



IZVORIŠTE KRBAVICA
ELABORAT ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Broj: 31/17

**Predstojnik Zavoda za
hidrogeologiju i inženjersku
geologiju**

**Ravnatelj Hrvatskog geološkog
instituta**

Dr. sc. Josip Terzić, dipl. ing. geol.

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

Zagreb, studeni 2017.

PROJEKTNI ZADATAK:

**IZRADA ELABORATA ZONA SANITARNE
ZAŠTITE ZA IZVORIŠTE KRBAVICA**

NARUČITELJ:

HRVATSKE VODE

Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

IZVRŠITELJ:

HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT

**Zavod za hidrogeologiju i inženjersku
geologiju,**

Sachsova 2, Zagreb

UGOVOR:

Evid. br. 23-126/17, kl. 325-01/17-
10/0000012, URBROJ 374-23-2-17-8 od
09.06.2017 (Hrvatske vode)
2270-17 od 12.06.2017 (HGI)

**VODITELJ ISTRAŽIVAČKIH
RADOVA:**

Dr.sc. Andrej Stroj, dipl.ing.geol.

AUTORI ELABORATA:

Dr.sc. Andrej Stroj, dipl.ing.geol.

Dr.sc. Maja Briški, dipl.ing.geol.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	2
2. TEHNIČKI OPIS VODOZAHVATA	4
3. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE PRILJEVNOG PODRUČJA	6
3.1. Pregled rezultata prethodnih istraživanja	6
3.2. Geološki opis naslaga	7
3.3. Strukturne značajke terena	9
3.4. Hidrogeološke značajke stijena i terena	11
3.5. Trasiranja podzemnih tokova	15
3.6. Monitoring i analiza dinamičkih značajki izvora Krbavice i Suvaje	16
4. GRANICE PRILJEVNOG PODRUČJA	23
5. PRIJEDLOG GRANICA ZONA SANITARNE ZAŠTITE	24
6. PRIKAZ KAKVOĆE VODE	26
7. KATASTAR ONEČIŠĆIVAČA.....	30
8. PRIJEDLOG MJERA ZAŠTITE IZVORIŠTA	31
9. NAČELNI PRIJEDLOG SANACIJSKIH ZAHVATA	34
10. PRIJEDLOG MJESTA ZA POSTAVLJANJE OZNAKA ODGOVARAJUĆIH ZONA SANITARNE ZAŠTITE	35
11. ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA.....	38

Prilog 1a: HIDROGEOLOŠKA KARTA PRILJEVNOG PODRUČJA IZVORA
KRBAVICE M 1:25.000

Prilog 1b: LEGENDA UZ HIDROGEOLOŠKE KARTE (1:25.000; 1:5.000)

Prilog 2: TOPOGRAFSKA KARTA PRILJEVNOG PODRUČJA IZVORA KRBAVICE
SA UCRTANIM ZONAMA SANITARNE ZAŠTITE, LOKACIJAMA ONEČIŠĆIVAČA I
PRIJEDLOGOM MJESTA ZA POSTAVLJANJE OZNAKA ODGOVARAJUĆIH ZONA
SANITARNE ZAŠTITE M 1:25.000

Prilog 3: KARTA GRANICE II. ZONE SANITARNE ZAŠTITE M 1:5.000

Prilog 4: KARTA GRANICE I. ZONE SANITARNE ZAŠTITE M 1:1.000

1. UVOD

Uz vodozahvate na izvorima Kraljevac i Bukovac, smještene u blizini naselja Udbina, vodoopskrba općine Udbina temelji se na vodozahvatu izvora Krbavice smještenom uz rub istoimenog polja, sjeverno od znatno prostranijeg Krbavskog polja. Vodozahvat Krbavica povezan je s Udbinom magistralnim cjevovodom. Procijenjena minimalna izdašnost vodozahvata Krbavica od 25 l/s (Hidroconsult, 2001) značajno je veća od minimalnih izdašnosti vodozahvata u okolici Udbine (Kraljevac <1l/s, Bukovac 1-2 l/s, Stroj, 2012). Premda se na području Krbavskog polja nalazi više krških izvora povremeno vrlo velikog kapaciteta ($> 1 \text{ m}^3/\text{s}$), svi oni presušuju tijekom sušnih dijelova godine, uslijed čega ne postoji mogućnost izvedbe alternativnih vodozahvata na ovom području. Stoga se na zahvatu Krbavice temelji javna vodoopskrba općine Udbina, odnosno svih naselja na području Krbavskog polja i njegove okolice. Do izrade ovog elaborata za vodozahvat Krbavica nisu bile određene zone sanitarne zaštite.

Prva faza vodoistražnih radova s ciljem određivanja obuhvata zona sanitarne zaštite provedena je 2008. godine (GeoAqua, 2008), a vodoistražni radovi uključivali su: izradu hidrogeološke karte u mjerilu 1: 25.000 na priljevnom području izvora Krbavica, hidrološku analizu podataka limnografske postaje na Krbavici (niz 1983.-1990. godina), kao i vodomjerenja izvedenih u vrijeme izvedbe istraživanja, opis kakvoće vode zahvata, te popis zagađivača na istražnom prostoru. Prema preporukama iz izvještaja prve faze istraživanja (GeoAqua, 2008), s ciljem utvrđivanja pravaca kretanja podzemne vode i određivanja granica zona naknadno su obavljena trasiranje ponora na lokaciji Stankovići u Trnavac polju (Kuhta i sur. 2010) i trasiranje ponora na JZ dijelu Homoljačkog polja (Kuhta i Frangen 2013). Premda se je pojava trasera prilikom ovih trasiranja očekivala na izvoru Krbavice, pojava trasera je prilikom oba trasiranja utvrđena samo na izvorima Gacke. Ovim trasiranjima značajno je pomaknut do tada pretpostavljen položaj podzemne razvodnice Jadranskog i Crnomorskog slijeva, te su područja Trnavca i istočnog dijela Homoljačkog polja pridružena slijevu izvora Gacke, dok pretpostavljeno područje slijeva Krbavice tijekom prve faze istražnih radova (GeoAqua, 2008) nije potvrđeno.

S obzirom da se izvor Krbavica koristi u sustavu javne vodoopskrbe, a nema definirane granice zaštitnih zona, neophodno je što prije donijeti Odluku o zonama sanitarne zaštite. Prema novom Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine broj 66/11 i 47/13), u nastavku Pravilnik, predloženi sustav zaštitnih zona trebao bi osigurati efikasan i aktivan pristup zaštiti ovog značajnog prirodnog resursa.

Prema Zakonu o vodama (NN br. 153/09., 63/11., 130/11., 56/13. i 14/14., 46/18.) propisano je da izvorišta koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu moraju biti zaštićena od namjernog ili slučajnog onečišćenja te od drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost vode ili njenu izdašnost. Uvjeti i način utvrđivanja područja sanitarne zaštite izvorišta, mjere za zaštitu izvorišta, smjernice za utvrđivanje posebne naknade za povećana ulaganja u javni

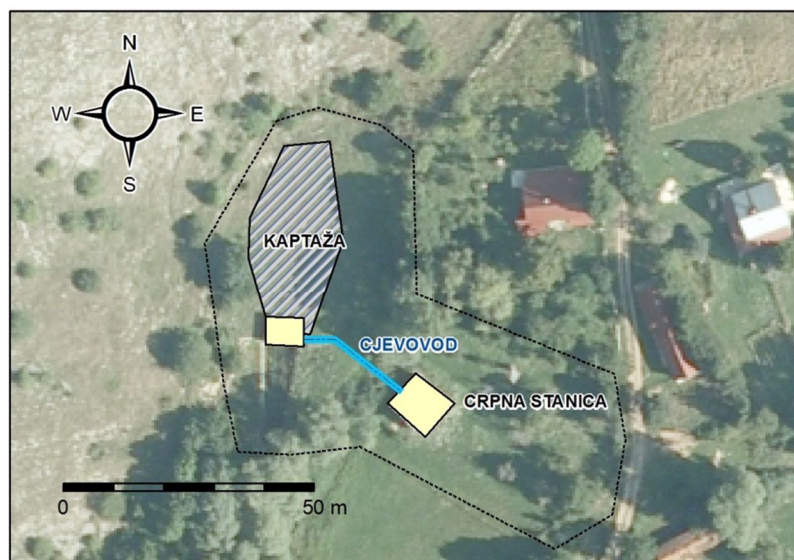
vodoopskrbni sustav i sustav javne odvodnje otpadnih voda na području zona te postupak za donošenje odluke o zaštiti izvorišta, definirani su Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (Narodne novine broj 66/11. i 47/13.).

Osnovni cilj ovih vodoistražnih radova je izrada Elaborata zona sanitarne zaštite izvora Krbavica s prijedlogom zona sanitarne zaštite. Za potrebe izrade Elaborata napravljeno je hidrogeološko kartiranje potencijalnog priljevnog područja u mjerilu 1:25.000. Unutarnji dio priljevnog područja kartiran je u mjerilu 1:5.000. Na temelju kartiranja određeni su strukturo-tektonski i hidrogeološki odnosi. Također je provedeno i kontinuirano praćenje izdašnosti vodozahvata Krbavica u razdoblju od rujna 2017. do kolovoza 2018. godine. Prema rezultatima svih provedenih istraživanja revidirane su granice priljevnog područja određenog tijekom prve faze istraživanja (GeoAqua, 2008), određen je obuhvat zona sanitarne zaštite izvorišta, te je izrađen ovaj Elaborat zona sanitarne zaštite.

2. TEHNIČKI OPIS VODOZAHVATA

Zahvat Krbavice nalazi se u zaseoku Mirići uz sjeverni rub polja Krbavica na otprilike 680 m n.m. Zahvat vode na izvoru Krbavica sastoji se od kaptaže i crpne stanice koja je smještena oko tridesetak metara od kaptaže (slika 1). Kaptaža se nalazi na lokaciji nekadašnjeg prirodnog izvora. Kaptaža se sastoji od dvije komore (slike 2 i 3). Veća komora izduženog oblika (duljine 30-tak metara, slika 1) zahvaća područje nekadašnjeg izviranja. Postoje dva otvora u svodu komore pokrivena betonskim poklopcima, dok je komora pokrivena nanosom i travnjakom. Iz veće komore izvorska voda se preljeva u manju komoru kroz niz manjih otvora. U manjoj komori smješteni su usisi cjevovoda, a preko preljeva višak izvorske vode otječe u korito potoka (slika 2). Ulaz u manju komoru moguć je kroz bočna vrata kojima se dolazi u suhi dio objekta koji je odvojen od bazena dodatnim otvorom s pregradom na visini od oko 1.5 metara iznad razine vode u bazenu.

Kaptaža je cjevovodom spojena s crpnom stanicom. Unutar crpne stanice nalaze se dvije crpke čiji maksimalni zajednički kapacitet iznosi oko 35 l/s. Crpna stanica je povezana s vodoopskrbnim sustavom Udbine magistralnim cjevovodom. Zahvat trenutno opskrbljuje vodom naselja na području Krbavice, te naselja na obodu Krbavskog polja i Udbine. Trenutno se uključuje samo po jedna pumpa u isto vrijeme, uz kapacitet od oko 18 l/s, a režim rada ovisi o potrebama sustava. Tijekom monitoringa izvora izvedenog u okviru ovog projekta prosječno je crpljeno oko 25.000 m³ vode mjesečno.



Slika 1. Skica zahvata „Krbavica“



Slika 2. Kaptaza „Krbavica“ u uvjetima niskih voda



Slika 3. Kaptaza „Krbavica“, vidljivi betonski otvori u glavnu komoru kaptaze

3. GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE PRILJEVNOG PODRUČJA

3.1. Pregled rezultata prethodnih istraživanja

Geološke i hidrogeološke značajke krškog polja Krbavice i područja sjeverno od njega, na kojem se nalazi potencijalno priljevno područje razmatranih izvora, razmjerno su slabo istražene. Prva detaljnija geološka kartiranja ovog prostora obavljena su u sklopu izrade Osnovne geološke karte SFRJ, List Bihać (Polšak i sur., 1976). Ovaj list OGK na taj način predstavlja osnovu za detaljno geološko kartiranje provedeno za potrebe određivanja zona sanitarne zaštite (ZSZ) izvora Krbavice, te za hidrogeološku interpretaciju geološke građe terena.

Tijekom 70-tih godina Geološki zavod iz Zagreba (današnji Hrvatski geološki institut) obavio je opsežna hidrogeološka istraživanja krških područja Hrvatske u sklopu izrade regionalnih hidrogeoloških studija. Tako je i za područje Like i Hrvatskog primorja izrađena studija za čije potrebe je izvedeno više trasiranja podzemnih tokova vode (Biondić & Goatti, 1976). U okviru ove studije izdvojeni su glavni hidrogeološki sljevovi na temelju obavljenih trasiranja i hidrogeološke interpretacije geološke građe terena. Područje Krbavice izdvojeno je zajedno sa širim područjem Krbavskog polja unutar hidrogeološkog slijeva rijeke Une. Zasebno priljevno područje za izvore Krbavice nije određeno.

Prva faza vodoistražnih radova za potrebe određivanja ZSZ vodozahvata Krbavice provedena je 2008. godine (GeoAqua, 2008). U sklopu ovih radova provedeno je hidrogeološko kartiranje potencijalnog priljevnog područja u mjerilu 1:25.000, nekoliko mjerenja izdašnosti izvora i uzorkovanja izvorske vode u svrhu definiranja fizikalno-kemijskih te bakterioloških parametara vode u razdoblju listopad- prosinac 2008.

