

Rudarsko-geološko-naftni zbornik	Vol. 20	str. 27-40	Zagreb, 2008.
----------------------------------	---------	------------	---------------

UDK 551.49:543.3
UDC 551.49:543.3

Originalni znanstveni rad
Original scientific paper

Jezik/Language: Hrvatski/Croatian

KVALITETA VODE IZVORA VRELIĆ U DONJIM DUBRAVAMA

WATER QUALITY OF THE VRELIĆ SPRING IN DONJE DUBRAVE

MARINA TRPČIĆ¹, FRANKICA KAPOR²

¹Speleološki klub "Ozren Lukić" Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6

²Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6

Ključne riječi: voda, izvor Vrelić, špilja Vrelić, zagađenje, akcident, mikrobiološke analize, kemijske analize, mineralna ulja

Key words: water, Vrelić spring, Vrelić cave, pollution, accident, microbiological analysis, chemical analysis, mineral oil

Sažetak

U dijelu podzemnog toka u špilji Vrelić u Donjim Dubravama 2003. godine uočeno je zagađenje opasnim tvarima (nafta). Prospekcijom terena i kontaktiranjem s lokalnim stanovništvom locirano je nekoliko mogućih izvora zagađenja. Pretpostavljena je objektivna mogućnost da su uočeni tragovi nafte u špilji posljedica željezničkog akcidenta iz 1970. godine. Usljed nesreće na pruzi Rijeka-Zagreb vagon-cisterna iskliznula je iz tračnica i sadržaj opasnog tereta iscurio je u obližnju dolinu na mjestu udaljenom 800 m od ulaza u špilju Vrelić. U blizini se nalazi izvor koji mjesno stanovništvo povremeno koristi za vodoopskrbu. Uzorkovanje vode u špilji i na izvoru obavljeno je u nekoliko navrata u narednom periodu, s ciljem praćenja utjecaja zagađenja na kvalitetu vode u različitim sezonskim (klimatskim) uvjetima. Laboratorijskim analizama uzoraka obuhvaćeni su sljedeći pokazatelji: ukupna tvrdoća; koncentracije kalcija, magnezija, željeza, klorida i nitrata; ukupna mineralna ulja; broj živih bakterija; ukupni koliformi; fekalni streptokoki; bakterije iz roda *Proteus*; bakterije iz roda *Salmonella* i sulfotoreducirajući klostridiji. Na izvoru Vrelić i nekoliko drugih izvora u blizini prijenosnim uređajima izmjereno je još nekoliko parametara: elektrovodljivost, ukupna mineralizacija, redoks-potencijal, pH i temperatura vode. Izvršeno je trasiranje Na-fluorescinom čime je potvrđena veza toka u špilji s izvorom, a izradom speleološkog nacrtu i površinskim mjerenjem utvrđena je udaljenost od mjesta izlivanja trasa u špilji do izvora.

Uvod

Neka slabije razvijena naselja u Republici Hrvatskoj s malim brojem stanovnika još uvijek nisu priključena na javni vodoopskrbni sustav. Najčešće se potrebe

Abstract

In one part of the groundwater flow in the Vrelić cave (near the village Donje Dubrave), during the explorations in 2003, oil pollution was perceived. During field prospection and contact with local population, few possible pollution sources were located. There was a strong possibility that the oil traces in the cave are the result of the railway accident in 1970. Because of the railway accident on Rijeka-Zagreb railroad, tank carriage slipped off from the tracks and the content of the dangerous cargo leaked onto the nearby valley, 800 meters away from the cave entrance. A spring, used sometimes for water supply by the local population is also located nearby. Sampling of the water from the cave and the spring was carried out several times during the next period with the intention of monitoring the pollution impact on water quality in different seasonal (climatic) conditions. In the course of the laboratory analysis of the samples the following parameters were determined: Total hardness; Concentrations of Calcium, Magnesium, Iron, Chlorides and Nitrates; pH-value; TOC; colony-forming unit (CFU); total Coliform; fecal *Streptococcus*; *Proteus* bacteria; *Salmonella* bacteria and *Clostridium perfringens* bacteria. Several of other parameters were also measured by mobile devices: Conductivity (EC), TDS, Redox-potential, pH-value and water temperature. Water tracing with Na-fluorescein was carried out before the analysis and the connection between groundwater flow in cave and the spring water was confirmed. After the creation of a topographical (speleological) map of the cave and thanks to the surface (field) measurements, the distance between the place of Na-fluorescein spill in the cave and the Vrelić spring was defined.

kućanstava za vodom u takvim uvjetima zadovoljavaju donekle organiziranom vodoopskrbom cisternama, no ima slučajeva gdje se lokalno stanovništvo snabdijeva vodom iz kućnih zdenaca i prirodnih izvora. Kontrola zdravstvene ispravnosti vode koja se eksploatira iz takvih

objekata često ovisi o educiranosti, navikama i uopće osobnim stavovima pojedinaca. Ljudi koji su donekle svjesni opasnosti od zagađenja, sami će organizirati redovitu kontrolu vode koju konzumiraju iz vlastitih zdenaca ili prirodnih izvora, odnošenjem uzoraka na analizu u ovlaštene laboratorije. Neki drugi pak neće poduzeti ništa, čak i ako u blizini mjesta zahvaćanja vode postoji neki očigledni izvor zagađenja, kao što je npr. smetlište ili neadekvatno izgrađena/održavana septička jama.

Hrvatskim *Zakonom o vodama* (NN 150/05) propisano je da je svakome dozvoljeno, u skladu s propisima, koristiti vode običnim načinom koji ne zahtijeva posebne naprave i ne isključuje druge od jednakog korištenja (opća uporaba voda). Naglašava se da opća uporaba voda obuhvaća osobito zahvaćanje vode, bez posebnih naprava, iz vodotoka i drugih prirodnih ležišta za piće, sanitarne potrebe i druge osobne potrebe domaćinstva, kao i korištenje voda iz rijeka, jezera i drugih površinskih ležišta za kupanje i rekreaciju. Za takvo korištenje nije potrebna vodopravna dozvola. Međutim, upravo kao rezultat slobodnog zahvaćanja vode za piće iz kućnih zdenaca ili prirodnih izvora, uz izostanak pravovremene kontrole zdravstvene ispravnosti, povremeno se događaju pojedinačna oboljenja, a u gorem slučaju epidemije, poglavito kada su u pitanju mikrobiološka zagađenja.

Tijekom speleoloških istraživanja špilje Vrelić 2003. godine otkriveno je onečišćenje opasnim tvarima (nafta) i pretpostavljena je objektivna mogućnost da ono utječe na kvalitetu podzemne vode koja dopijeva na površinu kao izvor Vrelić. Intenzivan miris nafte primijećen je stotinjak metara južno od ulaza u špilju, u kanalu s vodom između dva sifona. Nakon nizvodnog sifona tok se nastavlja dalje pored ulaza u špilju i prema izvoru koji se nalazi dvjesto metara sjeverno od ulaza. Na temelju generalnog pravca tečenja, morfologije terena i blizine izvora, mogla se s velikom vjerojatnošću pretpostaviti izravna veza podzemnog toka s izvorom Vrelić.

Da bi se donijela točna ocjena utjecaja zagađivala na kvalitetu izvorske vode potrebno je analizirati brojne fizikalne, kemijske i biološke pokazatelje, uz istovremeno utvrđivanje lokalnih hidrogeoloških i klimatskih uvjeta. Budući da za realne rezultate analize treba ponavljati, za istraživanje utjecaja onečišćenja na izvor Vrelić uzorci vode uzeti su, sukladno raspoloživim sredstvima, nekoliko puta u različitim vremenskim i sezonskim uvjetima. Osnovni cilj bio je dokazivanje eventualnih promjena osnovnih pokazatelja u odnosu na nezagađenu podzemnu vodu i to u ovisnosti o namjeni ugroženog izvora.

