

**SMJERNICE ZA DALJNJE AKTIVNOSTI NA ISTRAŽIVANJU
STRATEŠKIH ZALIHA PODZEMNE VODE I PRATEĆIH MJERA
ZAŠTITE**

Izradila: prof.dr.sc. Tatjana Vlahović

Zagreb, svibanj 2014

Projekt: SMJERNICE ZA DALJNJE AKTIVNOSTI NA ISTRAŽIVANJU STRATEŠKIH ZALIHA PODZEMNE VODE I PRATEĆIH MJERA ZAŠTITE

Naručitelj: HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220
OIB: 28921383001

Izvršitelj: Prof.dr.sc. Tatjana Vlahović
Zagreb, Bolnička 51/10
OIB: 32080188632

Ugovor: Klasa:325-01/13-10/229, Ur.broj:374-1-2-14-5) od 21.01.2014
Klasa:325-01/13-10/229, Ur.broj:374-1-3-14-9) od 23.04.2014

1. UVOD

Hrvatska spada u skupinu država bogatih vodom. Republika Hrvatska godišnje raspolaže s 26 milijardi kubika vode. Procjenjuje se da od tih 26 milijardi kubika vode u obnovljive zalihe podzemnih voda ulazi oko devet milijardi kubika, što je značajno jer se oko 90 posto vodoopskrbe u Hrvatskoj osigurava iz podzemnih voda. Procjena je da je količina vlastitih voda po stanovniku u Republici Hrvatskoj 6840 m³ na godinu, a ako se u obzir uzmu granične i međugranične vode, tada se vodno bogatstvo procjenjuje na 16 700 m³ po stanovniku na godinu. Godišnja potrošnja vode za piće i industriju iznosi oko 380 milijuna kubika, a ukupna potrošnja vode (poljoprivreda, stanovništvo i industrija) je oko milijardu kubika. Stoga, uzimajući u obzir sve navedeno Hrvatska za budućnost ima dovoljne količine vode ukoliko bude dobro gospodarila njome.

U stajalištima hrvatske vodne politike, izraženima u Strategiji upravljanja vodama (NN 91/08), podzemne vode su određene kao glavni izvor vode za potrebe javne vodoopskrbe, a sve više dobiva na značaju i njena ekološka vrijednost, budući da se podzemne vode često nalaze u interakciji s kopnenim i vodenim ekosustavima te na taj način izravno utječu na kvantitativno, kemijsko i ekološko stanje ekosustava. U strateškim ciljevima ove politike naglašena je važnost određivanja stanja, funkcija i odgovarajuće zaštite podzemnih voda. Donošenjem Strategije i Plana upravljanja vodnim područjima (2013) po prvi puta su jasno definirane strateške zalihe podzemnih voda od prvorazrednog nacionalnog interesa za Republiku Hrvatsku, kao i potreba da se na odgovarajući način odredi njihovo racionalno korištenje i zaštita te ih se uključi u prostorne planove i dokumente prostornoga uređenja.

Pod strateškim zalihama podzemne vode podrazumijevaju se zalihe podzemnih voda, odnosno vodonosni sustavi koji po količini i kakvoći mogu zadovoljiti potrebe vodoopskrbe regije ili velikih gradova, te osigurati značajan ekonomski i socijalni razvoj hrvatskoga društva. To su važni prirodni resursi, odnosno zalihe u općem interesu, a nalaze se na području koje nije jako onečišćeno i koje se razvojnog politikom može zadržati u postojećem stanju da se očuva prirodna kakvoća podzemnih voda ili se čak može poboljšati. Tako primjerice, grad Zagreb je između ostalog svoj razvitak mogao zahvaliti i položaju u geoprostoru, odnosno sretnoj okolnosti da se nalazi na aluvijalnim nanosima šljunaka rijeke Save u čijem se međuzrnskom poroznom prostoru nalaze neprocjenjivo važne zalihe pitke vode.