Na vodotoku Krbavice, nizvodno od kaptaže, 1983. godine je uspostavljena limnografska stanica tadašnjeg Hidrometeorološkog zavoda SR Hrvatske, koja je nažalost prestala s radom nakon 1990. godine i nakon toga više nije obnavljana. Detaljna hidrološka analiza podataka ove hidrološke stanice također je provedena u okviru spomenute prve faze vodoistražnih radova (GeoAqua, 2008). Na temelju rezultata hidrogeoloških istraživanja i hidrološke analize dostupnih podataka, određena je veličina potencijalnog priljevnog područja od oko 14,5 km² kao i njegov približni položaj. Na temelju ovako određenog priljevnog područja, a s ciljem pridobivanja podataka o smjeru i brzini podzemnog toka predlaže se izvedba trasiranja podzemnih tokova vode na ponorima u polju Trnavac i jugu Homoljačkog polja.

Trasiranje ponora na lokaciji Stankovići u Trnavcu obavljeno je u proljeće 2010. godine (Kuhta i sur., 2010). Pojava trasera utvrđena je na glavnim izvorima Gacke (Majerovo vrelo, Klanac i Tonković vrelo), dok na izvorima Krbavice nije ustanovljena. U ožujku 2013. godine obavljeno je dodatno trasiranje ponora na jugu Homoljačkog polja (Kuhta i Frangen, 2013). Pojava trasera ponovno je utvrđena na

izvorima Gacke, a ne na izvorima Krbavice. Ova trasiranja u značajnoj su mjeri pomaknula pretpostavljene granice priljevnog područja izvora Gacke (određene u okviru studija Biondić & Goatti, 1976; Pavičić i sur. 1997; Biondić i sur., 2010), dok i dalje ne postoji trasiranje kojim bi bile utvrđene podzemne veze s izvorima Krbavice.

3.2. Geološki opis naslaga

Na području potencijalnog priljevnog područja izvora Krbavice (od Homoljačkog polja na sjeveru do polja Krbavica na jugu, te od Trnavac polja na zapadu do planine Mrsinj na istoku, Prilog 2) utvrđene su isključivo karbonatne stijene u rasponu starosti od donje jure do donje krede (Prilog 1). Karbonatne naslage su na dijelovima terena prekrivene uglavnom tanjim pokrivačem od nekonsolidiranih naslaga kvartarne starosti. Nekonsolidirani pokrivač značajnije je debljine samo na područjima krških polja, te stoga na ostatku terena nije zasebno izdvajan premda na površini terena često gotovo u potpunosti prekriva starije stijene. Opis i kronostratigrafska pripadnost pojedinih stijena temelji se na Osnovnoj geološkoj karti RH 1:100.000, List Bihać (Polšak i sur., 1976), dok je položaj geoloških granica i drugih strukturnih elemenata na terenu djelomično izmijenjen na temelju obavljenog hidrogeološkog kartiranja.

Donjojurske naslage (J₁) zastupljene su na razmatranom terenu vapnencima. Najstarije naslage kronostratigrafski pripadaju srednjem dijelu donje jure. Izgrađuju područje zapadno i jugozapadno od Homoljačkog polja odnosno sjeveroistočno od Trnavca. Zastupljene su dobro uslojenim vapnencima najčešće decimetarske debljine, ali mjestimično su i tanje uslojeni do pločasti. Rijetko su prisutni tanji ulošci i leće dolomita. Pojedini slojevi znaju biti bogati s makrofosilima i njihovim kršjem. Najčešći su ostaci školjkaša *Lithotis* (po kojima se u literaturi često nazivaju *lithotis vapnencima*), a znaju se pojaviti i drugi školjkaši, puževi i brahiopodi. Boja ovih vapnenaca je siva i tamnosiva, ponegdje svijetlosiva i sivkasto-smeđa. Kontinuirano se na vapnencima s *lithotisima* talože sedimenti gornjeg dijela donje jure koji su zastupljeni *mrļastim vapnencima (Fleckenkalk)*. Javljaju se u sjeverozapadnom dijelu istražnog prostora između Homoljačkog polja i Trnavca. Ovi vapnenci pretežito su tanko uslojeni, uz rijetke pojave tankih proslojaka dolomita. Karakterističan mrljasti izgled (crvenkaste i žučkaste mrlje na svijetlosivom vapnencu) posljedica je manjeg udjela glinovite komponente.

Srednjojurske naslage (J₂) također su zastupljene vapnencima s rijetkim i tanjim ulošcima dolomita. Vapnenci su dobro uslojeni a debljina slojeva je najčešće unutar raspona od jednog decimetra do 1-2 metra. Boja ovih vapnenaca je od svijetlosive do sivosmeđe. Procijenjena debljina ovih (*dogerskih*) naslaga na razmatranom terenu iznosi 300-400 m. Naslage srednje jure razvijene su na sjevernom i sjeverozapadnom dijelu razmatranog terena, na području između Homoljačkog polja i Trnavca u široj okolici brda Obljaj (936 m n.m.) i krške zaravni Jasenova korita

(Prilog 2). Tereni izgrađeni od ovih stijena odlikuju se razvijenom krškom morfologijom, odnosno čestim pojavama ponikava.

Naslage gornje jure (J₃) zastupljene su izmjenama dolomita i vapnenaca. Ove naslage gotovo u potpunosti izgrađuju razmatrani teren sjeverno i sjeveroistočno od izvora Krbavice (neposredno zaleđe sjeverno od izvora izgrađeno je od krednih vapnenaca). U dijelu terena sjeveroistočno od Krbavice (šire područje masiva Mrsinja, te brda Metla) prevladavaju dolomiti, dok drugdje prevladavaju vapnenci. Dolomiti su više ili manje kalcitični te često prelaze u dolomitične vapnence. Stupanj dolomitizacije mijenja se lateralno i vertikalno, a ponegdje uslijed različite dolomitiziranosti stijene izgledaju brečasto. Dolomiti su uglavnom kasnodijagenetski, što se odražava njihovom intenzivnom raspucanošću, te posljedično značajno izraženijom podložnošću površinskom trošenju u odnosu na vapnence. Različita podložnost trošenju odražava se i reljefu terena: u dolomitima su znatno bolje razvijeni erozijski oblici (jaruge i proluvijalne lepeze). Treba naglasiti da su unutar dolomita česte pojave više desetaka metara širokih zona vapnenaca (ili dolomitičnih vapnenaca), a isto vrijedi i obratno na terenima izgrađenim pretežito od vapnenaca. Naslage gornje jure generalno su dobro uslojene, uz najčešće decimetarsku, a rjeđe metarsku debljinu slojeva. Unutar terena izgrađenih pretežito od dolomita slojevitost na površini najčešće nije uočljiva uslijed intenzivnog mehaničkog trošenja izdanaka.

Općenito, tereni izgrađeni od gornjojurskih stijena najčešće su u velikoj mjeri pokriveni tankim pokrivačem, odnosno slojem tla. Ovo vrijedi za terene gdje prevladavaju dolomiti, ali u velikoj mjeri i za terene gdje prevladavaju vapnenci. Ipak, na terenima gdje prevladavaju vapnenci izdanci stijena na površini znatno su češći, a i krška morfologija terena uglavnom je bolje izražena. Na terenima s dolomitima u podlozi izdanci su uglavnom vidljivi samo u zasjecima cesta i manjih kamenoloma uz ceste, te na pojavama manjih ogolina na strmijim padinama iznad polja.

Na naslagama gornje jure kontinuirano slijede **naslage donje krede (K₁)**. Zastupljene su gotovo isključivo s vapnencima koji su rijetko djelomično dolomitizirani. U gornjem dijelu ovih naslaga rijetko su prisutni tanki prosljoci i leće dolomita. Uglavnom su dobro uslojeni, a izmjenjuju se decimetarski i nešto rjeđe metarski slojevi. Rijetko se javljaju i paketi tankopločastih vapnenaca. Boja im je svijetlosiva do smečkasto-siva. Na terenu se ističu gustom pojavom izdanaka stijene, te uglavnom izostankom kontinuiranog pokrivača.

Nekonsolidirane naslage kvartarne starosti (Q) prisutne su kao tanji pokrivač na većem dijelu razmatranog terena. Tanki pokrivač sastoji se od produkata trošenja stijene u podlozi i humusa (organska tvar), a debljina mu je najčešće do pola metra. Nekonsolidirane naslage veću debljinu imaju samo na područjima krških polja i eventualno većih ponikava. Stoga su na hidrogeološkoj karti (Prilog 1 i 3) izdvojene samo na području Homoljačkog polja i polja Krbavice. Na područjima ovih polja debljina im je vjerojatno do desetak metara. Veće debljine su također moguće na

područjima zapunjenih depresija u okršenoj karbonatnoj podlozi. Na području padina i podnožja padina radi se pretežito o deluvijalnim (padinskim) nanosima, nastalim trošenjem stijena, te razmjerno kratkim transportom niz padinu. Deluvijalne naslage sastoje se od poluzaobljenih blokova i kršja stijena povezanog glinovitim materijalom. U dnu jaruga često su prisutne proluvijalne (bujične) naslage, sličnih značajki, ali uz bolje zaobljene fragmente stijena. Unutar zaravnjenih dijelova polja prisutne su i aluvijalne (riječne) i barske naslage, u kojima se pojavljuju izmjene pijesaka, šljunaka i gline.

3.3. Strukturne značajke terena

Razmatrano područje nalazi se unutar šireg prostora Krških (odnosno Vanjskih) Dinarida. Potencijalno priljevno područje Krbavice nalazi se prema Osnovnoj geološkoj karti 1:100.000, list Bihać (Polšak et al., 1976) i pripadajućem tumaču (Polšak et al., 1978) unutar tektonske jedinice Mala Kapela-Lička Plješivica, odnosno unutar strukturne jedinice Brezovac-Krbavica. Razmatrani prostor (sjeverno i sjeverozapadno od polja Krbavice) izgrađen je od jurskih i donjokrednih karbonatnih naslaga.

Tijekom mezozoika širi prostor područja Krških Dinarida pripadao je Jadranskoj karbonatnoj platformi. Od gornjeg trijasa sve do gornje krede na području Jadranske karbonatne platforme vladali su uvjeti pretežito plitkomorske karbonatne sedimentacije uz lokalna produbljivanja taložnih sredina tijekom gornje jure i povremena okopnjavanja tijekom krede. Tijekom dugotrajnog razdoblja egzistiranja karbonatne platforme naslage nisu bile izložene značajnijem tektonskom deformiranju. Krajem krede na području Dinarida započinje razdoblje intenzivnih tektonskih pokreta, izazvano pojačanim pritiskom Afrike na Euroazijsku ploču. Tijekom tercijara (eocen, oligocen) Jadranska mikroploča ili Adrija odvaja se od Afrike, te počinju procesi njezine rotacije, podvlačenja i dezintegracije u području današnjih Alpa, Apenina i Dinarida, koji su aktivni kroz više faza sve do danas (Aljinović et al., 1990).

Prvi značajniji tektonskih pokreti započinju krajem krede, a njihova je posljedica raspadanje karbonatne platforme i postupno okopnjavanje. Tijekom gornjeg eocena započinje najintenzivnije strukturno formiranje područja Vanjskih (krških) Dinarida koje traje otprilike do početka ili sredine miocena. Uslijed kompresije prostora uz orijentaciju stresa SI-JZ nastaju sustavi bora, reversnih rasjeda i navlaka. Na širem području Velebita i Like tijekom ovog razdoblja uz zone izrazitih izdizanja terena talože se velike količine sintektonskih breča (prisutne južno i zapadno od razmatranog terena, na područjima Krbavskog, Ličkog i Gackog polja). Dominantno pružanje novonastalih struktura je sjeverozapad-jugoistok, poprečno orijentirano na tadašnji smjer stresa (Blašković, 1998). Uz ovu fazu tektonskih pokreta na

razmatranom terenu vezane su spomenute rasjedne zone orijentacije SZ-JI uz reversna kretanja usmjerena prema JZ (Prilog 1).

U miocenu intenzitet tektonskih pokreta slabi, vjerojatno uz djelomični prelazak iz kompresijskog u ekstenzijski režim tektonike, vezan uz otvaranje Panonskog bazena na sjeveroistoku. Započinju diferencijalna vertikalna kretanja pojedinih blokova te stvaranje tektonskih graba i „pull-a-part“ struktura unutar kojih se ponegdje talože jezerski i barski sedimenti (ustanovljeni na području Krbavskog polja južno od razmatranog terena). Diferencijalnim spuštanjem pojedinih blokova vjerojatno je predisponirano formiranje značajnijih krških polja Dinarskog krša (tijekom srednjeg miocena velikim dijelom ispunjenih jezerima), a i na okolnim područjima se uslijed tektonski mirnijeg razdoblja formiraju prostrane krške zaravni.

Krajem miocena ili početkom pliocena, u uvjetima inverzije Panonskog bazena na sjeveroistoku započinje recentno aktivna faza tektonike („neotektonika“). U ovoj fazi novi smjer regionalnog potiskivanja (stresa) dominantno je orijentiran sjever-jug uslijed rotiranja i promjena u smjeru kretanja Jadranske mikroploče (Mantovani et al., 1993). Pod režimom transpresije prostora deformiraju se starije strukture, nastaju najmlađi rasjedi, uz istovremenu reaktivaciju i promjene u značajkama pomaka na starijim rasjedima. Pod utjecajem kompresije prostora usmjerene dijagonalno na rasjede nastale u prethodnim tektonskim fazama (dominantnog pružanja SZ-JI) oni se uglavnom reaktiviraju kao transkurentni s desnim pomakom. Transpresija prostora uzrokuje nova diferencijalna vertikalna kretanja uz značajno izdizanje pojedinih blokova, ali i relativno spuštanje nastankom novih pull-a-part struktura (npr. JI dio Gackog polja).