Tijekom terenskih istraživanja u blizini špilje Vrelić primijećeno je da lokalno stanovništvo povremeno zahvaća vodu s izvora i to isključivo sa svrhom upotrebe za piće. Zato je odlučeno prioritarno utvrditi današnju koncentraciju zagađivala u izvorskoj vodi, kao i osnovne kemijske i mikrobiološke pokazatelje. Kao temeljni alat u

određivanju utjecaja zagađenja poslužile su kvalitativne i kvantitativne kemijske analize te mikrobiološke analize osnovnih pokazatelja kvalitete vode, a prethodno su provedena terenska istraživanja kako bi se istražili odnosi hidrogeološki i klimatski utjecaji. U tom smislu potvrđena je veza toka u špilji s izvorom, izvršena je prospekcija okolnog terena, ustanovljeni su osnovni klimatski i hidrogeološki parametri i obavljena potrebna mjerenja na terenu.

Dio rezultata rada preuzet je iz projekta studentskog Speleološkog kluba «Ozren Lukić» pod nazivom «Istraživanje onečišćenjem ugroženih speleoloških objekata ogulinskog područja». Taj je višegodišnji projekt nakon prijave na natječaj Studentskog zbora Sveučilišta u Zagrebu financijski poduprlo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, a 2006. i 2007. godine, pored istraživanja još nekih speleoloških objekata na ogulinskom području, obavljena su i istraživanja u špilji Vrelić.

Intenzivnije aktivnosti na terenu, kao i završne analize provedene su krajem 2007. i početkom 2008. godine za potrebe diplomskog rada «Kvaliteta vode izvora Vrelić u Donjim Dubravama» (Trpčić 2008).

Speleološka istraživanja

U okviru speleoloških istraživanja u špilji Vrelić otkriveno je onečišćenje opasnim tvarima i pretpostavljena je objektivna mogućnost da ono utječe na kvalitetu podzemne vode koja dopijeva na površinu kao izvor Vrelić. Daljnjim terenskim istraživanjima potvrđena je veza toka u špilji s izvorom, izvršena je prospekcija okolnog terena, ustanovljeni su osnovni hidrogeološki parametri i obavljena potrebna mjerenja na terenu. Sva prethodna istraživanja i mjerenja poslužila su kao temelj za uzorkovanje, odnosno kemijske i mikrobiološke analize vode.

Istraživanje špilje Vrelić i zapažanje onečišćenja

Špilja Vrelić nalazi se u blizini korita rijeke Globornice, u području koje je na topografskim kartama označeno toponimom Tuk. Najbliža naselja su mjesto Donje Dubrave (približno 1 km JI) te sela Požari (0,7 km JZ), Rebići (1,5 km SZ) i Mirići (1,5 km SI). Najbliži veći gradovi su Karlovac (30 km SI) i Ogulin (20 km JZ).

Ulaz u špilju lako je uočljiv jer se nalazi u stijeni na rubu šume, a samo je nekoliko metara udaljen od puta (**Slika 1**). Koordinate ulaza po Gauss-Krügeru određene su GPS uređajem uz točnost od 5 m (x: 50 18 682; y: 55 27 931; z: 190 m).



Slika 1. Ulaz u špilju Vrelić (foto: J. Lindić)
Figure 1 Entrance in the Vrelić cave

Ranija poznata istraživanja poduzimali su članovi Speleološkog odsjeka Planinarskog društva «Dubovac» iz Karlovca 1999. godine. Tada je topografski snimljeno 59 m tlocrtno dužine objekta, a istraživanja su prekinuta na ulazu u djelomično potopljeni kanal koji se nalazi uzvodno i južno od ulaza.

Članovi Speleološkog kluba «Ozren Lukić» (Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb) nastavljaju s istraživanjima špilje Vrelić 2003. godine. Od tada je posjećena petnaestak puta s ciljem topografskog snimanja preostalih dijelova te utvrđivanja karaktera otkrivenog zagađenja i praćenja njegova daljnjeg razvoja. Prilikom spuštanja iz gornjeg fosilnog kanala u nižu etažu s vodenim tokom, stotinjak metara južno od ulaza, zapažen je specifičan i vrlo intenzivan miris nafte. Miris se osjećao tijekom svih posjeta, no tek su 2007. godine, prilikom znatne promjene vodostaja u objektu (ekstremno nizak), uočene pukotine ispunjene onečišćenim sedimentom (Slika 2) i mjestimice tanki filmovi onečišćenja na stijeni (Slika 3). Činjenica da postoji takav problem u špilji uzeta je kao prioritarna prilikom odlučivanja o vrsti i karakteru narednih istraživačkih akcija.

Nakon prvih istraživanja i postavljanja problema planski su provedene brojne aktivnosti: topografsko snimanje špilje; prospekcija terena i lociranje prodora zagađivala s površine; mjerenje udaljenosti od špilje do izvora; trasiranje vodenog toka; utvrđivanje klimatskih i hidrogeoloških uvjeta; in situ mjerenja i uzimanje uzoraka vode za analize te laboratorijske analize.



Slika 2. Pukotina s istaloženim onečišćenjem (foto: N. Šuica)
Figure 2 Joint filled with contaminated sediment



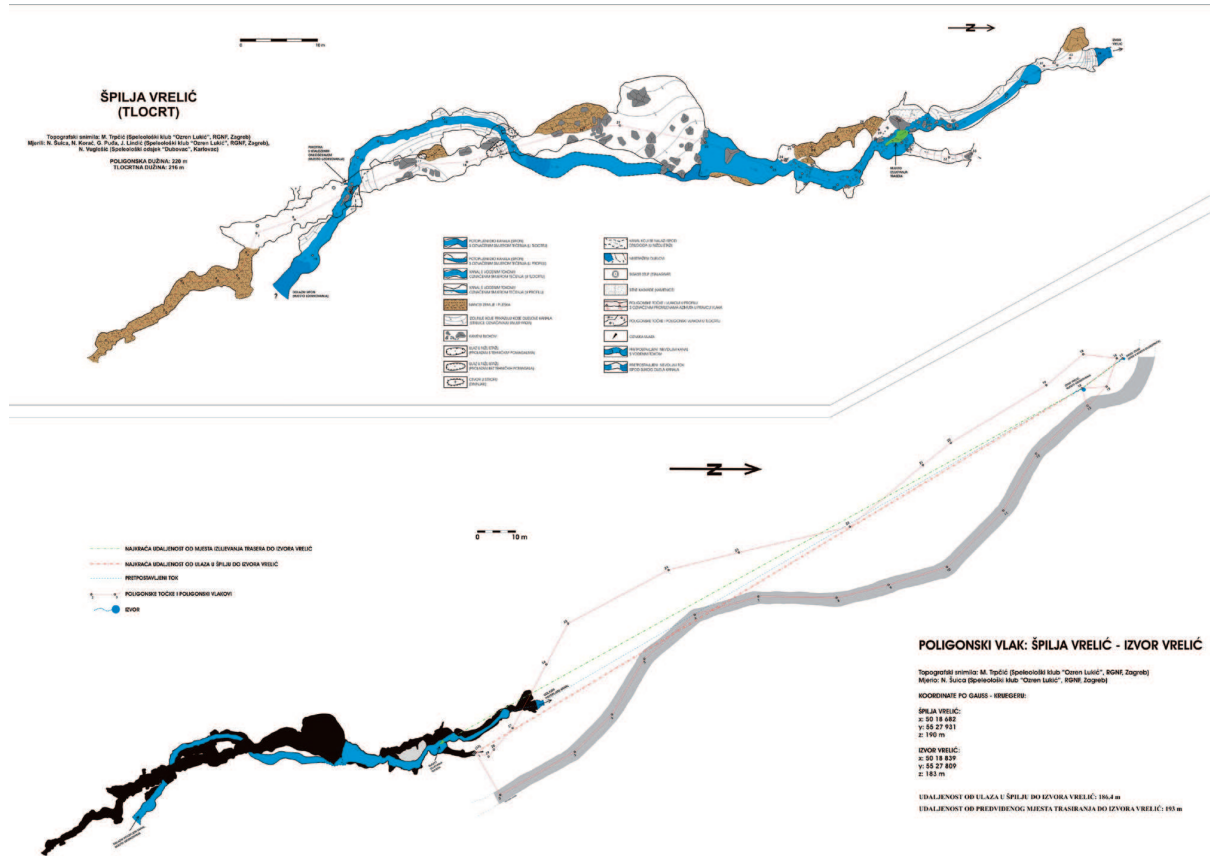
Slika 3. Tragovi onečišćenja s mirisom nafte na stijeni u špilji (foto: M. Trpčić)
Figure 3 Traces of contamination with the smell of oil on cave wall