Prostorna raspoređenost podzemnih voda uvjetovana je geološkom građom, klimatskim i hidrološkim uvjetima te hidrogeološkim značajkama pojedinog područja. Najveće zalihe podzemne vode Republike Hrvatske nalaze se u području aluvijalnih nanosa Savske i Dravske depresije (vodonosnici u stijenama međuzrnske poroznosti) te u Gorskom kotaru i Lici (u karbonatnim stijenama).

Strateške zalihe podzemnih voda definirane su na temelju postojećeg stupnja istraženosti podzemnih voda, a podijeljene su u četiri tipa (razine) temeljem spoznaja o zalihama i kakvoći vode na pojedinim područjima, stupnju njihovog trenutnog korištenja i značaja za postojeću i buduću vodoopskrbu, prirodne ranjivosti područja na kojima se nalaze i pritiska na ta područja, te prioriteta pri zaštiti pojedinih područja a prvenstveno prema mogućnostima njihove zaštite na teritoriju Republike Hrvatske. To su (slika 1.):

- 1. Zalihe podzemne vode prve razine** čine vode krških područja (Gorskog kotara, Like i unutrašnjosti Dalmacije) čiji se cjelokupni slivovi nalaze na području Hrvatske i koja se odlikuju vrlo visokom kakvoćom podzemne vode. Tu pripada izvorišno područje Kupe (sliv gornjeg toka Kupe - izvor Kupe, Kupice, Male i Velike Belice, izvori u Skradu...) (do Broda na Kupi), sliv Ogulinske Dobre (izvori Kamačnik i Ribnjak), izvor Zagorske Mrežnice i gornji horizont Zvečajske Mrežnice (izvori Vrnjike i Dretulje), izvor Une u Crnomorskom slivu, te izvorišno područje Gacke, izvorišno područje Like kod Medaka i Mogorića, gornji horizont Zrmanje na nivou Gračaca (izvori ponornica Obsenice, Ričice, Otuče, te početno vrelo Zrmanje, podno planine Poštak i gornji dio sliva Krke (Crno vrelo, izvori Krke, Jelića vrela, Kosovčica, Lopuško vrelo, Šegotina vrelo, Šimića vrelo, Šišmino vrelo, izvor Čikole) u Jadranskom slivu.
- 2. Zalihe podzemne vode druge razine** čine vode iz aluvijalnih vodonosnika u dolinama Save i Drave, čija je prirodna kakvoća nešto lošija. Zbog intenzivnog korištenja prostora na kojem se nalaze teško ju je očuvati od onečišćenja s obzirom na složeno korištenje prostora za razvoj drugih gospodarskih djelatnosti, prvenstveno poljoprivrede i transporta. Tu pripadaju vodom bogate šljunkovito-pjeskovite naslage srednjeg dijela Podravine, te šljunkovito-pjeskoviti sloj uz Savu u istočnoj Slavoniji (Velika Kopanica – Babina greda).
- 3. Treću razinu zaliha podzemnih voda** čine područja iz kojih se voda intenzivno, a negdje i skoro maksimalno koristi, zbog čega se njena kakvoća postepeno pogoršava. Postoji opasnost da se u budućnosti dio tih voda zbog pogoršane kakvoće isključi iz vodoopskrbe. Trećoj razini strateških zaliha pripada sliv rijeke Mirne u SZ Istri (CPV Sjeverna Istra), sliv rijeke Raše, područje sliva Rječine i bakarskih izvora, sliv izvora Jadro i Žrnovnica u Dalmaciji, varaždinski vodonosni sustav i vodonosni sustav samoborskog i zagrebačkog područja, te na krajnjem istoku u Baranji aluvijalni pjeskoviti vodonosnik u inundacijskom području debljine do 60 m.
- 4. Četvrtu razinu zaliha podzemnih voda** čine vodom bogata područja južne Hrvatske. Voda je dobre kakvoće, ali se priljevna područja većim dijelom nalaze izvan granica Hrvatske, što otežava ili onemogućava aktivnu zaštitu njene kakvoće. Tu ubrajamo dio sliva Cetine, desna obala donjeg toka Neretve i izvore između Neretve i Prevlake.