Neotektonski pokreti postupno dezintegriraju velike krške zaravni i polja, te dolazi do njihove parcelizacije na veći broj manjih polja. Ovi procesi odražavaju se i u morfologiji šire okolice razmatranog terena. Među reljefnim oblicima koji ukazuju na recentno i subrecentno vertikalno kretanje treba izdvojiti terasasta uzdignuća uz rubove Ličkog, Gackog i Krbavskog polja, usijecanje krških rijeka u kanjone u Ličkom i nizvodnim dijelovima Gackog polja te izdignute krške zaravni s razvojem krških depresija u različitim stadijima (Homoljac i Brezovac uz cestu Otočac-Korenica, te šire područje između Perušićkog i Gackog polja). Izdizanje dijelova terena prati nova faza vertikalnog okršavanja izdignutih karbonatnih naslaga.

Na temelju pružanja naslaga u sjeverozapadnom dijelu razmatranog terena (područje zapadno od Homoljačkog polja) uočava se razlomljena antiklinalna struktura koja tone i periklinalno se zatvara prema jugu u smjeru Krbavice i Krbavskog polja. Antiklinalna struktura vjerojatno je naslijeđe rane faze tektonike, te je ona tijekom kasnijih faza znatno poremećena i rasjedima dezintegrirana u više manjih blokova.

Na terenu su najizraženiji rasjedi pružanja sjeverozapad-jugoistok (dinarski pravac pružanja). To su uglavnom prvotno reversni rasjedi uz razmjerno strm nagib paraklaze (uglavnom iznad 70°) prema sjeverozapadu, a u svom pružanju mogu prijeći u subvertikalne i vertikalne. Ovi rasjedi su velikim dijelom tijekom recentne neotektonske faze reaktivirani uz transkurentno desno kretanje duž njihovog pružanja. Na razmatranom terenu u smjeru jugozapada, poprečno na reversne rasjede javljaju se sve mlađe naslage, od gornjojurskih preko krednih sve do eocenskih vapnenaca i fliša na području Kozjanske drage (jugozapadno od razmatranog terena).

Primarno reversni rasjedi orijentirani SI-JZ, reaktivirani u neotektonskoj fazi uz desno transkurentno kretanje su dominantno kompresijski. Uz desne transkurentne rasjede tijekom transpresije prostora stvaraju se i njima poprečno orijentirani sustavi rasjeda (SSI-JJZ, S-J, Prilog 1). Ovi rasjedi su generalno manje perzistencije u prostoru, te imaju ekstenzijski karakter. Ekstenzijski ili kompresijski karakter rasjeda i rasjednih zona u velikoj mjeri uvjetuje njihovu hidrogeološku funkciju. Transkurentni rasjedi u režimu kompresije stvaraju uspore tečenju podzemne vode, te dijelom usmjeravaju tok vode duž svog pružanja, uz istovremeno disperzirano propuštanje poprečno pružanju. Ovo za posljedicu može imati pojavu grananja (bifurkacija) podzemnih vodnih veza, što se očituje i u rezultatima trasiranja podzemnih tokova u široj okolici. Poprečni rasjedi u režimu ekstenzije predstavljaju provodne elemente koji olakšavaju okršavanje i stvaranje provodnih kanala u podzemlju, te tako utječu na pojavu podzemnih tokova poprečno na orijentaciju dominantnih struktura na terenu.

3.4. Hidrogeološke značajke stijena i terena

Istraživani teren u potpunosti je izgrađen od karbonatnih stijena, vapnenaca i dolomita, podložnih okršavanju. Okršenost karbonatnih stijena predstavlja dominantan faktor koji određuje hidrogeološka svojstva stijenske mase. Zapadni i jugozapadni dio istraživanog prostora izgrađen je dominantno od vapnenaca jurske i kredne starosti (K₁; J₃; J₂; J₁), u središnjem dijelu prevladavaju izmijene vapnenaca i dolomita, uz generalno veću zastupljenost vapnenaca (J₃), dok u istočnom dijelu terena u izmjenama prevladavaju dolomiti (J₃) (prilog 1).

Premda su i dolomiti i vapnenci podložni okršavanju, brzina i značajke ovog procesa u njima značajno se razlikuju. Dinamika otapanja „čistog“ vapnenca okvirno je za red veličine brža u odnosu na dinamiku otapanja dolomita pri jednakim uvjetima (Ford & Williams, 1989). Dodatni limitirajući faktor pri okršavanju dolomita predstavlja njegova izražena podložnost mehaničkom trošenju. Ovo se ponajviše odnosi na „kasnodijagenetske“ dolomite, nastale procesima dolomitizacije primarno vapnenačkih stijena tijekom tektonске evolucije terena. Kasnodijagenetski dolomiti intenzivno su razlomljeni brojnim mikropukotinama nastalim uslijed promjene volumena stijene tijekom procesa dolomitizacije.

Gornjojurski dolomiti, zastupljeni na području sjeverno i istočno od polja Krbavice, pretežno su kasnodijagenetskog tipa. Na površini terena ove stijene intenzivno se mehanički troše, što se očituje izostankom izdanaka te zaobljenim reljefnim formama. Produkti mehaničkog trošenja (dolomitni pijesak) zapunjavaju korozijski proširene pukotine u podzemlju, što je najjače izraženo unutar epikrške zone, odnosno površinske zone intenzivnog trošenja. Značajke epikrške zone imaju presudnu ulogu na brzinu infiltracije te mogućnost uskladištenja vode unutar sustava. Smanjena propusnost epikrške zone u dolomitima usporava infiltraciju uslijed čega se na dolomitnim terenima pri intenzivnim oborinama češće javljaju površinski tokovi.

Slabija mehanička svojstva intenzivno razlomljene stijenske mase također su ograničavajući faktor pri razvoju krških kanala u podzemlju. Pri kritičnim dimenzijama kanala dolazi do urušavanja stijenki kanala, te su kanali obično manjih dimenzija i velikim dijelom također zapunjeni dolomitnim pijeskom i kršjem. Stoga je ukupna propusnost dolomitne stijenske mase najčešće smanjena u odnosu na vapnence.

S druge strane, smanjena propusnost epikrške zone, te kanalskih sustava u dubljim dijelovima vodonosnika, uz istovremeno veću efektivnu poroznost intenzivno razlomljenih dolomita (u odnosu na vapnence) povećava kapacitet uskladištenja vode u njima. Zbog toga vodonosne sustave koji se prihranjuju dominantno iz dolomitnih stijena karakterizira ujednačeniji režim istjecanja, uz razmjerno manju izdašnost u maksimumima, ali i veću izdašnost u minimumima. Uz bolju mogućnost regulacije protoka tijekom godine, također je i ranjivost sustava od zagađenja u dolomitima smanjena uslijed smanjene komponente vode kratkog zadržavanja unutar sustava. Zbog ovih razloga vodonosni sustavi razvijeni u dolomitnim stijenama generalno imaju povoljnije značajke za potrebe vodoopskrbe.

U slučaju izmjena vapnenaca i dolomita, zbog veće brzine okršavanja krški kanali dominantno se stvaraju unutar vapnenačkih dijelova stijenske mase. Ipak, u slučaju povoljnih uvjeta u dolomitnim stijenama je također moguć razvoj sustava dobro povezanih provodnih krških kanala. Treba naglasiti da odsustvo tipične krške morfologije na površini terena ne mora značiti i odsustvo krških kanala u podzemlju. Intenzivno mehaničko trošenje uslijed atmosferskog utjecaja na površini u dolomitima je značajno brži proces od okršavanja, te se u njima najčešće formira nekrški (fluvijalni) reljef. Istovremeno, u podzemlju su procesi okršavanja aktivni. Zbog toga se pojave dolomita ne smiju tumačiti kao barijere podzemnom tečenju, već samo kao mogući uspori. Ovu činjenicu potvrđuju i rezultati trasiranja sa obližnjeg Vrhovinskog i Trnavačkog polja, sa kojih su utvrđene vodne veze prema izvorima Gacke poprečno pojavama dolomitnih stijena na terenu, uz visoke brzine podzemnog toka.

Na temelju prethodno opisanih razlika u hidrogeološkim značajkama dolomitnih i vapnenačkih stijena, stijene prisutne unutar potencijalnog priljevnog područja Krbavice razvrstane su prema udjelu dolomita i vapnenaca unutar tri kategorije:

1. **Vapnenci** jurske i kredne starosti (**J₁**; **J₂**; **J₃**; **K₁**). U ovim kompleksima stijena udio dolomita je zanemariv. Na terenu ih obilježava generalno dobro razvijena krška morfologija uz gustu pojavu izdanaka, te uglavnom odsustvo kontinuiranog pokrivača. U hidrogeološkom pogledu odlikuju se visokom propusnošću i ograničenim kapacitetom uskladištenja.
2. **Izmjene vapnenaca i dolomita**, prevladavajuće vapnenci gornjojurske starosti (**J₃**). Udio vapnenaca i dolomita promjenjiv je u lateralnom i vertikalnom smjeru. Na terenu su izdanci rjeđi, a česta su i veća područja bez izdanaka, odnosno s kontinuiranim pokrivačem. Krški reljef je slabije razvijen. Propusnost je veća unutar vapnenaca, dok je unutar dolomita veći kapacitet uskladištenja.
3. **Izmjene dolomita i vapnenaca**, prevladavajuće dolomiti gornjojurske starosti (**J₃**). Dolomiti su unutar ovog kompleksa stijena dominantan član. Propusnost terena je generalno manja uz veći kapacitet uskladištenja. Prilikom intenzivnih oborina javljaju se površinski tokovi, te je na površini terena razvijen fluvijalni (nekrški) reljef. Na površini je prisutan kontinuiran pokrivač male debljine, dok su izdanci stijena uglavnom vezani uz pojave vapnenaca. Pojave vapnenaca, često u vidu razmjerno uskih ali kontinuiranih zona dužine i više stotina metara lokalno mogu utjecati na povećanu propusnost sustava.
4. U četvrtu kategoriju stijena uvršteni su **nekonsolidirani nanosi** kvartarne starosti (**Q**). Hidrogeološke značajke nekonsolidiranih nanosa u najvećoj mjeri ovise o njihovom granulometrijskom sastavu. Što je veći udio sitnozmate komponente (glina i prah), njihova propusnost je slabija. Veće debljine nekonsolidiranog nanosa nalaze se samo unutar nižih dijelova Homoljačkog polja i Krbavice (prilog 1), što je izvan razmatranog potencijalnog priljevnog područja. Unutar priljevnog područja debljina pokrivača rijetko prelazi jedan metar, te nije zasebno izdvajan na hidrogeološkoj karti (prilog 1). Ipak, i razmjerno tanak pokrivač od nekonsolidiranog nanosa prisutan na velikom dijelu terena može značajno utjecati na usporavanje infiltracije oborinskih voda u sustav.

Prema opisanim značajkama stijena, te njihovom položaju unutar priljevnog područja mogu se opisati generalne hidrogeološke značajke dijelova razmatranog terena. Teren sjeveroistočno od polja Krbavice izgrađen je dominantno od dolomitnih stijena. Ovo je ujedno i najviši dio terena koji pripada području masiva Mrsinja. Vršni dio masiva je razmjerno zaravnjen, dok su na padinama formirane brojne jaruge. Oborine niskog intenziteta infiltriraju se u površinsku zonu trošenja, iz koje se dalje voda dijelom transportira kroz sustave pukotina i manjih kanala u dublje dijelove sustava. U slučaju oborina većeg intenziteta, javljaju se površinski tokovi kojim voda otječe prema Krbavičkom polju ili vapnenačkim područjima sjeverno od njega. Unutar pretežno dolomitnog kompleksa stijena pojave zona vapnenaca mogu imati značajnu ulogu na povećanje propusnosti i koncentriranje podzemnog toka unutar sustava. U

vršnim dijelovima masiva Mrsinja pretpostavljena je razvodnica sa priljevnim područjem Koreničkog vrela (smještenom sjeverozapadno od Korenice).

Sjeverno od polja Krbavice prisutne su izmjene dolomita i vapnenaca, ali uz vapnence kao dominantan član. Hidrogeološke značajke terena promjenjive su lateralno i vertikalno ovisno o vrsti stijena. Vapnenački dijelovi vjerojatno imaju značajniju ulogu na formiranje koncentriranih tokova u podzemlju, te na bržu infiltraciju vode u podzemlje, dok dolomitni utječu na veći kapacitet uskladištenja vode. Treba napomenuti da su unutar ovog kompleksa najrasprostranjeniji prijelazni oblici između vapnenaca i dolomita, dok su „čisti“ vapnenci i dolomiti rjeđi. Stoga su i značajke stijenske mase najčešće prijelaznih karakteristika. Sjeveroistočno od polja unutar pretežito vapnenačkih stijena formirana je Vrletina draga (prilog 2), jaruga unutar koje se koncentriraju tokovi sa uzvodno smještenih dolomitnih dijelova terena. S obzirom da je jaruga formirana u vapnencima, treba pretpostaviti mogućnost poniranja površinske vode unutar nje, te brz podzemni transport prema izvorima Krbavice. Kako se jaruga nalazi u izravnom zaleđu vrela Suvaje, u uvjetima velikih voda kada se može javiti poniranje duž korita jaruge, voda infiltrirana na području jaruge primarno prihranjuje izvor Suvaje.