Topografsko snimanje špilje

Parametri tlocrta i uzdužnih presjeka istraženih kanala mjereni su na praktično odabranim točkama. Specifični uvjeti koji vladaju u ovakvim podzemnim sustavima onemogućuju mjerenja koja bi dala idealni preslik realne situacije. Visine i širine kanala izmjerene na poligonskim

točkama u špilji su prave veličine, dok su tlocrtne i profilne konture između točaka skicirane, tj. prenesene na nacrt s radne skice u mjerilu. Na priloženom tlocrtu označena su

mjesta uzorkovanja, mjesto izlivanja trasera i položaj pukotine s istaloženim onečišćenim sedimentom (Slika 4).



Slika 4. Tlocrt špilje Vrelić
Figure 4 Plan of the Vrelić cave

Morfološke karakteristike objekta

Ulaz u špilju prosječne je visine 1 m i širine 1,2 m i bočno je smješten u odnosu na pružanje objekta. Generalni pravac pružanja špilje (azimut) je 345°. Ukupna stvarna dužina istraženih kanala (zbroj dužina poligonskog vlaka) iznosi 220,45 m, a ukupna tlocrtna dužina istraženih kanala (zbroj reduciranih dužina poligona) je 215,65 m. Razmak između dviju međusobno najudaljenijih točaka istraženog i topografski snimljenog dijela špilje je 133,4 m. Prosječna visina istraženih kanala iznosi 1,2 m. Značajnije visine (do maksimalno 8 m)

karakteristične su samo za dio objekta u blizini ulaza, dok su drugdje u pojedinim točkama visine manje i od 0,5 m. Prosječna širina dna kanala iznosi 2,7 m, no odstupanja od prosjeka su značajna pa je tako na mnogim mjestima širina manja od 1,5 m, a na određenim visinama iznad dna postoje teško prolazna suženja gdje su širine kanala manje od 0,5 m. Najveća izmjerena širina dna iznosi 6,25 m.

U osnovi se špilja sastoji od dva funkcionalno različita dijela: višu etažu čine suhi fosilni kanali s mjestimično debljim nanosima blata na dnu i značajnijim pojavama siga (stupovi), dok je niža etaža kanal s vodenim tokom s rijetkim pojavama siga (kaskade ili kamenice u blizini

ulaznog dijela). U južnom dijelu fosilni i aktivni kanal su mjestimično vezani vertikalama manjeg promjera, a četrdesetak metara od ulaza u objekt spajaju se u istu podzemnu prostoriju. Tu zapravo fosilni kanal nestaje, ali desetak metara dalje u pravcu ulaza pojavljuje se još jedan viši suhi bočni odvojak koji je vjerojatno u prošlosti predstavljao njegov sastavni dio. Prema odnosima kanala, pravcu pružanja i visinama dna, može se pretpostaviti da je sadašnji ulaz u špilju također bio sastavni dio gornjeg kanala špilje u vrijeme kada je isti bio hidrološki aktivan (izvor).

Pojedini dijelovi kanala s vodenim tokom najčešće su potopljeni i nedostupni ili uvjetno dostupni uz primjenu speleoronilačkih tehnika. Prolazni su samo pri ekstremno niskom vodostaju u sušnom periodu. Postoji i opasnost od iznenadnog nailaska vodenog vala u kišnim razdobljima ili u vrijeme topljenja snijega pa je potreban izniman oprez tijekom istraživanja.

Prospekcija terena i lociranje prodora zagađivala s površine

Nakon prvih istraživanja i zapažanja onečišćenja u špilji, rekognosciran je okolni teren i uspostavljen je kontakt s lokalnim stanovništvom. Locirano je nekoliko zagađivača koji mogu utjecati na izvor Vrelić i utvrđene su karakteristike okolnog terena koje su uvjetovale prodor i prijenos zagađivala do izvora.

Željeznički akcident – najvjerojatniji izvor zagađenja u špilji Vrelić

Razgovor s mještanima Donjih Dubrava i sela Požari rezultirao je saznanjem o najvjerojatnijem izvoru zagađenja u špilji Vrelić. Naime, masne mrlje s mirisom nafte pojavljivale su se na izvoru i završavale u koritu Globornice. To se događalo u pravilu za vrijeme intenzivnih oborina. Lokalni stanovnici pamte takve pojave od davnog željezničkog akcidenta koji se dogodio na pruzi Rijeka-Zagreb 1970. godine. Do nezgode je došlo u blizini pružnog prijelaza kod sela Požari. Dio kompozicije vlaka iskliznuo je iz tračnica, a prije zaustavljanja vlaka nekoliko teretnih vagona završilo je s lijeve i desne strane kolosijeka te se vagon-cisterna s naftom survala niz nasip stotinjak metara prije nadvožnjaka u Donjim Dubravama. Prilikom prevrtanja došlo je do ozbiljnog oštećenja i sadržaj cisterne iscurio je u dolinu podno nasipa.

Sa suprotne strane nasipa dolina se pruža dalje prema sjeverozapadu, dakle prema špilji i izvoru Vrelić. Stotinjak metara jugoistočno od dna nasipa, tj. od mjesta gdje je iscurila nafta nalazi se ponor kojim je vjerojatno najveća količina zagađivala prodrla u podzemlje relativno brzo nakon akcidenta (Slika 5). Generalni pravac pružanja doline odgovara pružanju špilje Vrelić. Odnosi ponor –

špilja – izvor mogu se vidjeti na isječku karte 1:25 000 (Slika 6).



Slika 5. Ponor u Donjim Dubravama i mjesto davnog akcidenta (foto: M. Trpčić)

Figure 5 Abyss in the village Donje Dubrave and the location of the old by accident

Prometnice (tuneli, željeznice) predstavljaju značajne potencijalne izvore zagađenja podzemnih voda jer uvijek postoji mogućnost prometnih nezgoda i izlivanja goriva u podzemlje, a posebno uslijed akcidenata specijalnih vozila koja prevoze naftne derivate ili druge opasne tekućine što u krškim terenima može imati katastrofalne posljedice (Mayer 1993; Kovačević 2005). Opasnost od zagađenja uslijed akcidenata još je veća u izrazito prometno tranzitnim područjima i čvorištima, a naročito kad su trase prometnica položene najnižim dijelovima riječnih dolina, kad prolaze paralelno s vodotocima u njihovoj neposrednoj blizini ili ih višestruko presijecaju.

Osim spomenutog akcidentnog zagađenja, locirano je još nekoliko zagađivača koji bi mogli utjecati na kvalitetu izvora Vrelić.

Smetlište u naselju kao mogući izvor zagađenja

Tijekom prospekcije terena (utjecajna slivna zona oko izvora Vrelić) na nekoliko lokacija zapaženo je nekontrolirano odlaganje otpada u prirodu. Nedaleko ponora, s iste strane željezničkog nasipa u Donjim Dubravama, nalazi se jedno veće smetlište. Lokacija je udaljena od ponora samo stotinjak metara i na nešto je većoj nadmorskoj visini pa dio zagađenja iz smetlišta dopijeva direktno u ponor s oborinskim vodama koje ispiru površinske dijelove.

