istjecanja onečišćenja. U razdoblju do 15.10. još su tri puta zabilježena veće oborine (4., 7. i 11.10) i svake od njih rezultirale su povišenim vodnim valom na Zrmanji (Slika 2). Premda su vodostaji i izdašnost izvora bili veći nego kod prvog vala, istjecanje ugljikovodika se smanjivalo.

Na sam dan ubacivanja traseru 15.10.2020. na području Obrovca palo je 97,6 mm kiše, a u Gračacu izmjereno je čak 130,6 mm. Ove oborine imale su za posljedicu pojavu ekstremno visokog vodnog vala na Zrmanji narednog dana (Fot. 24 i 25).



*Fot. 24: Poplavljena šetnica u Obrovcu.*



*Fot. 25: Visoki vodni val na Berberi buku.*

S obzirom na navedeno, nedvojbeno se može konstatirati da je trasiranje izvedeno u uvjetima visokih voda.

## 6. OPAŽAČKA MREŽA I DINAMIKA UZORKOVANJA

Mjesta opažanja, dinamika i način uzorkovanja bili su definirani projektnim zadatkom (Pekaš, 2020). Nakon vodnog vala 29.9.2020. i pojave onečišćenja na izvoru kod Jurjevića drage, uzvodno od Obrovca, u dogovoru s Hrvatskim vodama odlučeno je da se i on uključi u opažanje. Budući da nismo imali na raspolaganju veći broj automatskih mjerača, dogovoreno je da se eventualna pojava trasera na manjem izvoru Vrulja (između Jezera i Velikog oka), prati pomoću doza s aktivnim ugljenom, a da se mjerač postavi na izvor kod Jurjevića drage. Tako su za kontinuirano praćenje istjecanja trasera na izvorima Jezero, Veliko oko, Smokva i Jurjevića draga korišteni automatski terenski fluorometri GGUN-FL30, tvrtke Albillia iz Švicarske. Donja granica detekcije ovih uređaja za korišteni traser uranin je 0,02  $\mu\text{g/L}$  (0,02 ppb).

Na izvoru Vrulja postavljene su doze s aktivnim ugljenom koje su mijenjane svakih 5-6 dana. Osnovni podaci o položaju opažanih izvora prikazani su u tablici 1.

Tablica 1: Opažani izvori, njihov položaj (HTRS96), udaljenost od mjesta ubacivanja trasera i način opažanja.

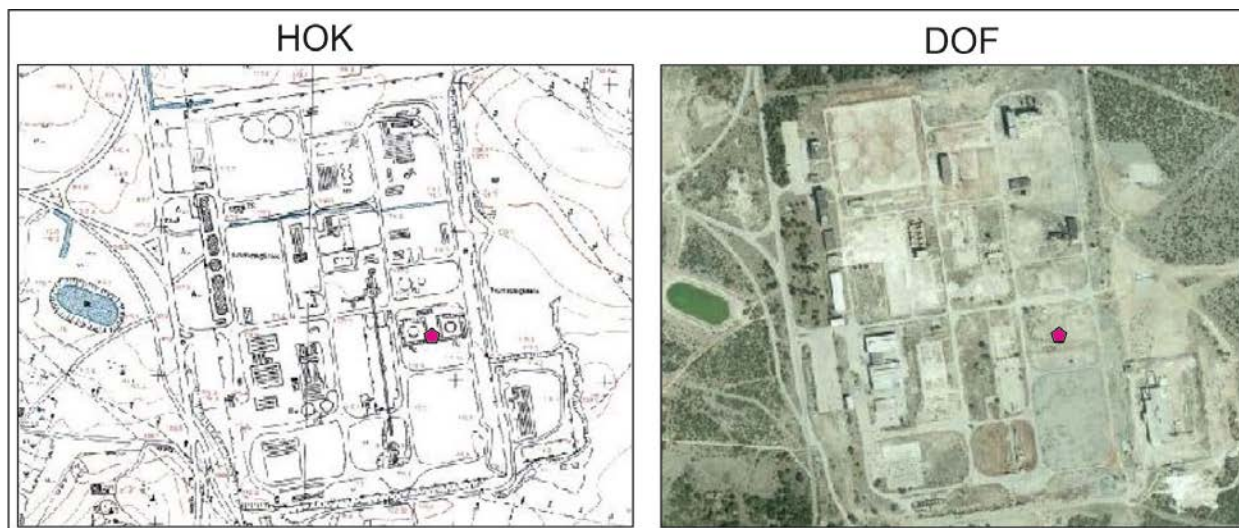
IZVOR	X	Y	z	Udaljenost (m)	Način opažanja
JEZERO (1)	432030	4897810	0	2030	Loger 246
VRULJA (2)	432019	4897552	0	1983	Aktivni ugljen
KOD VELIKOG OKA (3)	432057	4897410	0	1930	Loger 784
SMOKVA (4)	432439	4896932	0	1550	Loger 247
JURJEVIĆA DRAGA (5)	436116	4896552	0	2230	Loger 507

Jedan dan prije trasiranja 14.10.2020. čamcem su obiđena sva mjesta uzorkovanja i na njima postavljeni mjerni uređaji, programirani za mjerenje koncentracije trasera **svakih 15 minuta**. Pored toga uzeti su nulti uzorci za određivanje prirodne fluorescencije. Kontrolni uzorci uzimani su i prilikom povremenih obilazaka izvora radi zamjene baterija i očitavanja izmjerenih podataka. Sadržaj trasera u kontrolnim uzorcima određivan je na laboratorijskom digitalnom fluorescence spectrometru Perkin-Elmer LS 55 s donjom granicom detekcije od 0,002  $\mu\text{g/L}$  (0,002 ppb).

Opažanja na izvorima trajala su od 14.10. do 4.11.2020., odnosno ukupno 21 dan.