Sjeverozapadno od izvora Krbavice nalaze se tereni izgrađeni od vapnenačkih stijena. Reljef terena je najizrazitije krški sa čestim pojavama vrtača i velikom gustoćom izdanaka na terenu. Infiltracija vode u sustav kroz epikršku zonu odvija se brzo, te se niti tijekom intenzivnih oborina ne javljaju značajniji površinski tokovi. Na ovom dijelu terena nalazi se razvodnica priljevnog područja izvora Gacke i izvora Krbavice. Razvodnica je vjerojatno zonarnog karaktera (sa dijela područja moguće je otjecanje prema oba sliva), a moguće i promjenjivog položaja ovisno o hidrološkim uvjetima.

Izvor Krbavice i izvor Suvaje predstavljaju jedine značajnije izvore na razmatranom terenu. Izvor Suvaje nalazi se 400 m sjeverozapadno od vodozahvata (prilog 1) na na otprilike 3-5 m većoj visini (prema topografskoj podlozi HOK 1:5.000). Izvor Suvaje redovito presušuje tokom sušnih razdoblja, dok je izvor Krbavice stalan. Detaljniji opis i usporedba razmatranja dinamike ovih izvora dani su u poglavlju 3.6. *Monitoring i analiza dinamičkih značajki izvora Krbavice i Suvaje.*

3.5. Trasiranja podzemnih tokova

Trasiranje podzemnih tokova predstavlja jedinu metodu izravnog utvrđivanja pripadnosti pojedinih dijelova krških terena priljevnom području nekog izvora. Uslijed ovisnosti značajki podzemnih tokova o hidrološkim uvjetima, uobičajene su znatne razlike u rezultatima pri ponavljanju trasiranja iz istih ponora. Zbog toga je u svrhu pouzdanog određivanja značajki krških sustava poželjno ponavljati trasiranja u različitim hidrološkim uvjetima. Problem predstavlja razmjerno visoka cijena izvedbe trasiranja, uslijed čega su raspoloživi podaci trasiranja za krška područja Hrvatske u pravilu nedovoljni za pouzdano određivanje priljevnih područja. U slučaju izvora Krbavice situacija je čak i nepovoljnija od uobičajene. Naime, do danas nije izvedeno niti jedno trasiranje tijekom kojeg je utvrđena pojava trasera na Krbavici. S ciljem određivanja položaja priljevnog područja i značajki dinamike podzemne vode krškog sustava Krbavice do danas su obavljena dva trasiranja:

- 1.) trasiranje ponora na lokaciji Stankovići u Trnavac polju (Kuhta i sur. 2010)
- 2.) trasiranje ponora na JZ dijelu Homoljačkog polja (Kuhta i Frangen 2013)

Premda se je pojava trasera prilikom ovih trasiranja očekivala na izvoru Krbavice, pojava trasera je prilikom oba trasiranja utvrđena samo na izvorima Gacke. Ovim trasiranjima značajno je pomaknut do tada pretpostavljen položaj podzemne razvodnice Jadranskog i Crnomorskog slijeva, te su područja Trnavca i istočnog dijela Homoljačkog polja pridružena slijevu izvora Gacke. Priljevno područje Krbavice, pretpostavljeno i definirano tijekom prve faze istražnih radova (GeoAqua, 2008) ovim trasiranjima nije potvrđeno, te je u okviru ovog elaborata znatno izmjenjeno.

Uz razvodnicu s priljevnim područjem izvora Gacke, priljevno područje Krbavice u svom sjeverozapadnom dijelu (Masiv Mrsinja, istočni dio Homoljačkog polja) vjerojatno graniči (moguće dijelom i preklapa) sa priljevnim područjem Koreničkog vrela. Za ovaj izvor također do danas nije izvedeno trasiranje tijekom kojeg je s njim utvrđena podzemna vodna veza, te mu je priljevno područje pretpostavljeno samo na temelju geološke građe terena (Pavičić i sur., 2005). Stoga se može zaključiti da bi za pouzdano određivanje granica priljevnog područja Krbavice, kao i obližnjeg izvora Koreničko vrelo bilo nužno obaviti dodatna trasiranja podzemnih vodenih tokova.

3.6. Monitoring i analiza dinamičkih značajki izvora Krbavice i Suvaje

Za potrebe izrade ovog elaborata, odnosno utvrđivanja hidrodinamičkih značajki krškog sustava, na izvorima Krbavice (kaptaža i izvor Suvaje) uspostavljen je monitoring izdašnosti i fizikalnih značajki podzemne vode u trajanju od 9 mjeseci (od 8. mjeseca 2017. do 5. mjeseca 2018. godine). Uspostavljeni monitoring značajno je proširen u odnosu na Projektni zadatak s ciljem pridobivanja detaljnijeg uvida u dinamičke značajke vodonosnog sustava Krbavice. Monitoring je izveden uz korištenje autonomnih mjerača (logera) za razinu, temperaturu, električnu vodljivost, otopljeni kisik, te količinu oborine. Logeri su postavljeni u kaptažu izvora Krbavice (slika 4), dodatni logger za razinu i temperaturu u korito Suvaje neposredno nizvodno od izvora (slika 5), te uređaj/logger za mjerenje količine oborine unutar područja kaptaže (1. Zone zaštite). Svi logeri su bili programirani da mjere s vremenskim intervalom od jedan sat.



Slika 4. Bazen unutar kaptaže, mjesto postavljanja mjernih uređaja (logera)

Uz mjerenje logerima, mjereno je i protok izvora Krbavice i Suvaje pomoću hidrometrijskog krila (slika 6). Protoci su mjereni pet puta tijekom razdoblja monitoringa na način da mjerenja obuhvate što veći raspon hidroloških uvjeta (Tablica 1). Pomoću mjerenih protoka konstruirane su konsumpcijske krivulje, na temelju kojih su podaci o razinama izvorske vode preračunati u protoke (slika 7).



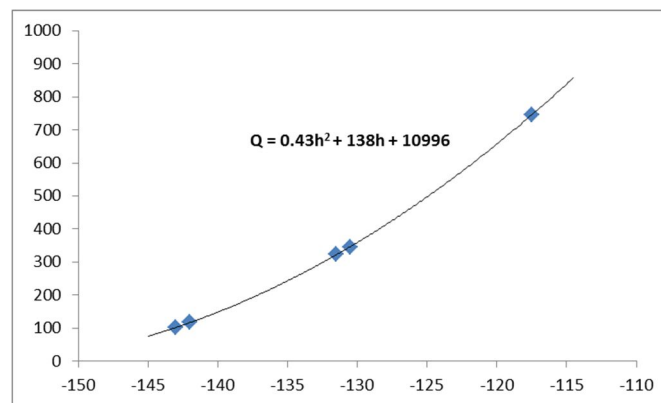
Slika 5. Povremeni izvor Suvaje



Slika 6. Mjerenje protoka u betoniranom profilu nizvodno od kaptaje

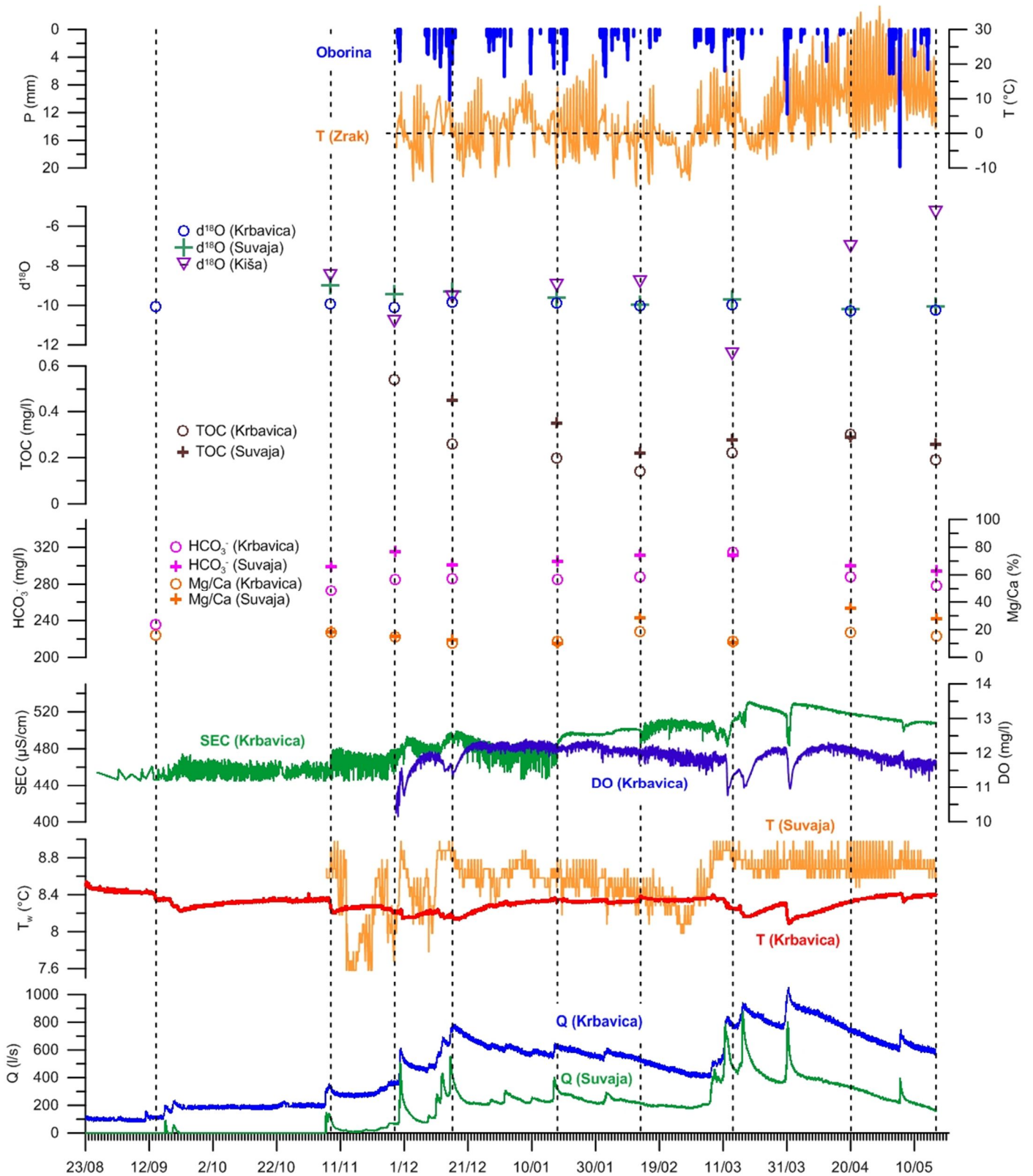
Tablica 1. Rezultati vodomjerenja protoka kaptaže Krbavica i povremenog izvora Suvaje

Datum	Izvor	Q (l/s)	Crpljenje (l/s)
23.8.2017	Kaptaža	102	18
23.8.2017	Suvaja	0	
14.9.2017	Kaptaža	117	18
14.9.2017	Suvaja	0	
8.11.2017	Kaptaža	324	18
8.11.2017	Suvaja	71.5	
28.11.2017	Kaptaža	345	18
28.11.2017	Suvaja	45	
16.12.2017	Kaptaža	745	18
16.12.2017	Suvaja	435	



Slika 7. Konsumpcijska krivulja za mjerni profil kaptaže Krbavica

Uz kontinuirano praćenje dinamičkih i fizikalno-kemijskih parametara izvorske vode, tijekom razdoblja monitoringa u mjesečnim intervalima uzimani su dodatni uzorci izvorske vode, kao i vode kišnice, te su na uzorcima rađene analize osnovnih aniona i kationa u izvorskoj vodi, sadržaja organskog ugljika (TOC) u izvorskoj vodi, te sastava stabilnih izotopa kisika i vodika u izvorskoj i oborinskoj vodi. Cjelokupni rezultati provedenog monitoringa prikazani su na slici 8.