Riječ je uglavnom o otpadu iz kućanstava, s time da su na površini uočeni pretežno sitniji komadi, uz

manji udio građevinskog otpada. Zapaženi su i dijelovi namještaja, bijele tehnike, posude od motornih ulja i slični otpad karakteriziran sadržajem određene količine štetnih sastojaka koji ugrožavaju kvalitetu podzemne vode. Vidljivi dio odlagališta prosječne je površine 30x20 m, no budući da je teren neprohodan (obrastao grmljem i kupinom) običnom prospekcijom teško je procijeniti volumen odloženog otpada. Međutim, loša organizacija zbrinjavanja na lokalnoj razini koja traje godinama unatrag i druge okolnosti (blizina naselja i dobri pristupni putovi), upućuju na pretpostavku da je ondje odložena značajna količina otpada.

U slabije razvijenim i rijetko naseljenim područjima stanovnici se često na takav način rješavaju otpada, što je dijelom rezultat loše organiziranog zbrinjavanja na razini lokalne uprave (nepostojanje ili nedostatak posuda za otpad i nedovoljno praznjenje).

Općenito je za odlagališta komunalnog otpada karakteristično da sastav i količine ovise o brojnim čimbenicima, npr. bogatstvu i navikama stanovništva. Uglavnom je slučaj da na smetlišta dopijeva sav otpad iz kućanstava, bez ikakvog prethodnog odvajanja pa se u njemu često nalaze razni predmeti koji sadrže štetne i/ili toksične tvari. Najveći problem nastaje tijekom vremena, starenjem otpada čime se mijenjaju fizičke, biološke i kemijske osobine te izdvajanjem filtrata iz otpada. U slučajevima smetlišta kontrolirana odvodnja filtrata ne postoji, već se filtrat procjeđuje kroz tlo i često uzrokuje zagađenje podzemnih voda. Ovo predstavlja osobit problem u kršu, gdje zbog velike disolucijske poroznosti procjedne vode odlagališta lako dopijevaju do vodonosnika i nerijetko zagađuju izvorske vode koje se koriste za vodoopskrbu.

Prema *Nacionalnoj strategiji zaštite okoliša* (NN 46/02) gospodarenje otpadom je najveći problem zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj, a kao osnovni razlozi navode se: nepoštivanje postojećih propisa, neadekvatna kontrola nastanka i tokova otpada, neprimjerenost smanjivanje količine i opasnih svojstava otpada, odlaganje na smetlišta, nizak stupanj recikliranja i obrade te brojni drugi zatečeni i neriješeni problemi. Od 2002. godine do danas u Hrvatskoj su poduzete brojne sanacijske i zaštitne mjere kojima se nastoji smanjiti problem otpada, no promjene su spore i uglavnom se ocjenjuju nedovoljnima. U spomenutoj Strategiji općenito je ocijenjeno da postoji na tisuće smetlišta, a ni danas se ne zna njihov broj i ne postoji cjelovit popis.

Utjecaj poljoprivrednih površina na izvor

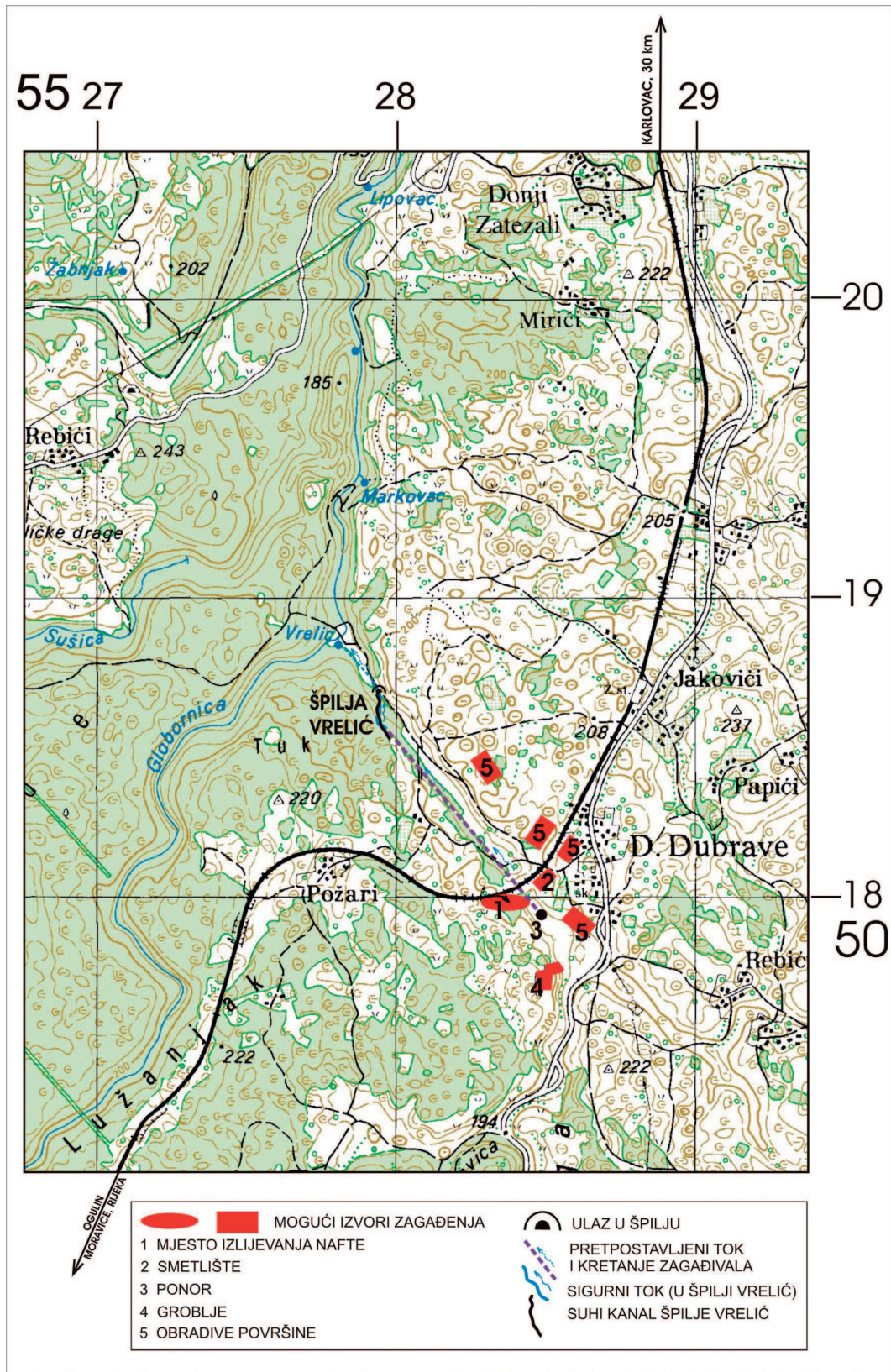
Pored ostalih zagađivača, zabilježeno je nekoliko manjih poljoprivrednih površina uzvodno od izvora Vrelić koje se mogu smatrati utjecajnim, a osobito zbog činjenice da se nalaze vrlo blizu ponora za koji postoje opravdane indicije da ostvaruje podzemnu hidrauličku vezu sa spornim izvorom.