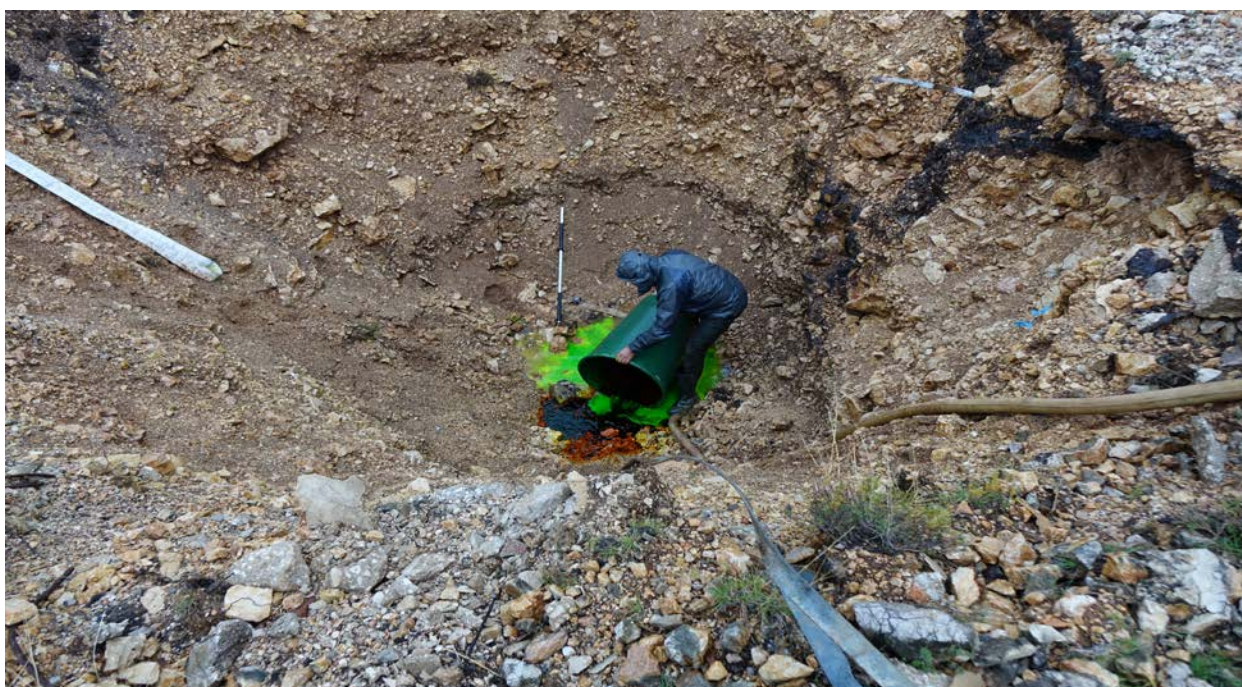
## 7. UPUŠTANJE TRASERA

Trasirana upojna jama nalazi se u krugu bivše Tvornice glinice oko 1 km sjeverno od korita rijeke Zrmanje. Jama je duboka 4 m, a iskopana je na prostoru između betonskih tankvana nekadašnjih spremnika goriva (Slika 3; elementi položaja: x 433968; y 4897180; z 117 m n.m.).



*Slika 3: Položaj mjesta ubacivanja boje na Osnovnoj državnoj karti i ortofoto snimci*

Trasiranje je izvedeno s 10 kg uranina (Na-florescein) otopljenog u 150 L vode uz dodatak 5 kg NaOH za bolju topljivost boje. Neposredno prije trasera u jamu je upušteno 5 m<sup>3</sup> čiste vode, a otopina trasera upuštena je 15.10.2020. godine u 12 sati (Fot. 26). Nakon toga traser je ispran i potisnut u podzemlje nalijevanjem 115 m<sup>3</sup> vode. Voda je do upojne jame dopremana cjevovodom od vatrogasnih crijeva s hidranta javnog vodovoda, udaljenog cca 200 m. Protok nalijevanja bio je 4 L/s.



*Fot. 26: Izlijevanje trasera u dnu upojne jame 15.10.2020. u 12:00*



## 8. REZULTATI TRASIRANJA

Trasiranjem upojne jame iskopane na području između tankvana rezervoara goriva bivše Tvornice glinice Jadral kod Obrovca utvrđena je njegova podzemna vodna veza sa svim opažanim izvorima, odnosno s izvorima Jezero, Veliko oko, Vrulja i Smokva na desnoj obali Zrmanje nizvodno od Obrovca, te na izvoru kod Jurjevića drage oko 2,2 km uzvodno od Obrovca.

Svi relevantni podaci o utvrđenim vodnim vezama prikazani su u tablici 2. Krivulje koncentracije trasera prikazane su u dijagramima na slikama 4, 5, 6, i 7. Pored koncentracije trasera prikazane su i krivulje mutnoće vode, budući da ona može utjecati na rezultate mjerenja koncentracije trasera. Prema su tijekom visokog vodnog vala neposredno nakon ubacivanja trasera zabilježene vrlo visoke vrijednosti mutnoće vode, to nije utjecalo na mjerenja koncentracije trasera, budući je evidentno da se on počeo pojavljivati u vrijeme njenog opadanja.