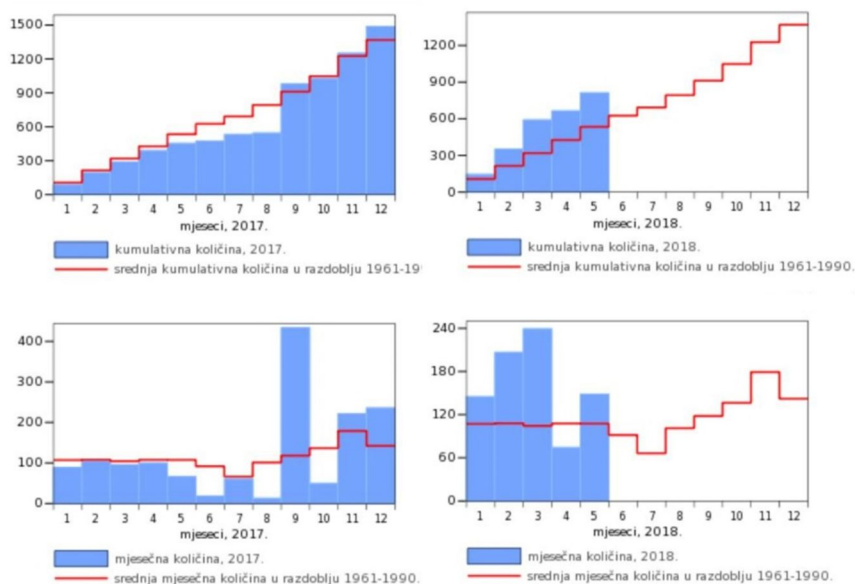


Slika 8. Rezultati provedenog monitoringa na kaptazi Krbavica i izvoru Suvaje

Rezultati monitoringa protoka omogućuju određivanje hidrodinamičkih značajki sustava iz kojeg se prihranjuju izvor Krbavice i izvor Suvaje, kao i usporedbu njihove dinamike istjecanja. Tijekom razdoblja monitoringa **minimalni zabilježeni protok vodozahvata iznosio je oko 100 l/s** (uzimajući u obzir istovremenu količinu crpljenja), dok je **maksimalni zabilježeni protok iznosio 1050 l/s**. Istovremeno, protok izvora Suvaje kretao se je unutar raspona od 0 do 880 l/s. Dinamika oba izvora pokazuje veliku sličnost, te sve maksimume protoka na vodozahvatu prate istovremeni maksimumi izvora Suvaje. Prvo izviranje na zvoru Suvaje početkom vodne sezone (rujan 2017.) pojavilo se je u trenutku kada su protoci vodozahvata dosegli izdašnost od 200 l/s. Nako pada izdašnosti vodozahvata ispod ove vrijednosti izvor Suvaje je ponovno presušio, da bi se ponovno aktivirao nakon što je vodozahvat dosegnuo protok od 300 l/s (studeni 2017.), te ostao aktivan sve do kraja razdoblja monitoringa (svibanj 2018.).

Za ocjenu odnosa vrijednosti zabilježenih minimalnih i maksimalnih protoka tijekom razdoblja monitoringa sa srednjim godišnjim vrijednostima potrebno je analizirati značajke oborina u razdoblju koje je prethodilo, te tijekom razdoblja monitoringa. Na slici 9. Prikazane su značajke oborina mjerena na 30-tak km udaljenoj klimatološkoj postaji Državnog hidrometeorološkog zavoda u Gospiću. Na prikazanim dijagramima mjesečne količine, te kumulativne količine oborina tijekom 2017. i prvog dijela 2018. godine vidljivo je da je sušno razdoblje trajalo tijekom svibnja, lipnja, srpnja i kolovoza 2017. godine, te da su svi navedeni mjeseci imali ispodprosječnu količinu oborina. Rujan je bio izrazito vlažan, nakon čega je slijedio listopad sa količinom oborina značajno ispod prosjeka. Gotovo cijelo naredno razdoblje od studenog 2017. sve do svibnja 2018. (uz izuzetak travnja 2018.) bilo je iznadprosječno vlažno. Na temelju ovih značajki oborina može se zaključiti da je zabilježeni minimum izdašnosti vodozahvata Krbavica blizak srednjim godišnjim minimumima, dok se značajniji minimumi pojavljuju u slučaju dužeg trajanja sušnog razdoblja (do listopada ili prosinca).

Srednji protok na vodozahvatu od 470 l/s vjerojatno je veći srednjeg godišnjeg protoka uslijed vodnih uvjeta tijekom većeg dijela razdoblja monitoringa. Prema rezultatima hidrološke analize dane u elaboratu Munda i sur. (2008), srednja zajednička godišnja vodozahvata Krbavice i izvora Suvaje iznosi oko 400 l/s. Na temelju odnosa izdašnosti vodozahvata i izvora Suvaje tijekom predmetnog monitoringa može se grubo procjeniti da na izvoru Suvaje istječe 20-30% od ukupnog istjecanja iz sustava. Na temelju ovih procjena, **srednja godišnja izdašnost vodozahvata iznosi oko 300 l/s**. Maksimalni zabilježeni protok od 1050 l/s vjerojatno je nešto iznad srednjih godišnjih maksimuma.



Slika 9. Značajke oborina mjenjenih na klimatološkoj stanici DHMZ-a u razdoblju prethodno i tijekom monitoringa izvora (preuzeto sa www.meteo.hr)

Na izvoru Krbavica obavljena su dva vodomjerenja u ekstremno sušnim uvjetima 16.09.2003. i 15.11.2011. kada su zabilježeni podaci o izdašnosti od svega 15, odnosno 6 l/s (podaci Hrvatskih voda). Uz ove podatke nije zabilježeno da li je istovremeno bilo crpljenja iz vodozahvata. S obzirom na vrlo niske vrijednosti protoka, vjerojatno su bili mjereni uz istovremeno crpljenje, te im je potrebno pridodati 18 l/s kolika je količina crpljenja u slučaju rada jedne crpke (uobičajen režim rada vodozahvata). Postoji mogućnost i da su istovremeno bile uključene i obje crpke, u kojem bi slučaju trebalo pribrojiti 36 l/s. Ova mogućnost također je vjerojatna, s obzirom da iznimno sušni uvjeti mogu rezultirati povećanom potrošnjom vode iz vodoopskrbnog sustava. Analizom značajki oborina u 2011. godini vidljivo je da je ta godina bila ekstremno sušna, te je tijekom svih mjeseci (izuzev srpnja) količina oborina bila značajno manja od prosječne, a kumulativna količina oborine od siječnja do kraja studenog bila je otprilike na razini 40% prosječne. Na temelju ovih podataka može se procijeniti da je **izdašnost kaptaze tijekom ekstremno sušnih uvjeta u rasponu 25 - 40 l/s**. Treba napomenuti da dio vode iz vodozahvata „biježi“ ispod preljeva, što nije zanemarivo u ekstremno sušnim uvjetima, te je ukupna izdašnost izvora vjerojatno 10-tak l/s veća.

Tijekom razdoblja monitoringa, u vrijeme kada je izvor Suvaje bio aktivan, količina istjecanja na ovom izvoru uglavnom na razini od oko 40% istjecanja na vodozahvatu (slika 8). S druge strane, maksimumi istjecanja Suvaje jače su izraženi od maksimuma vodozahvata, te se tijekom maksimuma izdašnost Suvaje ponekad približava izdašnosti vodozahvata. Ovo je vjerojatno posljedica ograničenog maksimalnog kapaciteta krških kanala u neposrednom zaleđu vodozahvata. Sukladna dinamika ovih izvora potvrđuje da se oba izvora prihranjuju iz zajedničkog vodonosnog sustava. Tijekom sušnih razdoblja sva voda iz sustava izvire na

vodozahvatu, dok tijekom vodnih dio vode izvire i na Suvaji. Brza reakcija oba izvora na oborine ukazuje na prisustvo dobro povezane drenažne mreže krških kanala unutar vodonosnog sustava, unatoč slabo razvijene krške morfologije na središnjim i istočnim dijelovima priljevnog područja.

Opažani i fizikalni i hidrokemijski pokazatelji ukazuju da voda koja istječe na vodozahvatu i izvoru Suvaje nije u potpunosti homogenizirana, odnosno izvori se u vodnim uvjetima prihranjuju dijelom iz zajedničkog, ali i dijelom iz zasebnih područja. Tako se u sušnim uvjetima vodozahvat prihranjuje iz ukupnog priljevnog područja, dok se u vodnima dio priljevnog područja drenira samo prema izvoru Suvaje. Obuhvat zajedničkog i zasebnih priljevnih područja u vremenu je promjenjiv ovisno o hidrološkim uvjetima u sustavu. Prema hidrokemijskom facijesu, izvorska voda oba izvora je većim dijelom porijeklom iz vapnenačke stijenske mase, ali uz značajno prisustvo dolomita i prijelaznih oblika ovih stijena.

S obzirom na izotopne pokazatelje (slika 8), izvor Suvaje ima (povremeno) nešto nižu prosječnu visinu priljevnog područja. Hidrokemijski pokazatelji ukazuju na povremeno nešto zastupljenost dolomitnih stijena unutar priljevnog područja Suvaje, dok povišene vrijednosti organskog ugljika (TOC) i na povremeno znatan udio vode kratkog zadržavanja u sustavu. Na osnovu ovih pokazatelja može se zaključiti da je priljevno područje Suvaje vezano uz istočni dio ukupnog priljevnog područja, izgrađeno od izmjena vapnenaca i dolomita. Prisustvo vode kratkog zadržavanja u sustavu (TOC), uz izraženu dinamiku istjecanja na izvoru Suvaje i brzu reakciju na oborine potvrđuje dreniranje sustava kroz dobro povezane sustave krških kanala. Povremeno istovjetne ili vrlo slične značajke vode vodozahvata i izvora Suvaje, pogotovo u uvjetima maksimalnih protoka, potvrđuju da se „višak“ vode i iz zapadnih dijelova priljevnog područja povremeno drenira na izvoru Suvaje uslijed ograničenog maksimalnog kapaciteta glavnog izvora (vodozahvat).

4. GRANICE PRILJEVNOG PODRUČJA

Određivanje granica priljevnih područja krških izvora vrlo je složen zadatak, a položaj granica u pravilu je približan. Ovo je posljedica nemogućnosti dobivanja izravnog uvida u raspored i značajke mreže podzemnih krških kanala kojima se izvor prihranjuje. Priljevno područje izvora Krbavice (zajedničko priljevno područje zahvaćenog izvora i izvora Suvaje) pretpostavljeno je na temelju rezultata provedenih istraživanja, detaljno opisanih u prethodnim poglavljima. Za pouzdanije određivanje granica priljevnog područja Krbavice trebalo bi provesti dodatna trasiranja. Kao što je već spomenuto, do danas nije izvedeno niti jedno trasiranje sa pojavom trasera na Krbavici, tako da je cjelokupno priljevno područje određeno na temelju rezultata trasiranja koja su pokazala vodne veze prema susjednom slivu izvora Gacke, te značajki geološke građe terena, visinskih odnosa površine terena, te položaja drugih značajnijih izvora u široj okolici (Koreničko vrelo).

Sjeverna granica priljevnog područja postavljena je duž južnih graničnih padina iznad Homoljačkog polja. Prema rezultatima trasiranja zapadni dio Homoljačkog polja pripada priljevnom području izvora Gacke, dok istočni vjerojatno pripada priljevnom području Koreničkog vrela.

Sjeveroistočna granica postavljena je duž najviših vrhova masiva Mrsinja, na način da priljevno područje obuhvati i zaravnjen teren u vršnim dijelovima masiva (Poljice, Prilog 2). Na ovom dijelu priljevno područje Krbavice graniči (moguće i preklapa) s priljevnim područjem Koreničkog vrela. Točan položaj razvodnice nije moguće utvrditi bez dodatnih trasiranja, te je stoga cijeli vršni dio masiva uključen u razmatrano područje.

Južna granica priljevnog područja definirana je obodom Krbavičkog polja i položajem razmatranih izvora. Zapadna granica smještena je unutar najizrazitije okršenog vapnenačkog terena (zaravan Jasenova korita, vrh Jokinovac, zaravan Poljana, Prilog 2). Granica je postavljena na temelju rezultata opisanog trasiranja ponora u polju Trnavac, te visinskih odnosa terena i položaja izvora. U ovom dijelu moguća su znatna odstupanja od pretpostavljenog položaja granice (u smislu povećanja priljevnog područja Gacke), te preklapanja i promjene položaja granice ovisno o hidrološkim uvjetima.

Ukupna površina pretpostavljenog priljevnog područja Krbavice iznosi 21,25 km². Ovako određena veličina priljevnog područja značajno je veća od one određene na temelju procjene elemenata vodne bilance (14,4 km², Munda i sur., 2008). S obzirom na visoku nesigurnosti prilikom određivanja položaja granica (nedostatak trasiranjem dokazanih vodnih veza), granice su postavljene na način da obuhvate cjelokupno potencijalno priljevno područje, dok stvarno može biti i manjeg obuhvata.

Treba naglasiti da se hidrološkim bilanciranjem određena veličina priljevnog područja podudara sa stvarnom veličinom samo u slučaju kada ne postoji preklapanje s priljevnim područjima susjednih izvora. U krškim sustavima često veliki dijelovi terena pripadaju zajedničkim priljevnim područjima više različitih izvora, ponekad međusobno značajno udaljenih. Zbog toga treba pretpostaviti mogućnost da iz nekih dijelova priljevnog područja samo dio infiltrirane vode dotječe na Krbavicu, dok dio otječe prema izvorima Gacke ili Koreničkom vrelu. Na posljeticu, zbog smanjenog kapaciteta brze infiltracije vode u podzemlje na dolomitnim terenima te pojave povremenih površinskih tokova, za njih treba pretpostaviti značajno niži koeficijent infiltracije oborinske vode u podzemlje u odnosu na dominantno vapnenačke terene s dobro razvijenom i visoko propusnom epikrškom zonom.

5. PRIJEDLOG GRANICA ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Izvorište Krbavica prihranjuje se iz vodonosnika s pukotinsko-kavernoznom poroznošću, te su zone sanitarne zaštite određene u skladu s odredbama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13) za ovaj tip vodonosnika. Prema navedenom Pravilniku, članak 8., vodozahvat Krbavica može se kvalificirati kao izvorište maksimalnog kapaciteta od 20 do 100 l/s u smislu dinamike crpljenja, odnosno u 2. kategoriju. Ipak, treba napomenuti da formulacija „u smislu dinamike crpljenja“ nije u potpunosti jasna, odnosno nije uvriježena i definirana u hidrogeološkoj struci. U ovom elaboratu pretpostavljeno je da se radi o maksimalnoj crpnoj količini postojećeg zahvata na izvorištu. Treba napomenuti da maksimalna izdašnost Krbavice znatno premašuje 100 l/s te bi prema količini prirodnog izviranja ovo izvorište bilo svrstano u 3. kategoriju. Efikasna zaštita zahvata izvora/izvorišta treba biti usklađena sa njihovim prirodnim značajkama, te ju nije moguće vezati uz odnosno režim rada zahvata (dinamika crpljenja).