Primjena umjetnih gnojiva i sredstava za zaštitu biljaka najčešće štetno utječe na kvalitetu podzemne vode. Takav utjecaj očituje se osobito prisustvom nitrata u vodi koji potječe s poljoprivrednih površina tretiranih dušičnim mineralnim gnojivima. Bez obzira u kojoj se formi dušik aplicira na obradivu površinu on će za nekoliko tjedana biti transformiran u NO_3^- formu, a to je ion koji se ni ne apsorbira niti ne taloži u tlu, već se uslijed oborina ili navodnjavanja infiltrira u vodonosnik (Pollak 1995). Količina nitrata u podzemnim vodama ovisi o nizu faktora, kao što su: vrsta biljaka, vrste i značajke tla, klimatski faktori i vrijeme proteklo od apliciranja dušičnih gnojiva na obradivu površinu do pojave nitrata u vodi. Važno je analizirati prisutnost nitrata u podzemnoj vodi jer je dokazano da osobito štetno utječu na zdravlje djece, a neka istraživanja navela su i na pretpostavke o njihovoj kancerogenosti (Zebec i Senta 2001).

Drugi važan izvor zagađenja s poljoprivrednih površina su sredstva za zaštitu bilja, pesticidi koji po kemijskom sastavu mogu biti vrlo različiti. Obzirom na namjenu razlikuju se insekticidi, fungicidi i herbicidi (Mayer 1993). U posljednjih tridesetak godina opasnost od zagađivanja pesticidima je znatno smanjena, zahvaljujući prestanku masovne proizvodnje i primjene sintetskih organskih pesticida na bazi kloriranih ugljikovodika (najpoznatiji DDT). Njih su zamijenili novi lakohlapivi pesticidi koji se volatilacijom gube iz tla i podložni su biološkoj razgradnji pa se u tlu zadržavaju samo nekoliko dana do nekoliko tjedana. Međutim, zbog velike propusnosti u kršu i pesticidi nove generacije lako dopijevaju do podzemne vode prije nego se uspiju biološki razgraditi i/ili ishlapati iz tla.

Ostali zagađivači

Od ostalih zagađivača koji mogu utjecati na izvor treba spomenuti lokalno groblje koje se nalazi tristotinjak metara južno od nasipa, a otprilike isto toliko prema jugoistoku prolazi cesta Karlovac-Ogulin.



Slika 6. Mogući izvori zagađenja izvora Vrelić na TK 1 : 30 000

Figure 6 Possible contamination sources of the Vrelić spring

Hidrogeološki i klimatski uvjeti

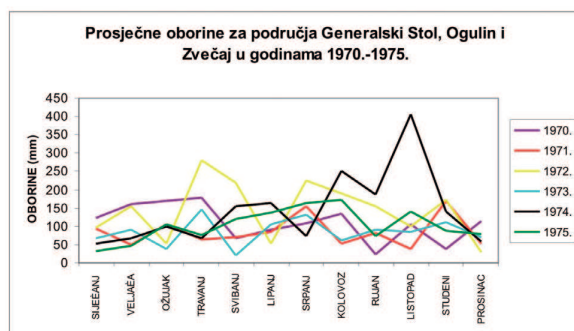
Špilja Vrelić se nalazi na kontaktu donjokrednih (alb) foraminiferskih i gornjokrednih (cenoman-turon) bioakumuliranih vapnenaca. Tektonski pripada strukturnoj jedinici Dubrave-Primišlje, smještena je između neogensko – mlađe donjokredne sinklinale Sušice i donjokredne uspravne antiklinale Dubrave-Tmajna (Velić i Sokač 1980; Velić i dr. 1980).

Voda izvora Vrelić podzemno dopijeva u rječicu Globornicu posredstvom drugog izvora, udaljenog desetak metara sjeverozapadno. U periodu intenzivnih kiša izvor se prelijeva te voda djelomično i površinski dopijeva u korito Globornice. Jedanaest km sjeveroistočno od izvora Vrelić, u blizini mjesta Erdelj, Globornica utječe u rijeku Dobru. Prema tome, regionalno gledano, istraživani vodotok koji izvire iz špilje Vrelić, pripada slijevu Kupe. Uzevši u obzir navedene činjenice, evidentno je da je akcident iz 1970. godine imao dalekosežne posljedice, neposredno ugrožavajući ekosustave Dobre i Kupe.

Režim oborina za petogodišnje razdoblje nakon akcidenta

Prosječne oborine izračunate su prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za postaje Generalski Stol, Ogulin i Zvečaj (podaci najbližih kišomjernih stanica za godinu akcidenta i pet godina kasnije).

Obzirom na ukupnu godišnju količinu oborina godine 1970. i 1975. mogu se okarakterizirati kao normalne, 1971. i 1973. kao sušne, a 1972. i 1974. bile su kišne godine (Slika 7).



Slika 7. Orijentacijski režim oborina u godini akcidenta i nekoliko godina kasnije

Figure 7 Regimen of precipitations in year of accident and few years later

Prepostavlja se da se u tih nekoliko godina najveća količina zagađivala udaljila od mjesta akcidenta privilegiranim putovima vode (ponorom u podzemlje do

izvora Vrelić i dalje od izvora površinskim vodotocima: Globornica→Dobra→Kupa→).

Mjerenje udaljenosti od špilje do izvora (vanjski poligonski vlak)

Udaljenost od ulaza u špilju do izvora Vrelić izmjerena je vanjskim poligonskim vlakom, a kontrolirana povratnim vlakom od izvora do ulaza u špilju. Početna i završna točka poligona vezana je na topografski nacrt špilje (ulaz), čime je osiguran spoj vlaka do predviđenog mjesta izlivanja trasera u špilji (Slika 4).

Najkraća udaljenost od ulaza u špilju do izvora Vrelić iznosi 186,4 m, a od ulaza u špilju do mjesta ulijevanja toka u Globornicu 199,6 m (Slika 8).

Trasiranje vodenog toka u špilji

Trasiranje toka u špilji s ciljem utvrđivanja veze s izvorom Vrelić obavljeno je 24. ožujka 2006. godine (Slika 9). Na osnovu projekcije vanjskog poligonskog vlaka, vezane na topografski nacrt špilje u istom mjerilu, izmjerena je najkraća udaljenost od predviđenog mjesta ubacivanja trasera u špilji do izvora (193 m). Ta je udaljenost poslužila kao osnova za izračun količine Na-fluorescina potrebne za razrijeđenje i ubacivanje u vodotok.



Slika 8. Površinski spoj izvora s koritom Globornice (foto: M. Trpčić)
Figure 8 Surface connection of the spring with the bed of Globornica

Količina trasera ubačena u špilji izračunata je prema relaciji:

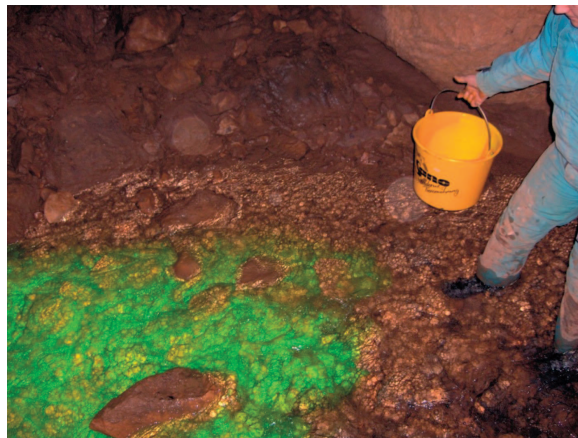
$$m = \frac{1}{10} \cdot 7,5 \text{ [g]}$$

gdje su:

m – potrebna količina trasera (g);

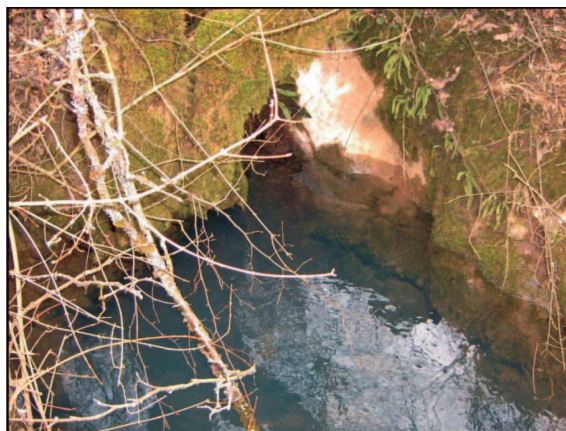
l_{s-i} – udaljenost od predviđenog mjesta ubacivanja trasera u špilji do izvora (193 m);

10 (m) i 7,5 (g) – preporučene tablične vrijednosti za trasiranje u razlomljenim karbonatnim stijenama i šljuncima (Mayer 1993).