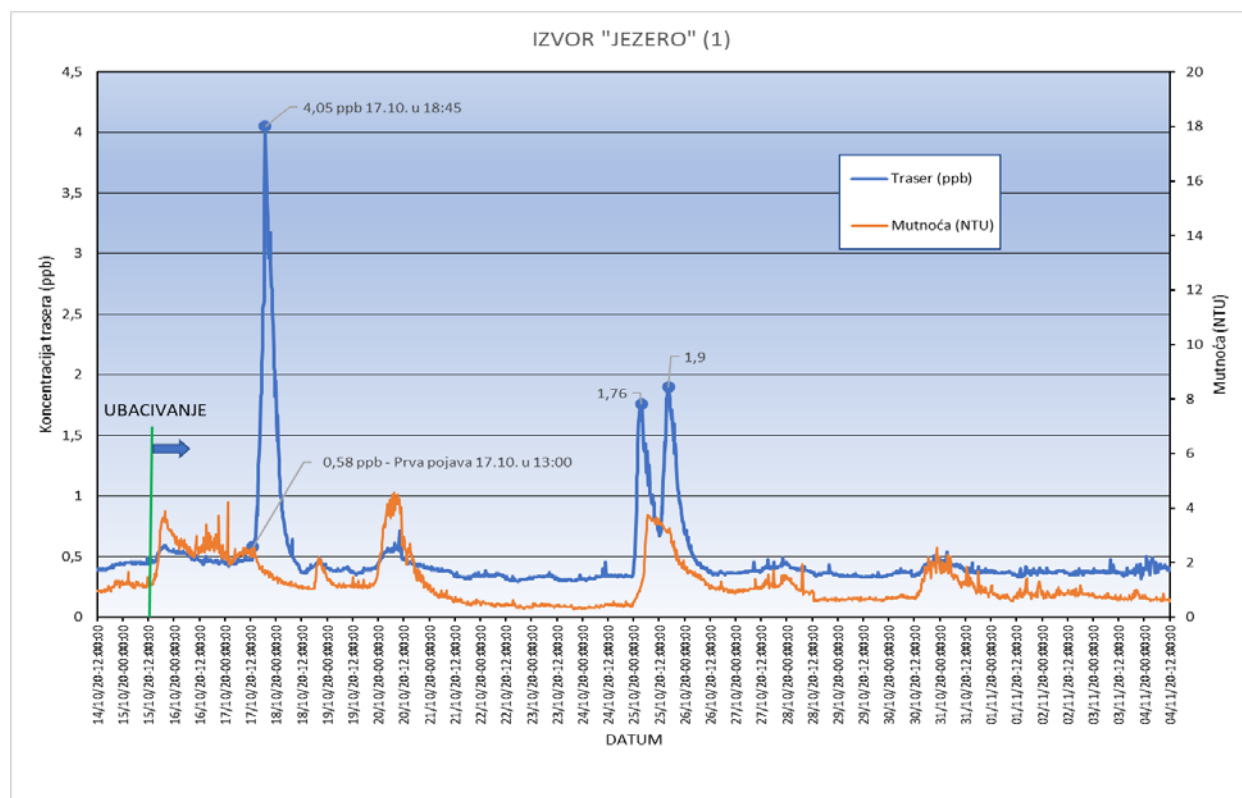
Tablica 2: Pregled rezultata trasiranja

IZVOR	Vrijeme prve pojave trasera	Sati od ubac.	Max. prividna brzina (cm/s)	Max C (ppb)	Vrijeme nailaska	Sati od ubac.	Prividna brzina MaxC (cm/s)
JEZERO (1)	17.10.20. u 13:00	49	1,15	4,05	17.10.20. u 18:45	54,75	1,03
VRULJA (2)	17.10.20. u 11:00*	47	1,17**	Nepoznato (aktivni ugljen)			
KOD VELIKOG OKA (3)	17.10.20. u 8:00	44	1,22	157,65	18.10.20. u 3:30	63,5	0,84
SMOKVA (4)	17.10.20. u 17:00	53	0,81	74,3	19.10.20. u 20:00	104	0,41
JURJEVIĆA DRAGA (5)	18.10.20. u 7:30	67,5	0,91	3,42***	18.10.20. u 10:00	70	0,89

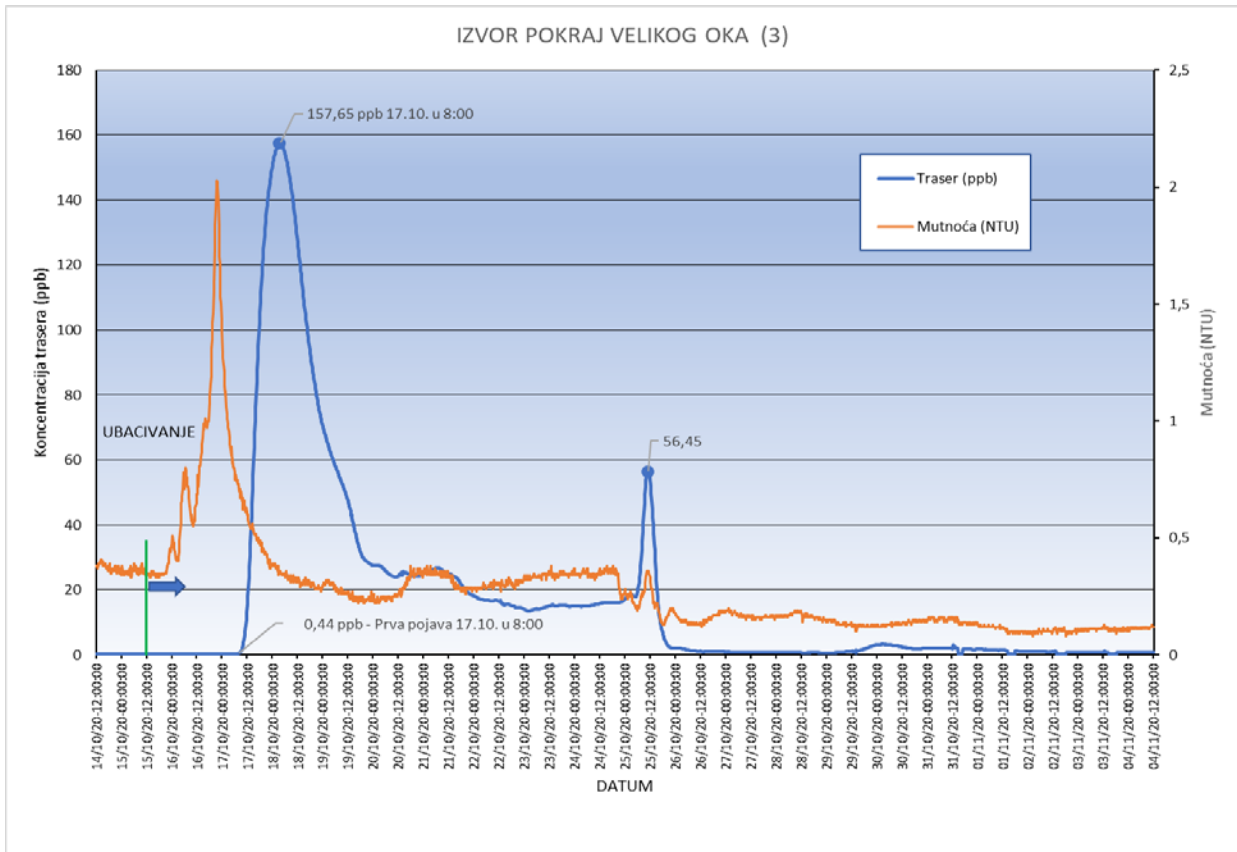
\* Doza s aktivnim ugljenom pokriva razdoblje od 15 do 20.10. Vrijeme nailaska trasera pretpostavljeno s obzirom na položaj Vrulje između Jezera i Velikog oka.