S obzirom da ne postoje rezultati trasiranja podzemnih tokova koji prihranjuju izvorište Krbavicu, IV. zona sanitarne zaštite određena na način da obuhvati ukupno priljevno područje izvan III. zone (prilozi 1 i 2). Kako se zapadni dio priljevnog područja Krbavice nalazi na terenima izgrađenim od okršenih vapnenačkih stijena, s ovog područja treba pretpostaviti mogućnost vrlo brzog podzemnog toka prema izvoru. Zbog toga je IV. zona zaštite predviđena samo na istočnom, dominantno

dolomitnom dijelu priljevnog područja (masiv Mrsinja, Prilog 2). Ovako određena površina IV. zone iznosi 4,87 km².

Granica III. zone sanitarne zaštite prema Pravilniku (NN 66/11 i 47/13) u slučaju nepostojanja podataka dobivenih trasiranjima podzemnih tokova određuje se tako da ova zona obuhvati pretežiti dio slijevnog područja, odnosno „klasični statističko-hidrogeološki slijev“. Treba napomenuti da formulacije „pretežiti dio slijevnog područja“ i „klasični statističko-hidrogeološki slijev“ nisu definirane u hidrogeološkoj praksi. III. zona sanitarne zaštite izvora Krbavice određena je na dijelu priljevnog područja izvan II. zone za koje postoji mogućnost brze infiltracije vode u podzemlje, te vrlo brzih podzemnih tokova prema izvoru. Ovako određena III. zona zaštite obuhvaća terene izgrađene pretežito od vapnenaca s izraženom krškom morfologijom sjeverno i sjeverozapadno od izvorišta (prilog 2). Pojave dolomita unutar područja III. zone (npr. vrh Metla, prilog 2) prostorno su omeđene vapnencima, te se povremeno površinsko otjecanje s njih brzo infiltrira u podzemlje kada dosegne propusniji vapnenački teren. Površina III. zone iznosi 13,46 km².

Obuhvat II. zone prema Pravilniku (NN 66/11 i 47/13) definiran je rezultatima trasiranja podzemnih tokova, dok u slučaju da ta vrsta istraživanja nije provedena, „unutarnjim dijelom klasičnog priljevnog područja“. U slučaju Krbavice II. Zona sanitarne zaštite obuhvaća bliže zaleđe izvora izgrađeno od vapnenaca i vapnenačko dolomitnih izmjena u kojima prevladavaju vapnenci (prilog 3). Površina II. zone iznosi 2,91 km².

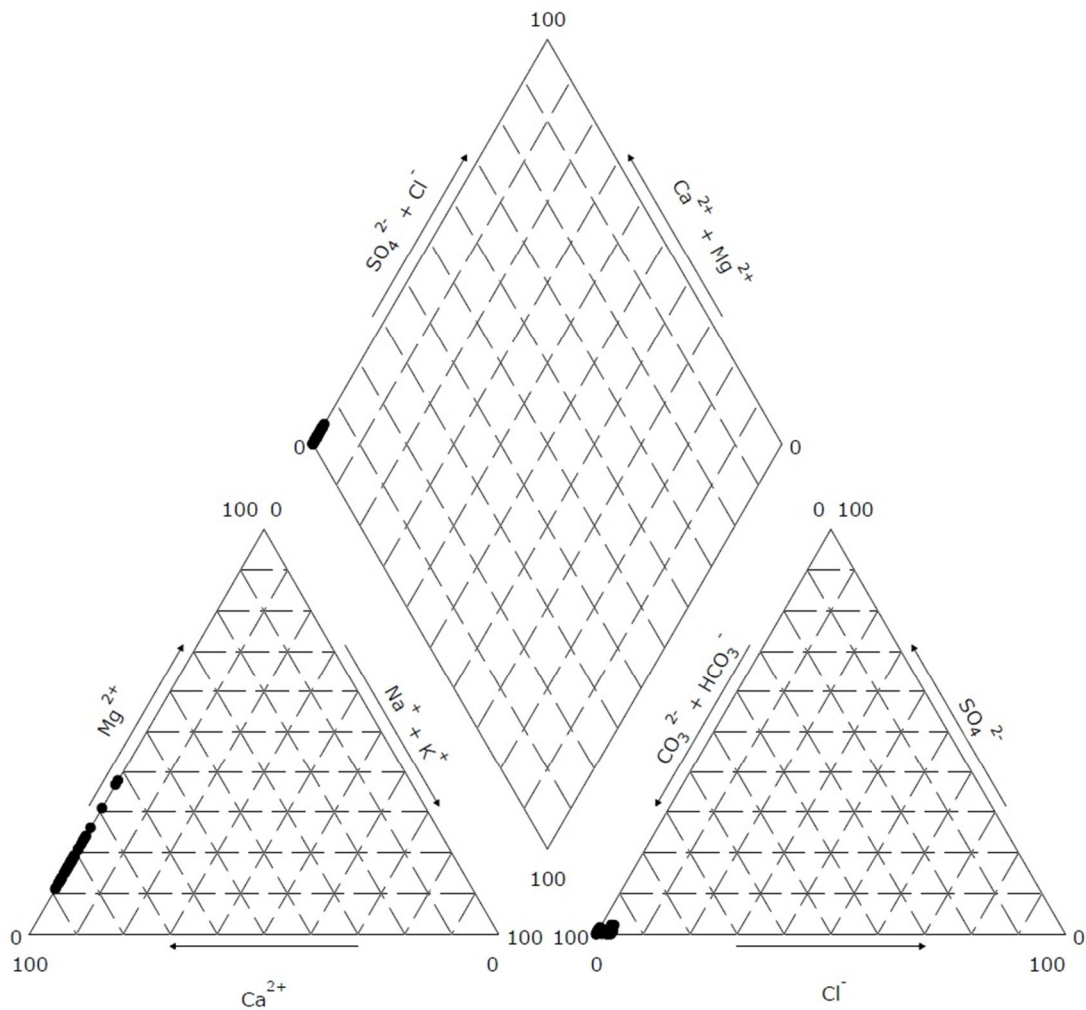
I. zona sanitarne zaštite definirana je prema položaju postojećih zaštitnih ograda kaptaže i crpne stanice Krbavica (prilog 4).

6. PRIKAZ KAKVOĆE VODE

Na izvoru Krbavica sustavno se mjere fizikalno-kemijski, kemijski i mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode. Mjerenja je do 2014. godine izvodio Zavod za javno zdravstvo (ZZJZ) Zadar, a od tada nadalje kakvoću vode ispituje Zavod za javno zdravstvo (ZZJZ) Ličko Senjske županije u Gospiću. Za potrebe predmetnih istraživanja obrađeni su rezultati analiza od 2006. do 2016. godine (ukupno 80-ak analiza). Analize su od 2006. do 2009. godine rađene u prosjeku svaka dva mjeseca, zatim u razdoblju od 2010. do 2013. svaki mjesec, te od 2014. do 2016. četiri puta godišnje. Razmaci uzorkovanja nisu u potpunosti pravilni, postoje i značajnija odstupanja, kao na primjer u 2015. godini kada je bilo razdoblje od 6. do 12. mjeseca bez uzorkovanja.

Prilikom terenskih istraživanja za potrebe izrade ovog elaborata, uzimani su uzorci u prosjeku jednom mjesečno u kaptazi Krbavica, te u povremenom izvoru Suvaja. Uzorci su analizirani u Hidrokemijskom laboratoriju Hrvatskog geološkog instituta Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju.

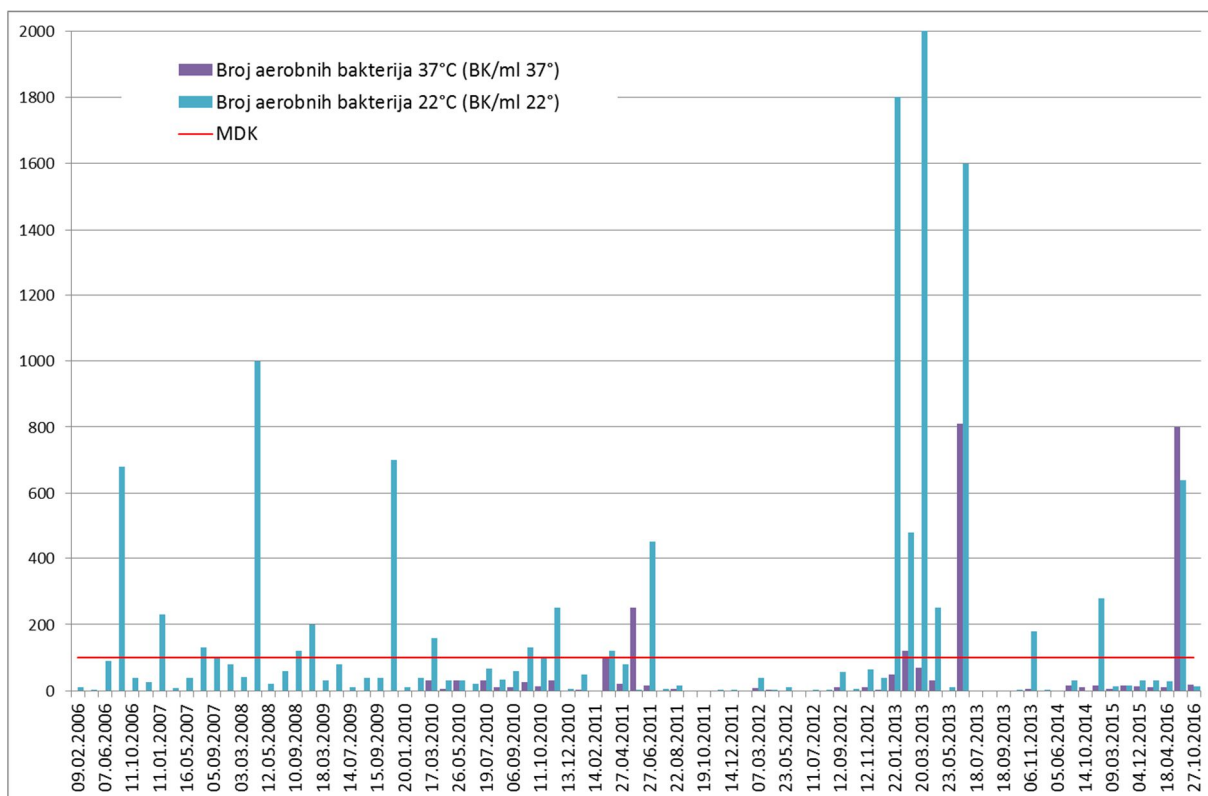
Kako na uzorcima analiziranim u Zavodu za javno zdravstvo nisu mjereni sadržaji natrija i kalija koji su nužni za određivanje hidrogeokemijskog facijesa, facijes je određen na način da je zanemaren sadržaj navedenih iona. Navedeni postupak je opravdan s obzirom da je sadržaj natrija i kalija u ovim vodama vrlo mali u odnosu na sadržaj kalcija i magnezija, što je potvrđeno i analizama provedenim na uzorcima koji su uzeti u sklopu ovog projekta. Za jednostavan i pregledan grafički prikaz hidrogeokemijskih facijesa najčešće se koristi Piperov dijagram (slika 10). Hidrogeokemijski facijes izvora Krbavica je kalcijsko–magnezijsko–hidrogenkarbonatni što upućuje na prihranjivanje iz vodonosnika u vapnenačkim i dolomitnim naslagama. Ovakav rezultat je i očekivan i u skladu s opisanim geološkim i hidrogeološkim značajkama terena. Detaljniji odnos dinamike istjecanja na izvoru sa mjerenim fizikalnim i kemijskim parametrima u okviru monitoriga uspostavljenog za izradu ovog elaborata opisan je poglavljju 3.6. *Monitoring i analiza dinamičkih značajki izvora Krbavice i Suvaje.*