Najznačajnije zalihe podzemnih voda u državi nazvane su strateške zalihe prve razine.

U kršu, podzemna voda je posebno ranjiva, jer ako dođe do prodora onečišćenja u krško podzemlje tada se zbog hidrogeoloških značajki takvog područja onečišćenje brzo širi, nema filtracije koja je prisutna u stijenama sa međuzrnskom poroznošću te se u kratkom vremenu onečisti velika količina pitke vode. Zbog zaštite okoliša i podzemnih voda dobro je da u Gorskom kotaru i Lici nema koncentracije industrije ili milijunskih gradova, jer će to dugoročno osigurati Hrvatskoj kvalitetne zalihe pitke vode za budućnost. A u budućnosti bi pitka voda mogla biti financijski vrednija i važnija od nafte.

Međutim, jedan od velikih problema strateških zaliha podzemnih voda je što još uvijek nije određen odgovarajući način provedbe zaštitnih mjera u područjima sa strateškim zalihama

podzemnih voda, niti način njihova odgovarajućega uključivanja u prostorno-plansku dokumentaciju.



Slika 1. Strateške zalihe podzemne vode u R Hrvatskoj

2. PREGLED PROVEDENIH DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA STRATEŠKIH ZALIHA PODZEMNE VODE

Istraživanja podzemnih voda za različite potrebe provode se na teritoriju Hrvatske već cijeli niz godina. Opseg, metodologija, detaljnost, podaci i rezultati istraživanja ovisili su o cilju i svrsi za koje su provedena, te stupnju spoznaja i tehničkih mogućnosti vremena u kojima su izvođena. Vrlo važan segment u definiranju stanja i promjena vodnog režima je kontinuirano praćenje razina i kakvoće podzemne vode, na temelju kojih je moguće utvrditi međusobni odnos površinskih i podzemnih voda na pojedinim područjima i pratiti sve promjene koje se dešavaju tijekom vremena.

Dva različita tipa vodonosnika na području Hrvatske, s međuzrnskom poroznošću u panonskom dijelu (Crnomorski sliv) i pukotinsko-kavernoznom poroznošću u području krša

(Jadranski sliv), se odlikuju različitom dinamikom podzemnih voda, te zbog toga iziskuju uspostavu različitih tipova praćenja, kako za praćenje razina podzemne vode tako i za praćenje kakvoće vode.

Za praćenje kakvoće podzemnih voda ne postoji namjenski nacionalni program, a kakvoća podzemne vode prati se na vodocrpilištima. Zbog toga ne postoje dovoljno pouzdani podaci o kakvoći podzemne vode na velikom dijelu teritorija Hrvatske, niti pravovremene spoznaje o ugroženosti pojedinih crpilišta.

Uspostavljeni sustav praćenja razina podzemne vode u slivovima Save i Drave se odlikuje neravnomjernom pokrivenošću najznačajnijih vodonosnika, kako u prostoru tako i po dubini. To je posljedica prvenstveno razvoja postojećeg sustava, koji je stvaran tijekom vremena za potrebe izgradnje hidroenergetskih objekata i korištenje podzemne vode za vodoopskrbu na pojedinim područjima. Glavni nedostatak uspostavljenog praćenja, osobito u slivu Save, je nepostojanje osnovne pijezometarske mreže, postavljene u profile okomito na vodotoke i usklađene s mjernim postajama na vodotocima, kojom bi se pratile promjene razine podzemne vode na cjelokupnom prostoru i međusobni odnos površinskih i podzemnih voda.

U krškom području, osim djelomičnog praćenja na području Istre, te u slivu Jadra i Žrnovnice, ne postoji praćenje razina podzemne vode. Zbog vrlo složenih hidrodinamičkih uvjeta tečenja vode u tim područjima, morat će se prije uspostave praćenja provesti složena istraživanja na temelju kojih će se definirati reprezentativna mjesta mjernih postaja.