\*\* Brzina je približna temeljem gornje pretpostavke.

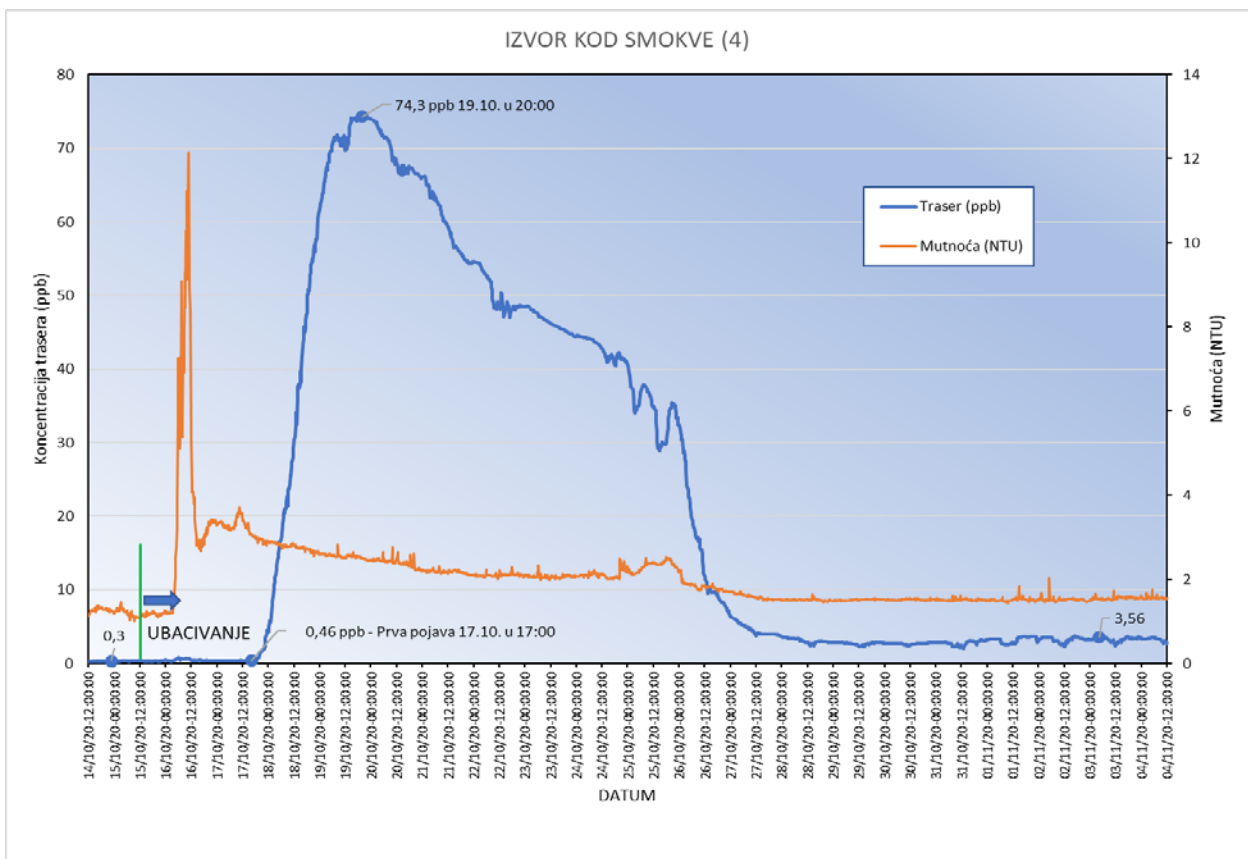
\*\*\* Mjerni uređaj ostao izvan vode. Max. koncentracija i vrijeme njene pojave nisu zabilježeni. Izračun je izveden na osnovi posljednjeg zabilježenog mjerenja.