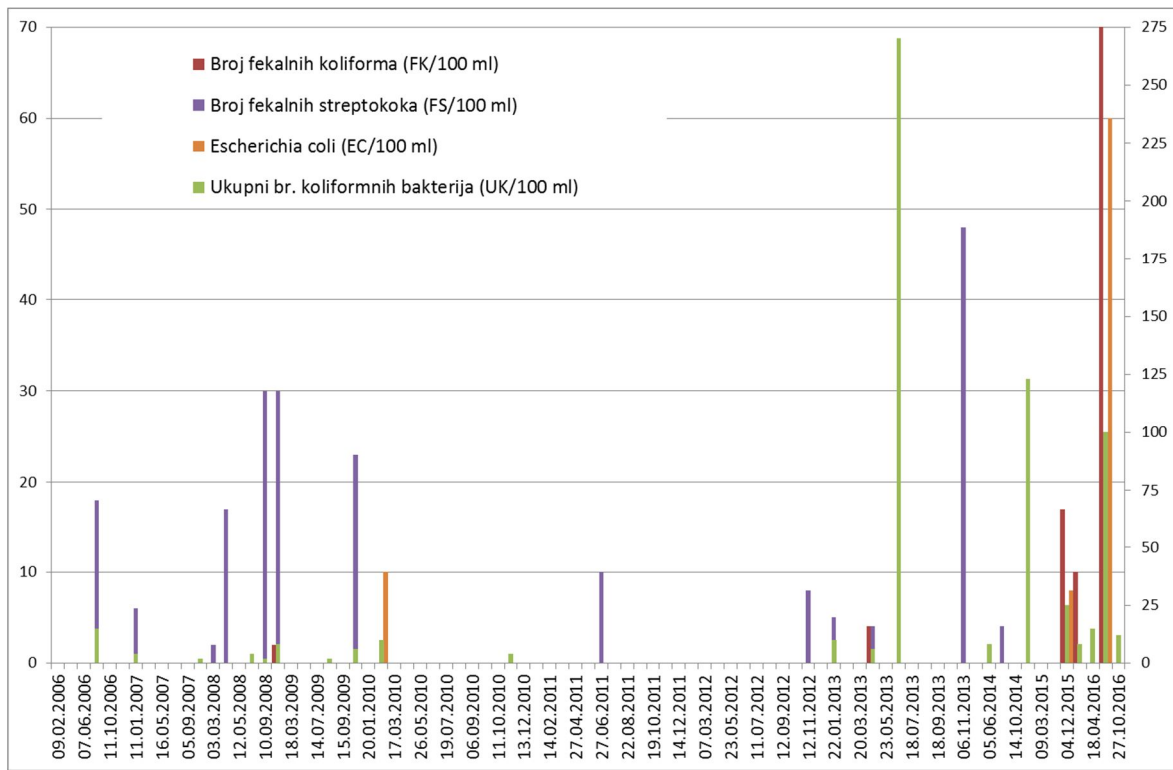
Slika 10. Piperov dijagram uzoraka vode izvora Krbavica (podaci na temelju 80-tak analiza Zavoda za javno zdravstvo u razdoblju od 2006. do 2016. godine)

Vrijednosti fizikalno – kemijskih pokazatelja kretale su se uglavnom unutar dozvoljenih raspona prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN125/2017). Srednja temperatura izvora je u promatranom razdoblju iznosila 8.8 °C, pH vrijednost 7.7, a elektrolitička vodljivost 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (od 247 do 631 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Dana 23.5.2012. je zamijećen porast ukupnih suspendiranih tvari (21 mg/l) iznad maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) prema Pravilniku o parametrima sukladnosti (NN125/2017). Svi ostali fizikalno – kemijski parametri bili su ispod MDK u cijelom promatranom razdoblju. Znatno veći raspon mjerenih temperatura vode (i elektrovodljivosti) u analizama ZZJZ od raspona ustanovljenog uspostavljenim monitoringom u okviru ovog projekta ukazuje na vjerojatnu nekonzistentnost lokacije uzimanja uzoraka, odnosno vjerojatnost da su neki od uzoraka prikupljeni izvan vodozahvata uslijed čega su tijekom sušnih razdoblja povremeno bilježene povećane vrijednosti temperature izvorske vode.

Povišene vrijednosti mikrobioloških pokazatelja uobičajena su pojava u vodama krških izvora (Didaković 2004, Štambuk-Giljanović 2011, Crnković i Gobin 2013). Podzemna voda koja se kreće kroz krške vodonosnike ima daleko manju mogućnost samopročišćavanja nego podzemne vode u naslagama s međuzrnskom poroznošću. Zbog toga su krške podzemne vode znatno ranjivije na onečišćenje i obično se moraju tretirati prije upotrebe za ljudsku potrošnju. Na dijagramu na slici 11 prikazan je broj kolonija aerobnih bakterija u vodi u obrađenom razdoblju, te MDK prema Pravilniku o parametrima sukladnosti (NN125/2017). Broj kolonija je u promatranom razdoblju često prelazio MDK, a posebno visok broj zamjećuje se u 2013. i 2016. godini, kada je i broj fekalnih streptokoka te ukupni broj koliformnih bakterija bio izrazito povišen. Na dijagramu na slici 12 prikazan je broj fekalnih bakterija i *Escherichie coli* te ukupni broj koliformnih bakterija (na desnoj osi dijagrama) kojih prema Pravilniku o parametrima sukladnosti (NN 125/2017) ne smije biti u vodi za piće. Broj fekalnih bakterija često je bio povišen u promatranom razdoblju, a u 2015. i 2016. godini zamjećuje se njihov posebno veliki porast zajedno sa značajnom povišenjem *Escherichie coli*. Ova pojava moguće je povezana s povećanjem broja stoke na području Krbavice tijekom posljednjih godina.



Slika 11. Broj aerobnih bakterija u izvoru Krbavica u razdoblju od 2006. do 2016. godine



Slika 12. Mikrobiološki pokazatelji mjereni na izvoru Krbavica u razdoblju od 2006. do 2016. godine

Koncentracije svih mjenjenih metala, organskih spojeva (ulja, fenoli i dr.) te hranjivih tvari (amonij, nitriti, nitrati i dr.) u vodi kroz cijeli promatrani period bile su ispod MDK prema Pravilniku o parametrima sukladnosti (NN 125/2017). Koncentracije klorida i sulfata također su bile daleko ispod MDK.

Može se zaključiti da je kvaliteta izvorske vode Krbavice u potpunosti sukladna propisanim MDK prema Pravilniku o parametrima sukladnosti (NN 125/2017) osim u slučaju mikrobioloških pokazatelja, koji povremeno znatno premašuju propisane vrijednosti. Premda su povišene vrijednosti mikrobioloških pokazatelja uobičajena pojava za vode krških izvora, te su povremeno bile prisutne i u izvorskoj vodi vodozahvata tijekom cijelog razdoblja uzorkovanja (2006.-2016.), treba naglasiti da se tijekom posljednjih godina uočava je dodatni trend povećanja ovih pokazatelja (slike 11 i 12). Ova pojava može biti posljedica intenziviranja poljoprivrednih aktivnosti na području Krbavice, odnosno povećanja brojnosti stoke na ekstenzivnoj ispaši unutar priljevnog područja Krbavice, posebice unutar područja II. zone sanitarne zaštite.

7. KATASTAR ONEČIŠĆIVAČA

Unutar priljevnog područja izvorišta Krbavica (vodozahvat Krbavica i izvor Suvaje) ne postoje potencijalni izvori značajnijeg koncentriranog zagađenja (industrijska postrojenja, odlagališta otpada, kanalizacijski sustavi otpadnih voda, spremnici goriva i farme s intenzivnim stočarstvom). Također, nisu prisutne niti značajnije prometnice. Ovakva situacija odražava se i u postojećoj kvaliteti izvorske vode Krbavice, u kojoj nije utvrđena niti jedna vrsta onečišćenja izuzev mikrobiološkog.

Mikrobiološko (bakteriološko) zagađenje povremeno je prisutno u analiziranim uzorcima vode zahvata, uz trend povećanja tijekom posljednjih godina. Glavni izvor ovog zagađenja vjerojatno je poljoprivredna aktivnost, a moguće i propusne septičke jame domaćinstava.

U priljevnom području Krbavice poljoprivredna proizvodnja vezana je uz ekstenzivno stočarstvo. Na području polja Krbavice smješteno je više obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava koja se uglavnom bave ekstenzivnim ovčarstvom. Posljednjih godina uočava se trend povećanja broja stoke na širem području Krbavice. Premda su gospodarske zgrade i štale smještene izvan priljevnog područja, stoka se pušta na ispašu unutar priljevnog područja u neposrednom zaleđu izvora (II. zona).

Prema popisu stanovništva naselje Krbavica je 2011. godine imalo 44 stanovnika (www.dzs.hr). Od naselja unutar priljevnog područja nalazi se samo zaselak Hrnjaci u bliskom zaleđu vodozahvata (II. zona). Zaselak je uglavnom napušten, a povremeno se koriste dvije kuće. Propusne septičke jame na području ovog zaselka mogu negativno utjecati na kvalitetu vode vodozahvata, osobito u uvjetima niskih voda (olakšan dotok prema glavnim krškim kanalima, manje razrjeđenje). Ostali zaseoci unutar priljevnog područja su trenutno nenastanjeni.

Dodatnu mogućnost potencijalnog zagađenja predstavlja gospodarenje šumom unutar priljevnog područja. Unutar priljevnog područja izgrađeno je više šumskih cesta (Prilog 2), pogotovo tijekom posljednjih godina. Poznato je da intenzivna sječa šuma može izazvati pojavu zamućenja izvorske vode, te povećanja sadržaja nitrata u izvorskoj vodi uslijed intenzivnog ispiranja iz tla nakon sječe. Probijanje cesta također može izazvati pojačano ispiranje tla, te zamućenje. Također, i upotreba masti i ulja, te pogonskih goriva za radne strojeve u šumarstvu predstavlja rizik od akcidentnih onečišćenja u budućnosti. Zbog toga gospodarenje šumom unutar priljevnog područja treba prilagoditi i obavljati na način da ne utječe na kvalitetu izvorske vode (izbjegavanje intenzivne sječe i probijanja novih cesta u bližem zaleđu) i uz poštovanje strogih mjera opreza pri upotrebi goriva i maziva.

8. PRIJEDLOG MJERA ZAŠTITE IZVORIŠTA

Unutar zaštitnih zona predlaže se primjena pasivnih mjera zaštite sukladno člancima 19., 21., 23., i 25. Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11 i 47/13).

U skladu s odredbama Pravilnika unutar IV. zone zaštite predlaže se zabrana slijedećih aktivnosti:

- ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda,
- izgradnja postrojenja za proizvodnju opasnih i onečišćujućih tvari za vode i vodni okoliš,
- izgradnja građevina za oporabu, obradu i odlaganje opasnog otpada,
- uskladištenje radioaktivnih i za vode i vodni okoliš opasnih i onečišćujućih tvari, izuzev uskladištenja količina lož ulja dovoljnih za potrebe domaćinstva, pogonskog goriva i maziva za poljoprivredne strojeve, ako su provedene propisane sigurnosne mjere za građenje, dovoz, punjenje, uskladištenje i uporabu,
- građenje benzinskih postaja bez zaštitnih građevina za spremnike naftnih derivata (tankvana),
- izvođenje istražnih i eksploatacijskih bušotina za naftu, zemni plin kao i izrada podzemnih spremišta,
- skidanje pokrovnog sloja zemlje osim na mjestima izgradnje građevina koje je dopušteno graditi prema odredbama Pravilnika,
- građenje prometnica, parkirališta i aerodroma bez građevina odvodnje, uređaja za prikupljanje ulja i masti i odgovarajućeg sustava pročišćavanja oborinskih onečišćenih voda i
- upotreba praškastih (u rinfuzi) eksploziva kod miniranja većeg opsega.

Unutar III. zone zaštite predlažu se, uz zabrane vezane za IV. zonu i dodatne zabrane slijedećih aktivnosti:

- skladištenje i odlaganje otpada, gradnja odlagališta otpada osim sanacija postojećeg u cilju njegovog zatvaranja, građevina za zbrinjavanje otpada uključujući spalionice otpadate postrojenja za obradu, oporabu i zbrinjavanje opasnog otpada,
- građenje cjevovoda za transport tekućina koje mogu izazvati onečišćenje voda bez propisane zaštite voda,
- izgradnja benzinskih postaja bez spremnika s dvostrukom stjenkom, uređajem za automatsko detektiranje i dojavu propuštanja te zaštitnom građevinom (tankvanom),
- podzemna i površinska eksploatacija mineralnih sirovina osim geotermalnih voda i mineralnih voda.
- Iznimno od stavka 1. u III. zoni sanitarne zaštite izvorišta sa zahvaćanjem voda iz vodonosnika s pukotinskom i pukotinsko-kavernoznom poroznosti dopušta se izgradnja centra za gospodarenje otpadom, sukladno posebnim propisima o otpadu, pod slijedećim uvjetima:

- a) da je zahvat centra planiran odgovarajućim planskim dokumentima gospodarenja otpadom usklađenim s planskim dokumentima upravljanja vodama,
 - b) da su za lokaciju centra, odnosno uži prostor zone sanitarne zaštite u kojem se isti namjerava izgraditi, provedeni detaljni vodoistražni radovi kojima je ispitan mogući utjecaj zahvata centra na stanje vodnog tijela iz kojeg se zahvaća ili je rezervirano za zahvaćanje vode namijenjene ljudskoj potrošnji, uključujući i vodna tijela mineralne i termomineralne vode, te da je na temelju istih moguće utvrditi i provesti odgovarajuće mjere zaštite voda koje će osigurati najmanje dobro stanje toga vodnog tijela u skladu sa standardima propisanim posebnim propisom o standardu kakvoće voda,
 - c) da je lokacija centra izvan poplavnog područja ili zaštićena od štetnog djelovanja voda,
 - d) da je osigurana privremena i trajna zaštita od prodora oborinskih voda u građevinu za trajno odlaganje nakon obrade i/ili uporabe otpada u sklopu centra te spriječeno istjecanje iz nje u okolni prostor (vodonepropusnost), a posebno u vode,
 - e) da se tijekom rada centra provodi stalni pojačani monitoring emisija otpadnih voda kao i stanja voda u priljevnom području vodocrpilišta (izvorišta) za koje postoji rizik od onečišćenja koje potječe iz centra u skladu s odgovarajućim vodopravnim aktom na teret pravne osobe koja upravlja centrom,
 - f) da se provodi pojačani monitoring vodonepropusnosti svih građevina u sustavu centra prema odgovarajućem vodopravnom aktu.
- Uz navedene zabrane, u poljoprivrednoj proizvodnji poljoprivredna gospodarstva dužna su provoditi mjere propisane odgovarajućim programom zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla i pridržavati se načela dobre poljoprivredne prakse.