Slika 9. Ubacivanje trasera u špilji (foto: N. Šuica)
Figure 9 Water tracing in the Vrelić cave

Izračunata je količina 144,75 g pa je izvagano 145 g Na-fluorescina (traser u granulama) i razrijeđeno u 10 L vode te je otopina na predviđenom mjestu ubačena u tok u špilji. Evidentirano je vrijeme ubacivanja trasera i vrijeme pojave obojene vode na izvoru Vrelić. Obojena voda pojavila se na izvoru 47 minuta nakon ubacivanja u tok u špilji, a 20 minuta kasnije fluorescentno zelenilo izbilo je na drugom izvoru (mjesto gdje voda utječe izravno u Globornicu), udaljenom samo 13,5 m od prvoga ili 206,5 m od mjesta ulijevanja trasera u špilji (Slika 10).



Slika 10. (a) Izvor Vrelić prije pojave trasera
Figure 10 (a) Vrelić spring before



(b) Izvor nakon pojave obojenja (foto: M. Trpčić)
(b) Spring after coloured water appearance

Kemijske i mikrobiološke analize – metode

Metode uzorkovanja

Boce za uzorke pripremane su ovisno o vrsti analize za koju su bile namijenjene. Za mikrobiološke analize staklene boce zapremine 1 L sterilizirane su kuhanjem, kao i čepovi, a potom su zatvorene do trenutka uzorkovanja. Voda je podvrgnuta analizi dan nakon uzorkovanja.

Za kemijske analize boce su pripremljene ispiranjem HCl-om i destiliranom vodom, a prije punjenja svaka je

tri puta isprana vodom s mjesta uzorkovanja. Za detaljne analize mineralnih ulja u vodi već pripremljene boce preuzete su u Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo. Uzorak sedimenta s mirisom nafte spremljen je u PVC vrećicu i staklenku koja je potom zatvorena čepom.

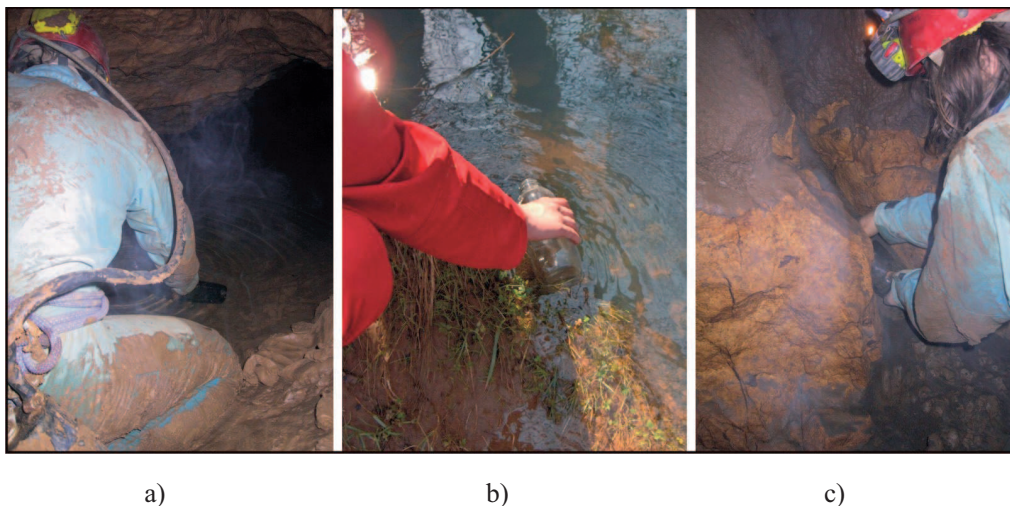
Tijekom uzorkovanja mjerene su temperature vode i zraka te pH vrijednost vode (Slika 11).

Mikrobiološke analize provedene su u laboratoriju za mikrobiologiju Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta u Zagrebu. Kemijske analize uzoraka vode obavljene su u laboratoriju za kemiju Rudarsko-geološko-naftnog

fakulteta u Zagrebu, dok su mineralna ulja u vodi analizirana u Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo.

Pregled datuma, mjesta i svrhe uzorkovanja, kao i vrste i količine uzorka dan je u **Tablici 1**.

U **Tablici 2** opisan je karakter razdoblja obzirom na oborine u vrijeme uzorkovanja.



Slika 11. (a) Uzimanje uzoraka vode u špilji, (b) na izvoru i (c) uzorkovanje onečišćenog sedimenta (foto: N. Šuica, M. Trpčić)

Figure 11 Water sampling in the cave (a), at the spring (b) and sampling of contaminated sediment (c)

Tablica 1. Uzorkovanje u špilji i na izvoru Vrelić
Table 1 Water sampling in the cave and at the spring Vrelić

DATUM	MJESTO	VRSTA UZORKA	KOLIČINA	SVRHA
29.5.2003.	špilja	voda	2 l	kemijske i mikrobiološke analize
	izvor	voda	2 l	
24.3.2006.	špilja	voda	1 l	mikrobiološke analize
	izvor	voda	1 l	
5.8.2007.	špilja	sediment	0,5 kg	analiza na ugljikovodike
10.8.2007.	špilja	voda	2 l	kemijske analize (+ analiza mineralnih ulja)
14.4.2008.	izvor	voda	1 l	analiza mineralnih ulja
26.4.2008.	izvor	voda	1 l	kemijska analiza

Tablica 2. Karakter razdoblja obzirom na oborine u vrijeme uzorkovanja
Table 2 Type of period due to precipitations at the moment of sampling

DATUM UZORKOVANJA	KARAKTER RAZDOBLJA	NAPOMENA
29.5.2003.	SUŠNO	Nije zapažena značajna promjena režima protoka u odnosu na raniji cjelomjesečni sušni period.
24.3.2006.	KIŠNO	Zapažen znatno veći protok u odnosu na svibanj 2003.; voda Vrelića površinski se miješa s Globornicom.
10.8.2007.	SUŠNO	Tijekom uzorkovanja izuzetno niska razina vode; sifoni u špilji djelomično otvoreni.
14.4.2008.	KIŠNO	Veći protok u špilji i na izvoru u odnosu na prosjek.
26.4.2008.	NORMALNO	Sifoni u špilji zatvoreni, ali izvorska voda ne miješa se površinski s Globornicom.
3.5.2008.	NORMALNO	Nema značajnih promjena u režimu oborina i protoka u odnosu na 26.4.2008.

Kemijske analize – metode

Laboratorijske analize. U okviru laboratorijskih analiza kvantitativno je određena ukupna tvrdoća vode

iz špilje i izvora, koncentracije kalcija i magnezija te kloridi u vodi. Kvalitativno su određivani nitrati i željezo (**Tablica 3**).