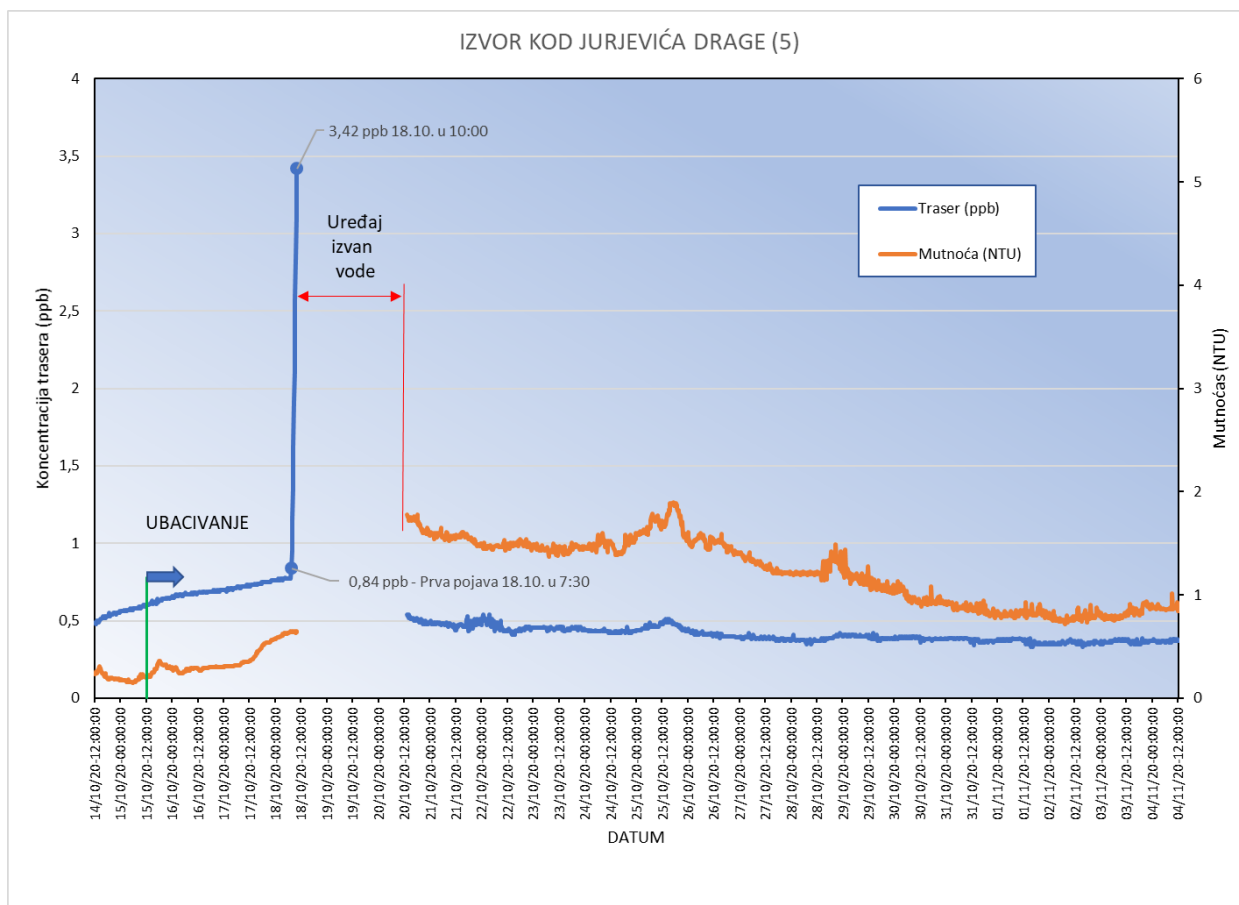
Slika 4: Krivulja istjecanja trasera i mutnoće vode na izvoru Jezero.



Slika 5: Krivulja istjecanja traseru i mutnoće vode na izvoru pokraj Velikog oka



Slika 6: Krivulja istjecanja traseru i mutnoće vode na izvoru Smokva



Slika 7: Krivulja istjecanja traser i mutnoće vode na izvoru kod Jurjevića drage.

Tablica i grafovi rezultata trasiranja (koncentracija uranina i mutnoća vode), zabilježeni na korištenim mjernim instrumentima, pohranjeni su na priloženom CD-u. (Fajl: Prilog 3\_Glinica-Zrmanja\_Rezultati).

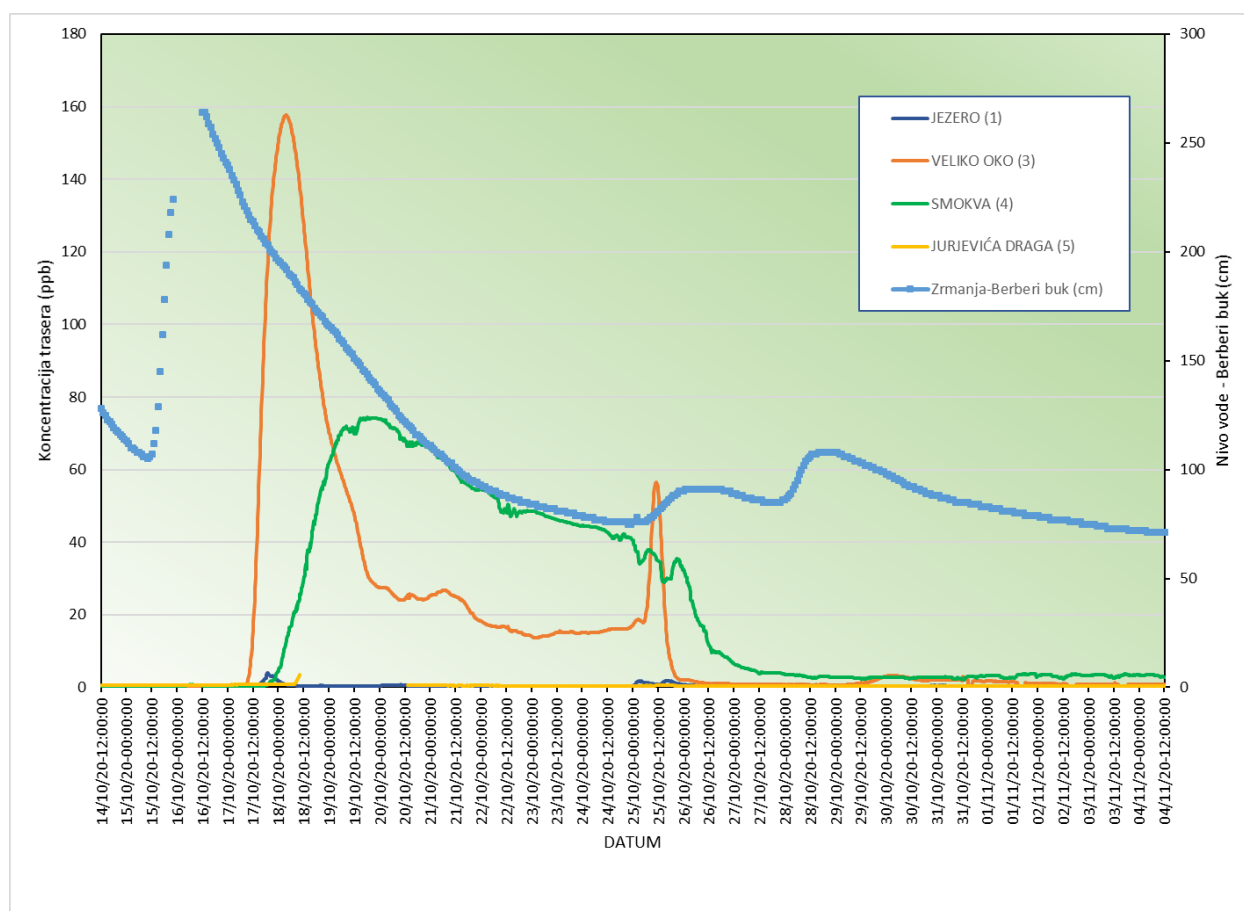
Kako je već spomenuto na izvoru vrulja pojava traser praćena je pomoću doza s aktivnim ugljenom. Opažanje se izvodi tako da se doze s aktivnim ugljenom određeno vrijeme ostavlja u vodi izvora. Tijekom tog razdoblja čestice aktivnog ugljena na sebe vežu određenu količinu traser ukoliko se on pojavi. Nakon toga se po posebnom postupku u laboratoriju ekstrahira nakupljeni traser i određuje njegova koncentracija. Ovom metodom nije moguće točno odrediti vrijeme pojave i koncentracije traser na opažanom izvoru, već samo da li se u promatranom razdoblju traser pojavio ili ne. Na izvoru Vrulja dozama s aktivnim ugljenom pokrivena su slijedeća razdoblja: od 14. do 20.10.; od 20. do 28.10. te od 28.10. do 4.11.2020. godine. Analizama je utvrđeno da se traser na izvoru pojavio samo tijekom prvog opažanog intervala, dakle u razdoblju od 14. do 20.10. U ostalim dozama aktivnog ugljena traser nije utvrđen.