Saznanja o količinama i kakvoći vode temeljni je dio upravljanja vodnim resursima, posebice u uvjetima održivog razvoja što je i temelj Okvirne direktive o vodama Europske Unije (WFD-2000/60/EC).

Okvirne direktive o vodama (ODV) Europske Unije strateški su dokument kojim se uspostavlja okvir za djelovanje svih zemalja članica Europske Unije na području upravljanja i zaštite voda. Cilj ODV je sprječavanje daljnje degradacije voda, zaštita i poboljšanje stanja ekosustava i uspostava sustava održivog korištenja voda temeljeno na dugoročnoj zaštiti vodnih resursa.

Tijekom implementacije Okvirnih direktiva o vodama Europske Unije (WFD-2000/60/EC) u Hrvatskoj napravljena je inicijalna karakterizacija cjelina podzemnih voda (CPV) za područja Crnomorskog sliva (Brkić i dr., 2005) i Jadranskog sliva (Brkić i dr., 2006). Izdvojeno je ukupno 461 cjelina podzemnih voda, od čega 363 u Crnomorskom slivu, a od toga se 49 odnosi na područje krša i 98 u Jadranskom slivu. Osnova za izdvajanje cjelina podzemnih voda bila je analiza geološke građe terena, poroznost, geokemijski sastav, hidrogeološke karakteristike, geomorfološke pojave, smjerovi i brzine toka podzemnih voda – analiza trasiranja podzemnih voda, izdašnosti izvora i zdenaca, napajanje podzemnih voda, odnos s površinskim tokovima i položaj cjelina podzemnih voda unutar riječnih slivova. Za izdvojene cjeline definirana je njihova prirodna ranjivost, načinjena analiza opterećenja na količinsko stanje podzemne vode te analiza točkastih i raspršenih onečišćivača, dana je procjena rizika na osnovi kojega je u budućnosti potrebno poduzeti mjere za uspostavljanje dobrog kvantitativnog i kvalitativnog stanja podzemnih voda.

Izdvojena su dva tipa vodonosnika – osnovni i sekundarni vodonosnik, te neproduktivne stijene. U **osnovne vodonosnike**, u Crnomorskom slivu, uvršteni su kvartarni vodonosnici intergranularne poroznosti u dolinama rijeka Drave i Save visokih hidrauličkih svojstava iz kojih se odvija glavina javne vodoopskrbe u sjevernoj Hrvatskoj ili su planirani za vodoopskrbu (dravski vodonosnik, vodonosnik na zagrebačkom području, konusni nanosi desnih pritoka rijeke Save, aluvijalni vodonosnik na karlovačkom području) te karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti i visoke propusnosti u zonama visokog krša u slivovima rijeka Kupe i Une, iz kojih podzemna voda istječe na izvorima velikih izdašnosti. U Jadranskom slivu u osnovne vodonosnike uvršteni su karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti i visoke propusnosti iz kojih podzemna voda istječe na izvorima velikih izdašnosti (većinom preko 10 l/s), koji ujedno predstavljaju i glavne vodoopskrbne zahvate, ili na priobalnim izvorima i vruljama većih izdašnosti (npr. izvor Kristal, Pantan, vrulja Dubci).