Tablica 3. Laboratorijske kemijske analize (svojstva i metode)
Table 3 Laboratory Chemical analysis (properties and methods)

KEMIJSKI POKAZATELJI	PRIMJENJENA METODA
UKUPNA TVRDOĆA	KOMPLEKSOMETRIJA
KALCIJEVA TVRDOĆA (KONCENTRACIJA KALCIJA)	KOMPLEKSOMETRIJA
MAGNEZIJEVA TVRDOĆA (KONCENTRACIJA MAGNEZIJA)	INDIREKTNO (IZ RAZLIKE UT i CaT)
KLORIDI	ODREĐIVANJE PO MOHRU
NITRATI	KOLORIMETRIJA
ŽELJEZO	KOLORIMETRIJA

Terenske analize. U okviru terenskih analiza 26.4.2008. godine prijenosnim uređajima analizirani su sljedeći pokazatelji u vodi izvora Vrelić: temperatura, pH vrijednost, elektrovodljivost, redoks-potencijal i ukupna mineralizacija (ukupno otopljena tvar). Za prva tri navedena pokazatelja korišten je kombinirani mobilni uređaj, pH-/EC/TDS mjerač proizvođača «HANNA», model HI 9812. Služi za mjerenje pH-vrijednosti, vodljivosti i količine soli bez zamjene sonde. Mjerna područja su: 0 do 14 pH; EC: 0 do 1990 $\mu\text{S}/\text{cm}$; TDS: 0 do 1990 mg/L (ppm). Neposredno prije mjerenja uređaji su kalibrirani pomoću odgovarajućih otopina. Za mjerenje Eh vrijednosti korišten je ispitivač redoks potencijala istog proizvođača, ORP, model HI 98201 (mjerno područje ± 999 mV).

Temperatura vode mjerena je živinim termometrom sa skalom od 0 do 100 °C.

Analize prijenosnim uređajima ponovljene su 3.5.2008., a radi usporedbe izmjerenih vrijednosti isti

pokazatelji analizirani su na još nekoliko izvora koji nizvodno prihranjuju Globornicu: počevši s izvorom Markovac koji se nalazi 500 m nizvodno i završno s izvorom Lipovac, udaljenom nešto više od 1 km od izvora Vrelić. Prijenosnim uređajima izmjereni su isti pokazatelji i u koritu Globornice.

Određivanje mineralnih ulja u vodi. Ukupna koncentracija mineralnih ulja u vodi određena je u ovlaštenom laboratoriju Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo u Zagrebu, na Odjelu za kemiju voda i mineralne vode. Odnosne analize izvršene su metodom infracrvene spektroskopije, sukladno standardu DIN 38409: 1981 (H 18). Prednost metode je u tome što omogućuje analize mineralnih ulja u otopinama pri koncentracijama nižim od 10 mg/L.

Budući da su analize mineralnih ulja u vodi na uzorcima iz predmeta ovoga rada obavljene u periodu kada je bio na snazi *Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće* iz 2003. godine (NN 117/03) treba naglasiti

da je maksimalna dozvoljena koncentracija mineralnih ulja u pitkoj vodi propisana tim pravilnikom bila 10 µg/L. Od kraja travnja 2008. godine na snazi je novi pravilnik koji propisuje maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) za mineralna ulja u vodi za piće 20 µg/L.

Mikrobiološke analize

Analiza mikrobiološke kvalitete vode sastojala se od određivanja broja živih bakterija u vodi te određivanja prisutnosti koliformnih bakterija, fekalnih streptokoka, sulfito-redukcijskih klostridija, bakterija iz roda *Salmonella* i bakterija iz roda *Proteus*.

Koliformne bakterije u pravilu nisu patogene, ali u vodama se dokazuju jer kao njihovi stalni pratioci dolaze patogeni oblici (Duraković, 2008). U ispitivanim uzorcima vode dokazane su postupkom koji se naziva kolimetrija, a sastoji se od četiri testa (prethodni, potvrđni, završni te IMViC test). Osnovni princip metode je uzgoj bakterija na odgovarajućim hranjivim podlogama i inkubacija određeno vrijeme na određenoj temperaturi. Ovisno o kojoj je vrsti bakterija riječ prate se reakcije na podlogama, a pozitivni

uzorci prethodnih testova šalju se na idući test (potvrđni, odnosno završni). Nakon završnog testa pozitivni uzorci se nacjepljuju na odgovarajuće hranjive podloge u okviru četiri testa (I-test ili test na indol, MR-VP test ili Methyl Red i Voges-Proskauer test te C-test ili test na citrat) koji se zajedničkim imenom nazivaju IMViC test. Time se utvrđuje jesu li u vodi doista prisutne koliformne bakterije (*Escherichia coli* odnosno *Enterobacteria aerogenes*) ili su uzorci pokazali lažne kolimetrijske reakcije.

Rezultati analiza vode izvora Vrelić u Donjim Dubravama (2003. do 2008.)

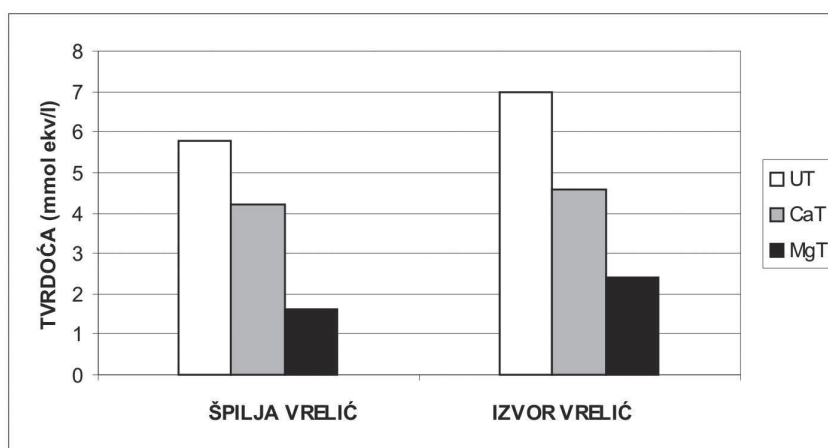
Rezultati analiza vode prijenosnim uređajima na izvoru Vrelić i drugim izvorima u Donjim Dubravama prikazani su u **Tablici 4**.

Usporedni dijagram izmjerene tvrdoće vode iz špilje i izvora Vrelić dan je na **Slici 12**.

Rezultati analiza vode izvora Vrelić i odnosne MDK prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 182/04) predstavljeni su u **Tablici 5**.

Tablica 4. Rezultati analiza prijenosnim uređajima (3.5.2008.)
Table 4 Results of mobile devices analysis (3rd May 2008)

POKAZATELJ	JEDINICA	IZMJERENE VRIJEDNOSTI (3.5.2008.)						
		VRELIĆ (1)	MARKOVAC (2)	IZVOR (3)	IZVOR (4)	IZVOR (5)	LIPOVAC (6)	GLOBORNICA
TEMPERATURA VODE	°C	10,9	10,2	9,5	9,4	8,9	11,3	12
pH		7,6	7,3	7,3	7,3	7,6	7,7	8,2
ELEKTROVODLJIVOST	µS/cm	390	360	340	400	350	340	340
REDOKS POTENCIJAL	mV	269	275	265	280	284	265	258
MINERALIZACIJA	mg/L	190	180	170	190	170	160	170
TEMPERATURA ZRAKA	°C	17,9	21,3	21,1	19,4	18,9	20,2	17,9



Slika 12. Usporedni dijagram izmjerene tvrdoće vode iz špilje i izvora Vrelić (svibanj 2003.)
Figure 12 Comparative chart of measured water hardness (cave and spring samples) (May 2003.)