S obzirom na to da su svi opažani izvori potopljeni vodama Zrmanje, na njima nije moguće uspostaviti mjerne profile za praćenje izdašnosti. U takvim okolnostima dobiveni su samo kvalitativni podaci, odnosno podaci o dinamici istjecanja traser, dok izračun pronosa traser (količina istekle boje-kvantitativni podaci) nije moguće provesti.

## 9. DISKUSIJA REZULTATA

Trasiranjem je nedvojbeno potvrđena veza područja tankvana rezervoara goriva bivše Tvornice glinice s opažanim izvorima na desnoj obali Zrmanje, počevši od izvora Jezero cca 3,8 km nizvodno od Obrovca, preko izvora Vrulja, Velikog oka i Smokve do izvora kod Jurjevića drage koji se nalazi približno 2,2 km uzvodno od Obrovca. Premda je taj potez korita Zrmanje dug oko 6 km, istjecanje trasera, a sukladno tome i onečišćenja, odvija se na njegovim zapadnim i istočnim rubnim dijelovima.

Dinamika i koncentracije istjecanja trasera na kontinuirano opažanim izvorima (mjerni instrumenti) u usporedbi s hidrološkim uvjetima prikazana je na slici 8. Za prikaz hidroloških uvjeta korišten je nivogram Zrmanje na vodomjeru Berberi buk. Ovaj nivogram je korišten radi bolje preglednosti, budući da je nivogram za vodomjer Zrmanje u Obrovcu opterećen utjecajem morskih mijena i radom RHE Velebit, što je vidljivo na slici 2 u poglavlju 5.



Slika 8: Usporedni prikaz krivulja istjecanja trasera i nivograma Zrmanje na vodomjeru Berberi buk.

Prva pojava boje registrirana je na izvoru kod Velikog oka svega 44 sata nakon ubacivanja (17.10. u 8:00). S obzirom na to da je izvor od mjesta ubacivanja trasera udaljen oko 1930 m, proizlazi da je maksimalna prividna brzina toka iznosila 1,22 cm/s. Uz vrlo nagli porast koncentracije (Slika 5), njena maksimalna vrijednost od čak 157,65 ppb (0,15765 mg/L) zabilježena je 18.10. u 3:30, dakle 63,5 sati nakon ubacivanja trasera. Prividna brzina nailaska maksimalne koncentracije bila je 0,84 cm/s. Uslijedio je njen, u prvo vrijeme dosta nagli, a potom postupni pad, sve do nailaska slijedećeg vodnog vala 25.10. (Slika 8). U drugom nailasku maksimalna koncentracija dosegla je 56,45 ppb (0,05654 mg/l). Valja istaknuti da u razdoblju

pada koncentracije između ova dva vala, koje je trajalo 6 dana, koncentracija trasea nije pala ispod 13,57 ppb (0,01357 mg/l). Nakon drugog vala koncentracija trasea se bitno smanjila, ali je on istjecao sve do prekida opažanja 4.11.. To proizlazi iz činjenice da su prije pojave boje vrijednosti prirodne fluorescencije vode (background za uranin) bile oko 0,3 ppb, a da je na kraju opažanja koncentracija još uvijek iznosila 0,8 ppb.

Krivulja istjecanja trasea na ovom izvoru izrazito je kontinuirana i bez značajnijih oscilacija izmjerenih vrijednosti, što je posljedica montaže mjernog instrumenta izravno u dovodni kanal podzemne vode, pa su ovdje izostali nepovoljni utjecaji miješanja s vodama Zrmanje, što na drugim izvorima nije bio slučaj.

Brzina pojave trasea i njegova izrazito visoka koncentracija upućuju na vrlo dobru povezanost izvora i mjesta ubacivanja.

Istjecanje trasea na izvoru kod Velikog oka vidljivo je na naslovnici elaborata i na slici 27. Fotografije su snimljene 20.10. oko 12:45 sati kada je koncentracija trasea bila „svega“ 25 ppb (0,025 mg/L). Možemo samo zamisliti kako je to izgledalo u vrijeme nailaska maksimalne koncentracije od 157 ppb.