U **sekundarne vodonosnike**, u Crnomorskom slivu, uvršteni su kvartarni vodonosnici intergranularne poroznosti u slivovima rijeka Drave i Save nešto nižih hidrauličkih svojstava koji se koriste za vodoopskrbu, a izdašnosti izvorišta su u pravilu manja od 20 l/s, zatim karbonatni (trijaski) vodonosnici pukotinsko poroznosti i osrednje propusnosti u području sjeverne Hrvatske (Zagorsko i Slavonsko gorje, Žumberačko-Samoborsko gorje, Medvednica) i karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti u zonama plitkoga krša u slivovima rijeke Kupe, praktični bez značajnijih izvora. U Jadranskom slivu, u sekundarne vodonosnike uvršteni su karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti iz kojih podzemna voda istječe na izvorima izdašnosti uglavnom manjim od 10 l/s, vodonosnici bez značajnijih mjesta istjecanja slatke podzemne vode, vodonosnici s razmjerno dubokim razinama podzemne vode koji do danas nisu zahvaćeni, zbog problema tehnički i gospodarski optimalnog načina eksploatacije podzemne vode u takvim vodonosnicima, te otočki vodonosnici (Hvar, Vis, Korčula, ...) u kojima intenzivno crpljenje tijekom ljetnih sušnih razdoblja izaziva mogućnost zaslanjenja.

Neproduktivne stijene, u Crnomorskom slivu, uglavnom su ograničene na neogenske naslage (izmjena lapora, praha, glina, pijesaka, mjestimice karbonata), te kvartarne naslage niskih hidrauličkih svojstava i/ili malih debljina i metamorfne stijene (propusne samo plitko ispod površine terena) koje općenito ne mogu dati količine veće od 5 l/s, a u Jadranskom slivu uglavnom na klastične i fliške naslage (izmjena lapora, praha, glina, pijesaka, mjestimice karbonata, pješčenjaka, konglomerata i breča), te kvartarne naslage niskih hidrauličkih svojstava i/ili malih debljina u krškim poljima koje općenito ne mogu dati količine veće od nekoliko l/s.

Za izdvojene cjeline podzemnih voda načinjena je ocjena rizika i to na temelju načinjene karakterizacije na bazi geoloških i hidrogeoloških karakteristika, dostupnih podataka o količinskom stanju podzemnih voda, analize točkastih, odnosno raspršenih izvora onečišćenja (pritisci, opterećenje) i na temelju raspoloživih podataka o kakvoći podzemne vode u pojedinim cjelinama podzemne vode (utjecaj). Sve izdvojene cjeline podzemnih voda podijeljene su u četiri kategorije: 1) značajan rizik, 2) vjerojatno značajan rizik, 3) nema rizika i 4) vjerojatno nema rizika.

U cjeline podzemne vode (CPV) koje pripadaju strateškim rezervama podzemne vode, u „**značajan rizik**“ svrstane su cjeline podzemne vode pod velikim antropogenim utjecajem na

stanje kakvoće ili količine vode. To se u Crnomorskom slivu odnosi na desnu obalu rijeke Drave na varaždinskom području gdje je sadržaj nitrata u podzemnoj vodi prvog vodonosnika dvostruko veći od maksimalno dozvoljenih koncentracija za pitku vodu, na zagrebačko područje, u kojima pojedini pokazatelji upućuju na jak antropogeni utjecaj iako voda još uvijek odgovara uvjetima za pitku vodu, te sniženje podzemnih voda, a na krškom području na cjeline Čabranka i Kupica u Gorskom Kotaru u kojima je utvrđen utjecaj od otpadnih komunalnih voda obližnjih naselja. Na području Jadranskog sliva u kategoriju „značajan rizik“ uvrštena je cjelina podzemne vode "Dragonja" - crpilišta Bužini, Gabrijeli i Škudelin.

U kategoriju „**vjerojatno značajan rizik**“ pripadaju cjeline koje sadrže osnovne vodonosnike slabo zaštićene krovinskim naslagama, na kojima ima značajnih pritisaka od korištenja prostora, a negativan utjecaj na kakvoću podzemne vode je jako izražen. To je primjerice, u Crnomorskom slivu, crpilište Nedelišće na lijevoj obali rijeke Drave na kojem je sadržaj nitrata do 5 mg/l N.

Cjelina u kojoj „**nema rizika**“ je u Crnomorskom slivu cjelina izvora Kupe, jer se gotovo cijelo područje nalazi unutar Nacionalnog parka Risnjak, a unutar Jadranskog sliva većina cjelina budući da je razmatrajući opterećenje prostora i kakvoću podzemnih voda utvrđeno da su podzemne vode razmjerno dobre kakvoće vode, izuzev povremene povećane mutnoće i povećanih mikrobioloških pokazatelja koji su karakteristični za krške izvore.