U II. zoni sanitarne zaštite treba primijeniti sve navedene mjere vezane uz III. i IV. zonu zaštite, te dodatno zabraniti:

- poljoprivrednu proizvodnju, osim ekološke proizvodnje uz primjenu dozvoljenih gnojiva i sredstava za zaštitu bilja prema posebnom propisu,
- stočarska proizvodnja, osim poljoprivrednog gospodarstva odnosno farme do 20 uvjetnih grla uz provedbu mjera zaštite voda propisanih odgovarajućim programom zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla i načela dobre poljoprivredne prakse,
- gradnju groblja i proširenje postojećih,
- ispuštanje pročišćenih i nepročišćenih otpadnih voda s prometnica,
- građenje svih industrijskih postrojenja koje onečišćuju vode i vodni okoliš,
- građenje drugih građevina koje mogu ugroziti kakvoću podzemne vode,
- sječu šuma osim sanitarne sječe,
- skladištenje i odlaganje otpada, gradnja odlagališta otpada, osim sanacija postojećih u cilju njihovog zatvaranja, građevina za zbrinjavanje otpada uključujući spalionice otpada, regionalnih i županijskih centara za gospodarenje otpadom, reciklažnih dvorišta i pretovarnih stanica za otpad

ako nije planirana provedba mjera zaštite voda te postrojenja za obradu, uporabu i zbrinjavanje opasnog otpada.

U I. zoni sanitarne zaštite treba zabraniti sve aktivnosti osim onih koje su vezane uz zahvaćanje, kondicioniranje i transport vode u vodoopskrbni sustav.

Uz navedene pasivne mjere zaštite predlaže se i primjena slijedećih aktivnih mjera zaštite:

- redovan monitoring kakvoće vode, što se posebno odnosi na izradu mikrobiološke analize jednom mjesečno, te dodatno u uvjetima naglog povećanja izdašnosti izvora, pogotovo ako je ono praćeno povećanjem mutnoće izvorske vode,
- kontrola i osiguranje nepropusnosti septičkih jama domaćinstava koja se nalaze unutar priljevnog područja (domaćinstva unutar II. zone sanitarne zaštite sela Hrnjaci) i
- kontrolirati slobodnu ispašu stoke u II. zoni i provedbu mjera zaštite voda propisanih odgovarajućim programom zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla i načela dobre poljoprivredne prakse.

9. NAČELNI PRIJEDLOG SANACIJSKIH ZAHVATA

Područje I. zone sanitarne adekvatno je ograđeno zaštitnom mrežom, ali je potrebno sanirati ulazna vrata na ogradi. Trenutno, ulazna vrata ograde ne zatvaraju adekvatno područje I. zone zaštite uslijed čega je omogućen pristup životinjama unutar ograde (npr. psi).

Preporučuje se napraviti kontrolu nepropusnosti, te u slučaju negativnih rezultata i sanaciju septičkih jama naseljenih objekata u naseljima unutar priljevnog područja. Prioritet su povremeno i stalno nastanjeni objekti u naselju Hrnjaci, koje se nalaze unutar II. zaštitne zone (prilog 2).

Unutar II. zone sanitarne zaštite treba kontrolirati i ograničiti broj stoke na ekstenzivnoj ispaši.

Gospodarenje šumom unutar cjelokupnog priljevnog područja (unutar svih zona zaštite) treba prilagoditi očuvanju kvalitete vode na izvorima. Ovo uključuje izbjegavanje intenzivne sječe na velikim površinama, te poštovanje strogih mjera opreza prilikom upotrebe goriva, masti i ulja za šumsku mehanizaciju.

10. PRIJEDLOG MJESTA ZA POSTAVLJANJE OZNAKA ODGOVARAJUĆIH ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Na ulazu u ogradu koja ograđuje I. zonu sanitarne zaštite, odnosno područje vodozahvata, potrebno je postaviti oznaku I. zone zaštite i zabranu pristupa neovlaštenim osobama.

Na mjestima gdje prometnice presijecaju granice pojedinih zona sanitarne zaštite potrebno je postaviti odgovarajuće oznake. Lokacije svih predloženih mjesta za postavljanje odgovarajućih oznaka zaštitnih zona označene su na prilogu 2 (uz izuzetak oznaka vezanih uz I. zonu).

Put od zaseoka Panjkovići preko Vujnove Glave prema Homoljačkom polju (karakteriziran kao javna prometnica i prikazan na topografskim i prometnim kartama unatoč vrlo lošem stanju na terenu) presijeca granicu III. zone na dva mjesta, te se na tim lokacijama trebaju postaviti odgovarajuće oznake (iznad zaseoka Panjkovići u Krbavici i u zaseoku Rapajići na jugoistočnom rubu Homoljačkog polja).

Na cesti za zaseok Hrnjaci, neposredno sjeverno od kaptaže, potrebno je postaviti oznaku za II. zonu zaštite.

Odgovarajuće oznake bi također trebalo postaviti na mjestima gdje značajnije/veće šumske ceste presijecaju granicu II. i III. zaštitne zone (prilog 2).

11. ZAKLJUČAK

Vodozahvat izvora Krbavica nalazi se uz sjeverni rub istoimenog polja, te se prihranjuje iz priljevnog područja smještenog sjeverozapadno, sjeverno i sjeveroistočno od polja. Uz zahvaćeni izvor Krbavice, oko 400 m sjeverozapadno od njega nalazi se i nezahvaćeni povremeni izvor Suvaje. Oba izvora prihranjuju se iz zajedničkog priljevnog područja, a osim njih drugih značajnijih izvora na Krbavičkom polju nema. Vodotok Krbavice, koji se formira na spomenutim izvorima, ponire na nizu ponora smještenih uz južni i jugozapadni rub polja. Priljevno područje izvora u potpunosti je izgrađeno od okršavanju podložnih karbonatnih stijena. U zapadnom dijelu pretpostavljenog priljevnog područja prevladavaju vapnenci, u središnjem su prisutne izmjene vapnenaca i dolomita, dok u istočnom dijelu prevladavaju dolomiti (prilog 1). U zapadnom dijelu priljevno područje graniči s priljevnim područjem izvora Gacke, što je dokazano rezultatima prethodno obavljenih trasiranja. Naime, oba trasiranja obavljena s ciljem utvrđivanja podzemne vodne veze s Krbavicom (polje Trnavac i Homoljačko polje) utvrdila su podzemne vodne veze samo s izvorima Gacke. Iz istog razloga, obuhvat pretpostavljenog priljevnog područja Krbavice u okviru ovog istraživanja/elaborata izmijenjen je u odnosu na prethodna istraživanja. Granice priljevnog područja, osobito u zapadnom dijelu, zonarnog su karaktera, promjenjive ovisno o hidrološkim uvjetima u podzemlju, i uz veliku mogućnost djelomičnog preklapanja susjednih priljevnih područja (mogućnost otjecanja dijela vode prema Gackom, a dijela prema Krbavičkom polju).

Na vodozahvatu Krbavice i obližnjem izvoru Suvaje u okviru ovog istraživanja uspostavljen je hidrološki monitoring, kao i dodatni monitoring odabranih fizikalnih i kemijskih parametara. Na temelju rezultata provedenog monitoringa, kao i dostupnih podataka prethodnih istraživanja procijenjen je srednji godišnji minimum izdašnosti vodozahvata od 100 l/s, srednji godišnji protok od 300 l/s, maksimalni od oko 1000 l/s, te minimalni u slučaju ekstremnih suša od oko 30-40 l/s. Monitoringom je utvrđena sukladna dinamika izvora Suvaje s vodozahvatom, uz slične fizikalne i kemijske pokazatelje što potvrđuje prihranjivanje pretežito iz istog područja/sustava. U sušnim uvjetima, kada Suvaja presuši, cjelokupno područje drenira se na vodozahvatu. Ukupna površina pretpostavljenog priljevnog područja iznosi 21,2 km².

Do danas nije izvedeno niti jedno trasiranje tijekom kojeg je utvrđena pojava trasera na izvoru Krbavice. Stoga se preporuča u cilju provjere obuhvata priljevnog područja provesti dodatna trasiranja.

Fizikalno-kemijski pokazatelji u svim analiziranim uzorcima (80-tak uzoraka tijekom razdoblja 2006-2016.) odgovaraju Pravilniku o parametrima sukladnosti (NN 125/2017), dok mikrobiološki parametri u većini uzoraka prelaze vrijednosti propisane ovim pravilnikom. Ovo je uobičajena značajka krških izvora s brzim pronosom vode kroz podzemlje, osobito u uvjetima povišenih vodostaja. Ipak, treba napomenuti da je

posljednjih godina prisutan trend dodatnog povećanja mikrobiološkog zagađenja, što je moguće posljedica intenziviranja poljoprivrednih aktivnosti, odnosno ekstenzivne ispaše stoke u zaleđu izvora.

Na temelju provedenih istraživanja, kao i rezultata prethodnih, određen je obuhvat zona sanitarne zaštite vodozahvata Krbavica u skladu s odredbama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/11, 47/13). IV. zona sanitarne zaštite određena je na način da obuhvati ukupno pretpostavljeno priljevno područje Krbavice izvan III. zone. III. zona obuhvaća područje u kojem prevladavaju vapnenci, te se može pretpostaviti mogućnost brze infiltracije zagađivala s površine u vodonosni sustav. II. zona sanitarne zaštite obuhvaća bliže zaleđe izvora, a I. zona sanitarne zaštite definirana je prema položaju postojećih zaštitnih ograda vodozahvata.

Unutar priljevnog područja Krbavice ne postoje izvori značajnijeg koncentriranog zagađenja. Onečišćivači su vezani uz ekstenzivno stočarstvo i moguće propusne septičke jame nekoliko (povremeno) naseljenih objekata unutar područja II. zone. Potencijalnu ugrozu za očuvanje kvalitete izvorske vode predstavljaju šumarske aktivnosti unutar priljevnog područja.

U Zagrebu, srpanj 2018.

Dr. sc. Andrej Stroj, dipl. ing. geol.

Dr. sc. Maja Briški, dipl. ing. geol.

LITERATURA

- Aljinović, B., Prelogović, E., Skoko, D. (1990): Tectonic processes on the contact of the Adriatic Platform and the Dinarides in the area of the Northern Dalmatia. Proc. Of the Inter. Conf. on Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Inst. of Mech./Tech. Univ. of Vienna, 179-182, A. A. Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- Biondić, B., Goatti, V. (1976): Regionalna istraživanja Like i Hrvatskog Primorja. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Biondić, R., Biondić, B., Meaški, H. (2010): Novelacija granica zona sanitarne zaštite izvorišta Gacke. Elaborat, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Blašković, I. (1998): The Two Stages of Structural Formation of the Coastal Belt of the External Dinarides. Geol. Croat., 51/1, 75-89, Zagreb.
- Crnković, G., Gobin, I. (2013): Mikrobiološka ispravnost prirodne izvorske vode u odabranim izvorima na području Gorskog kotara. Stručni članak, Hrvatske vode 21(2013) 83 17-24, UDK 556.115.023.
- Didaković, S. (2004): Kakvoća prirodnih resursa voda uključenih u vodoopskrbu u Istarskoj županiji u 2004. godini. Zavod za javno zdravstvo Istarske županije, Služba za zdravstvenu ekologiju, Odjel za zaštitu i unapređenje okoliša, Pula.
- Ford, D., Williams, P. (1989): Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman, London, 601.
- Hydroconsult (2001): Vodoopskrbni plan Ličko-Senjske županije. Rijeka, nepublicirano.
- Kuhta, M., Frangen, T., Stroj, A. (2010): Vodoistražni radovi u cilju zaštite izvorišta Krbavica II. faza – trasiranje ponora na Trnovac polju. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Kuhta, M., Frangen, T. (2013): Korenica – zone sanitarne zaštite izvora Krbavica i Čujića Krčevine, trasiranje ponora Šuputove drage na Homoljačkom polju. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Mantovani, E., Albarelo, D., Babbucci, D., Tamburelli, C. (1993): Post-Tortonian deformation pattern in the central Mediterranean: a result of extrusion tectonics driven by the Africa-Eurasia convergence. In: Boschi, E., Mantovani, E., Morelli, A. (Eds.): Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 65-104.
- Munda, B., Trutin, M., Matić, N. (2008): Izrada zaštitnih zona izvorišta na širem području Udbine. Elaborat. Geoaqua d.o.o., Zagreb.
- Pavičić, A., Prelogović, E., Biondić, D., Kapelj, S., Hinić, V. (1997): Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Pavičić, A., Terzić, J., Buljan, R. (2005): Hidrogeološki radovi - 1. faza vodoistražnih radova šireg prostora Koreničkog vrela. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Polšak, A., Juriša, M., Šparica, M., Šimunić, A. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Bihać L33-116. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1962-1967), Savezni geološki zavod, Beograd.

- Polšak, A., Crnko, J., Šimunić, An., Šimunić, Al., Šparica, M., Juriša, M.. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za List Bihać L33-116. Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, 52 str., Beograd.
- Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta. Narodne novine, 66/11 i 47/13.
- Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe. Narodne novine, 125/2017.
- Stroj, A. (2012): Udbina - zone sanitarne zaštite izvora Kraljevac i Bukovac. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Štambuk-Giljanović, N., Dumanić, T., Ledić, M., Poljak, M., Bakavić, A.S. (2011): Kakvoća voda u Dalmaciji. Hrvatski časopis za javno zdravstvo 7/28.
- Zakon o vodama. Narodne novine, 153/09., 63/11., 130/11., 56/13. i 14/14., 46/18.

PRILOZI