*Fot. 27: Istjecanje trasea (25 ppb) na izvoru kod Velikog oka 20.10.2020. Oko izvora vidljivi tragovi mazuta od posljednjeg incidenta.*

Druga pojava boje registrirana je na izvoru Jezero 49 sati nakon ubacivanja (17.10. u 13:00). S obzirom na to da je izvor od mjesta ubacivanja trasea udaljen oko 2030 m, proizlazi da je maksimalna prividna brzina toka iznosila 1,15 cm/s. Uz vrlo nagli porast koncentracije (Slika 4), njena maksimalna vrijednost od 4,05 ppb (0,00405 mg/L) zabilježena je istoga dana 17.10. u 18:45, dakle 54,75 sati nakon ubacivanja trasea. Prividna brzina nailaska maksimalne koncentracije bila je 1,03 cm/s. Uslijedio je njen nagli pad, te je traser praktički prestao istjecati već naredni dan. Traser se ponovo pojavio s nailaskom slijedećeg vodnog vala 25.10., u dva istaknuta pika s koncentracijama od 1,76 i 1,9 ppb. Nakon 26.10. pojave trasea više nisu zabilježene.

S obzirom na prostorni položaj izvora Vtulja između izvora Jezero i Veliko oko može se pretpostaviti da se traser na njemu i vremenski pojavio negdje između vremena nailaska na spomenutim izvorima. Doza s aktivnim ugljenom u kojoj je konstatirana prisutnost trasea

pokriva razdoblje od 14. do 20.10.). Ako se pretpostavi da je to bilo 17.10. oko 11 sati, uz udaljenost od 1983 m, maksimalna prividna brzina iznosila bi 1,17 cm/s. Premda je to samo orijentacijska vrijednost brzine, veza s mjestom ubacivanja je potvrđena.

Sljedeća pojava trasera zabilježena je na izvoru Smokva. Krivulja njegovog istjecanja (Slika 6) vrlo je specifična. Prva pojava boje registrirana je 53 sata nakon ubacivanja (17.10. u 17:00). S obzirom na to da je izvor od mjesta ubacivanja trasera udaljen oko 1550 m, proizlazi da je maksimalna prividna brzina toka iznosila 0,81 cm/s. Koncentracija trasera kontinuirano je rasla naredna dva dana (Slika 6), a maksimalnu vrijednost od 74,3 ppb (0,0743 mg/L) dosegla je 19.10. u 20:00, dakle 104 sata nakon ubacivanja trasera. Prividna brzina nailaska maksimalne koncentracije bila je 0,41 cm/s. Uslijedio je njen postupni pad čija se dinamika razlikuje od one zabilježena na prethodnim izvorima. Naime, on je kontinuirano spor. U vrijeme povišenog vodnog vala 25.10. kada su na Jezeru i Velikom oku bilježene pojave sekundarnih pikova, na ovom izvoru oni su izostali, a primjetna su samo titranja krivulje u silaznom trendu. Cijelo to vrijeme koncentracije su visoke i prelaze 30 ppb (0,03 mg/L). Značajniji pad bilježi se tek 26. i 27.10. kada koncentracije padaju na oko 3 ppb (0,003 mg/L). Na tim vrijednostima koncentracija trasera zadržava se do kraja opažanja, što više, ona blago raste, te je pod kraj opažanja još uvijek značajnih 3,56 ppb (0,003456 mg/L). S obzirom na to da su vrijednosti prirodne fluorescencije vode (background za uranin) prije trasiranja bile desetak puta niže, oko 0,3 ppb, proizlazi da je u vrijeme prekida opažanja istjecanje trasera još uvijek bilo prisutno.

Istjecanje trasera na izvoru Smokva vidljivo je na fotografiji 28, koja je snimljena 20.10. oko 14 sati, kada je koncentracija trasera bila oko 67 ppb (0,067 mg/L).



*Fot. 28: Izrazito visoka koncentracija trasera u izvoru Smokva. U vrijeme snimanja fotografije iznosila je 67 ppb.*

Razlog specifične dinamike istjecanja trasera na ovom izvoru samo je dijelom njegov položaj, odnosno odvojenost od glavnog toka Zrmanje, što ima za posljedicu određeno zadržavanje trasera u izvorskom jezeru. Ipak, glavni razlog vjerojatno je u dinamici tečenja podzemnih voda,

pri čemu treba voditi računa o činjenici da je ovo izvor najbliži mjestu ubacivanja trasera. Može se pretpostaviti da Smokva predstavlja glavno mjesto dreniranja podzemnih voda s prostora Tvornice glinice. Kada je traser ubacivan njegov najveći dio usmjeren je prema ovom izvoru. Kako je neposredno nakon toga došlo do naglog podizanja razine podzemnih voda (ekstremni vodni val 16.10.) on je samo nastavio potiskivati već usmjereni traser prema izvoru. Vjerojatno je propusna moć vodonosnika u neposrednom zaleđu ovog izvora ograničena, što ima za posljedicu dugotrajnost istjecanja trasera. Zbog istog razloga prva pojava trasera nešto kasni za pojavom na udaljenijim izvorima Jezero i Veliko oko. Premda je i maksimalna zabilježena koncentracija na Velikom oku duplo veća od koncentracije na Smokvi, njegovo je trajanje znatno kraće. Na Velikom oku val visoke koncentracije praktički je već prošao i prije nego je Smokva dosegla svoj maksimum (Slika 8). Kada se uzme u obzir i razlika u izdašnosti (Smokva je znatno jači izvor), može se zaključiti da su na Smokvi istekle daleko najveće količine ubačenog trasera. To vrlo dobro objašnjava zapažanja prema kojima se na ovom izvoru javljaju najveće količine onečišćenja ugljikovodicima.

Traser se najkasnije pojavio na izvoru kod Jurjevića drage, što je i razumljivo budući je riječ o najudaljenijem izvoru (2230 m). S obzirom na to da je na izvoru jasno konstatirano istjecanje ugljikovodika, ne može se reći da je pojava trasera bila neočekivana. Premda hidrogeološki nije riječ o očigledno očekivanoj vezi, moguće objašnjenje dano je u poglavlju 4.3..