Tablica 5. Rezultati analiza vode izvora Vrelić i odnosne MDK prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 182/04)
Table 5 Results of water analyses (Vrelić spring) and relational MPL's (maximum permissible level) according to Regulations of drinking water quality (NN 182/04)

ANALIZIRANI POKAZATELJI	MJERNA JEDINICA	VRIJEDNOSTI PO DATUMIMA UZORKOVANJA						MDK
		29.5.2003.	24.3.2006.	10.8.2007.	14.4.2008.	26.4.2008.	3.5.2008.	
MIKROBIOLOŠKI								
Koliformne bakterije	broj/100 ml	2	2					0
Broj kolonija 37°C = broj živih bakterija	broj/1 ml	185	146					20
Fekalni streptokoki	broj/100 ml	0	0					0
Vrste iz roda Proteus		-	-					0
Vrste iz roda Salmonella		+	+					0
Sulfito-redukcijski klostridiji		+	+					0
FIZIKALNI								
Temperatura vode	°C	10,0	10,1	11,5	10,0	10,1	10,9	25
Miris		BEZ	BEZ	BEZ	BEZ	BEZ	BEZ	BEZ
KEMIJSKI								
pH-vrijednost	pH jedinica	5,5 *	6,0 *	7,2		7,7	7,6	6,5-9,5
Elektrovodljivost	µS/cm			520		350	390	2500
Redoks-potencijal	mV			264		291	269	
Ukupna mineralizacija	mg/L			270		170	190	
Ukupna tvrdoća	mg/L CaCO ₃	350,84						>60
Kalcij	mg/L	92,18						
Magnezij	mg/L	29,18						
Kloridi	mg/L					10,04		250
Nitrati	mg/L (NO ₃ ⁻)	<1						50
Željezo	µg/L	<1						200
Mineralna ulja	µg/L			19,6	5,41			10

Zaključak

Mikrobiološko zagađenje izvora Vrelić utvrđeno je na osnovu analiza uzoraka 2003. i ponovo 2006. godine. Oba puta dokazana je prisutnost patogenih bakterija (pozitivni testovi na *Salmonellae* i sulfitoredukcijske klostridije) (Tablica 5). Broj živih bakterija, CFU (185 i 146 na 1 ml)

veći je od dozvoljene vrijednosti za pitku vodu propisane Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (37°C → CFU = 20 na 1 ml). Međutim, za izvorišta otvorenog tipa prihvatljive su vrijednosti CFU do 300 na 1 ml pa bi se dobiveni rezultati smatrali povoljnima kada među tim bakterijama ne bi bilo patogenih. Već na osnovu prvih rezultata mikrobioloških analiza, a sukladno preporuci

Pročelnika laboratorija za mikrobiologiju prof. dr. sc. Senadina Durakovića, speleolozi – članovi studentskog Speleološkog kluba «Ozren Lukić» obavijestili su stanovnike Donjih Dubrava i okolnih zaselaka da voda izvora Vrelić nije dobra za piće.

Analizama ukupnih mineralnih ulja u vodi utvrđeno je da su koncentracije niže od MDK u normalnom (kišnom) periodu (5,41 µg/L), dok je koncentracija mineralnih ulja u sušnijem razdoblju (19,6 µg/L) bila gotovo dvostruko veća od dozvoljene Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (10 µg/L) (**Tablica 5**).

Na osnovu utvrđene vrijednosti ukupne tvrdoće (19,6 °nj ili 350 mg/L CaCO₃) voda izvora Vrelić odgovara tvrdim vodama. Zbog znatnije zastupljenosti iona Ca²⁺ (92,18 mg/L) u odnosu na Mg²⁺ (29,18 mg/L) (**Tablica 5**), može se reći da je voda kalcijsko – hidrogenkarbonatnoga tipa.

Na osnovu kvalitativnih analiza nitrata i željeza, kao i niskih izmjerenih koncentracija klorida (**Tablica 5**), moglo bi se zaključiti da izvor nije opterećen procijednim vodama iz lokalnog smetlišta, niti zagađivačima s poljoprivrednih površina. Međutim, za pouzdane rezultate trebalo bi periodički pratiti navedene pokazatelje, uzimajući u obzir klimatske, odnosno sezonske utjecaje pa se može tek reći da za sada nema dokaza o utjecaju smetlišta i poljoprivrednih površina na kvalitetu vode izvora Vrelić.

Vrijednosti izmjerene prijenosnim uređajima u izvoru Vrelić ne odstupaju značajno od onih izmjerenih u obližnjim izvorima (Markovac, Lipovac i dr.). Pokazatelji koji su mjereni takvim postupkom u dva navrata (26.4. i 3.5. 2008.) su: pH, elektrovodljivost, ukupna mineralizacija, redoks potencijal i temperatura vode. Sve te vrijednosti niže su od MDK propisanih Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, tj. predstavljaju povoljne karakteristike obzirom na kvalitetu vode.

Prema parametru elektrovodljivosti vode se svrstavaju u šest kategorija (ultračista, pitka, mineralna, bočata i morska), a pritom najbolju kvalitetu predstavlja kategorija ultračista (za vrijednosti elektrovodljivosti <0,05 µS/cm). Prema takvoj kategorizaciji (Priručnik o kvaliteti vode u Hrvatskoj, Dadić 2001), u odnosu na parametar elektrovodljivosti, voda izvora Vrelić spada u pitke vode (<1000 µS/cm).

Prema ukupno otopljenoj tvari (TDS) koja određuje ukusnost, voda se dijeli na pet vrsta: odlična, dobra, dovoljna, loša i neprihvatljiva (Dadić 2001). Budući da je u vodi izvora Vrelić izmjereno <300 mg/L TDS, prema ukusnosti se svrstava u odlične vode.

Iako veći broj pokazatelja mjenjenih u izvoru Vrelić ukazuje na dobru kvalitetu vode, zbog evidentiranog mikrobiološkog zagađenja i povišene koncentracije mineralnih ulja voda nije dobra za piće. Od željezničkog akcidenta (izlivanje nafte) s posljedicom onečišćenja dijela podzemnog toka vezanog s izvorom Vrelić proteklo je gotovo četrdeset godina, no određena količina zagađivala do danas se zadržala u blizini i još uvijek utječe na kvalitetu vode. Kvaliteta vode izvora Vrelić, kao i drugih izvora –

pritoka Globornice, ima i šire – regionalno značenje jer svako eventualno zagađenje ubrzo dospijeva u rijeku Dobru, a potom i u Kupu. Daljnjim istraživanjima mogla bi se s većom sigurnošću utvrditi veza između davnog akcidenta i zagađenja u špilji Vrelić. Praćenje kvalitete izvora u budućnosti, primjenom brojnijih i preciznijih analiza vode, omogućilo bi još spoznaja o tome koliko dugo slični ekološki akcidenti doista ugrožavaju vezane podzemne i površinske tokove.

Accepted: 02.11.2008.

Received: 11.07.2008.

Literatura

- Dadić, Ž. (2001): Priručnik o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj, Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Zagreb
- Duraković, S. (2008): Vježbe iz opće mikrobiologije, interna skripta, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnoški fakultet, Zagreb
- Kovačević, A. (2005): Hidrogeološke značajke Karlovačke županije, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Mayer, D. (1993): Kvaliteta i zaštita podzemnih voda, Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora, Zagreb
- Pollak, Z. (1995): Hidrogeologija za građevinare, Poslovna knjiga, Zagreb
- Trpčić, M. (2008): Kvaliteta vode izvora Vrelić u Donjim Dubravama, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Velić, I. i Sokač, B. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Ogulin; Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd
- Velić, I., Sokač, B. i Šćavničar, B. (1980): Tumač za OGK SFRJ 1:100 000, list Ogulin; Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd
- Zebec, M. i Senta, A. (2001): Zdravstveni učinci onečišćenja vode. Opskrba vodom za piće. Sanitarno-zdravstveni nadzor vode za piće. U: Valić, F. i suradnici: Zdravstvena ekologija, Medicinska naklada, Zagreb
- Zapisnici s terena i foto-dokumentacija (špilja Vrelić), arhiva Speleološkog kluba «Ozren Lukić» (2003.-2008.), Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 182/04)
- Nacionalna strategija zaštite okoliša (NN 46/02)
- Uredba o opasnim tvarima o vodama (NN 78/98)
- Zakon o vodama (NN 107/95)
- Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodama (NN 150/05)