Premda je tijekom opažanja u odsutnom trenutku došlo do prekida mjerenja zbog pada razine na izvoru (mjerni instrument je ostao na suhom), pouzdano je uhvaćen trenutak nailaska boje (Slika 7). Prva pojava boje registrirana je 67,5 sati nakon ubacivanja (18.10. u 7:30). S obzirom na udaljenost od mjesta ubacivanja trasera, proizlazi da je maksimalna prividna brzina toka iznosila 0,91 cm/s. Dva i pol sata kasnije zabilježena koncentracija već je dosegla 3,42 ppb (0,00342 mg/L), što je nažalost bio zadnji izmjereni podatak. Tijekom obilaska koji je uslijedio dva dana kasnije instrument je premješten dublje u korito Zrmanje, međutim daljnje istjecanje trasera nije registrirano. Očito se kompletna pojava trasera odigrala u vrijeme prekida mjerenja. Bez obzira na vrlo kratak zabilježeni interval istjecanja trasera, njegova koncentracija je visoka i nedvojbeno potvrđuje vezu ovog izvora s mjestom ubacivanja.

Dobiveni rezultati pokazuju ujednačenost maksimalnih prividnih brzina tečenja koje se kreću u uskom rasponu od 0,81 do 1,22 cm/s. S obzirom na činjenicu da su srednje vrijednosti maksimalnih prividnih brzina tečenja u našem kršu oko 3,55 cm/s (Kuha & Brkić, 2008), ovdje utvrđene brzine mogu se smatrati relativno malima. Ovako niske brzine dijelom su posljedica izlivanja trasera na površini terena (duže vrijeme prolaska kroz nesaturiranu zonu), a dijelom upućuje na nešto slabiju okršenost naslaga. S druge strane to znači da će prirodno ispiranje onečišćenja iz zagađenog dijela podzemlja biti dugotrajan proces.

Na osnovi zabilježenih koncentracija i dinamike istjecanja trasera može se konstatirati da su glavna mjesta istjecanja onečišćenja izvori nizvodno od Obrovca, a posebno Smokva i područje Velikog oka. Značajne količine onečišćenja mogu se očekivati i na izvoru Jezero, posebno kada se uzme u obzir njegovo napajanje kroz otvorene krške kanale otkrivene ronjenjem. Na izvoru kod Jurjevića drage treba očekivati daljnje pojave onečišćenja, no ono će vjerojatno biti manje od onog na nizvodnim izvorima.

## 10. SAŽETAK

Provedeni hidrogeološki istražni radovi pokazali su da teren na razmatranom dijelu desne obale Zrmanje izgrađuju karbonatne naslage Krede i paleogena. Kredne naslage pretežito su zastupljene dobro propusnim vapnencima i vapnenačkim brečama, dok paleogen izgrađuju kompleksne Promina naslage, koje se mogu smatrati nešto slabije propusnima od krednih članova.

Dreniranje karbonatnog vodonosnika usmjereno je prema Zrmanji i pod snažnim je utjecajem dotoka podzemnih voda iz masiva Velebita i ličkog zaleđa. Zbog usporne funkcije nešto slabije propusnih prominskih naslaga u razdobljima povišenih voda u njihovom neposrednom zaleđu (područje Tvornice glinice), dolazi do podizanja razine i preraspodjele tečenja podzemnih voda prema njihovim rubnim dijelovima u dolini Zrmanje. U tim zonama locirani su i najznačajniji izvori razmatranog područja, koji su ujedno i mjesta povremenog istjecanja onečišćenja.

Trasiranje tokova podzemnih voda izvedeno je iz upojne jame iskopane na području bivše Tvornici glinice, neposredno uz danas zatrpane tankvane nekadašnjih rezervoara goriva. Tijekom iskopa u nasutom materijalu konstatirani su tragovi ugljikovodika, no te su količine male. Glavnina onečišćenja vjerojatno prodire iz samih tankvana i pratećih cjevovoda, no to je potrebno utvrditi detaljnim istraživanjima mikrolokacije.

Za trasiranje je korišteno 10 kg uranina (Na-fluorescein). Traser je izliven na dnu upojne jame 15.10.2020. u 12:00 sati i nakon toga ispran i potisnut s 120 m<sup>3</sup> čiste vode dopremljene s obližnjeg hidranta.

Tijekom opažanja, koje je trajalo 20 dana, utvrđena je podzemna vodna veza trasirane lokacije sa svim opažanim izvorima. Maksimalne prividne brzine relativno su niske i kreću se u rasponu od 0,81 do 1,22 cm/s.

Na osnovi zabilježenih koncentracija i dinamike istjecanja trasera može se konstatirati da su glavna mjesta povremenog istjecanja onečišćenja izvori nizvodno od Obrovca, a posebno Smokva i područje Velikog oka. Značajne količine onečišćenja mogu se očekivati i na izvoru Jezero, posebno kada se uzme u obzir njegovo napajanje kroz otvorene krške kanale otkrivene ronjenjem. Na izvoru kod Jurjevića drage treba očekivati daljnje pojave onečišćenja, no ono će vjerojatno biti manje od onog na nizvodnim izvorima.

Autori izvješća:

Mladen Kuhta, dipl.ing.geol.

Dr.sc. Željka Brkić, dipl.ing.geol.



## Literatura:

- 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.
- Ivanović, A., Sakač, K., Marković, S., Sokač, B., Šušnjar, M., Nikler, L. & Šušnjara A., (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Obrovac L33–140. –Institut za geološka istraživanja, Zagreb, (1962–1967); Savezni geološki institut, Beograd.
- Ivanović, A., Sakač, K., Sokač, B., Vrsalović-Carević, I. & Zupanič, J., (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Obrovac L33–140. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1967); Savezni geološki institut, Beograd, 61 str.
- Pekaš, Ž., (2020): Utvrđivanje zone onečišćenja ugljikovodicima desne obale Zrmanje nizvodno od Obrovca. Program radova. Hrvatske vode, Zagreb.
- Šarin, A., (1988): Upute-za izradu osnovne hidrogeološke karte Jugoslavije, M 1:100.000, Beograd. Arhiv HGI, Zagreb.