Cjeline podzemne vode svrstane u kategoriju „**vjerojatno bez rizika**“ uglavnom se odnose na cjeline unutar Jadranskog sliva na kojima negativan utjecaj na kakvoću podzemne vode nije bilo moguće utvrditi zbog nedostatka podataka. Cjeline koje ujedno pripadaju strateškim rezervama podzemne vode su: "Rijeka - zapad" - niti jedan izvor nije zahvaćen za potrebe vodoopskrbe, ali se dio koristi za industrijske potrebe; "sliv Jadra i Žrnovnice" – zbog izrazito povećanih mikrobioloških pokazatelja; cjeline podzemnih voda koje imaju karakter prekograničnih cjelina (uzvodni dio se nalazi na području susjedne Bosne i Hercegovine: "Cetina – lijeva obala", "izvori na sjevernom rubu Imotskog polja", "Prud", "Neretva – lijeva obala", "Zaton Bistrina", "uvala Doli – Slano", "Palata", "Ombla", "Duboka Ljuta", "Konaovska Ljuta") – opterećenje na prostoru susjedne države nije bilo moguće zbog neraspodjele podacima.

Budući da ovako veliki broj cjelina podzemnih voda, od kojih veliki broj zauzima razmjerno malu površinu, predstavlja problem za kvalitetnu uspostavu mreže opažanja kakvoće i količina vode, te onemogućava optimalno upravljanje, provedeno je grupiranje cjelina podzemne vode. Cjeline podzemnih voda su grupirane ovisno o geološkim, hidrogeološkim, hidrokemijskim i hidrološkim elementima na način da omogućuju dovoljno pouzdanu procjenu kvantitativnog (količinskog) i kvalitativnog (kemijskog) stanja podzemnih voda, a za potrebe motrenja, izvješćivanja i upravljanja riječnim bazenima, odnosno radi optimalnijeg upravljanja vodama (Brkić i dr., 2009; Biondić i dr., 2009). Za grupirane cjeline podzemnih voda načinjena je i procjena stanja i rizika cjelina podzemne vode.

Za ocjenu stanja i rizika cjelina podzemnih voda načinjeno je grupiranje ranije određenih cjelina podzemne vode, potom je načinjena analiza opterećenja i utjecaja grupiranih cjelina podzemne vode ljudskom djelatnošću iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, definiran je kvantitativni i kvalitativni status podzemne vode po grupiranim cjelinama podzemne vode,

te je načinjena identifikacija cjelina podzemnih voda ovisno o ekosustavima povezanim s podzemnim vodama. Načinjena je procjena rizika neispunjavanja uvjeta ODV do 2015 godine i daljnja karakterizacija cjelina podzemne vode koje su pod rizikom, te su dane preporuke za monitoring podzemne vode.

Grupiranje velikog broja cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Hrvatske (363) provedeno je na temelju sličnosti u pogledu hidrogeoloških karakteristika vodonosnika i opće sheme „napajanje – tok podzemne vode – istjecanje“. Na taj je način izdvojeno 15 cjelina podzemnih voda. Od toga 8 cjelina podzemne vode sadrže vodonosnik međuzrnske poroznosti, unutar 6 cjelina podzemne vode dominantno su zastupljeni vodonosnici međuzrnske poroznosti, a znatno manjim dijelom pukotinske poroznosti, te jedna cjelina podzemne vode s vodonosnikom isključivo pukotinske do pukotinsko-kavernozne poroznosti. Cjeline podzemnih voda u vertikalnom razrezu nisu izdvajane. Na području krša od inicijalno izdvojenih 147 cjelina podzemnih voda, grupiranjem je reduciran taj broj na ukupno 17, od čega 12 u Jadranskom, a 5 u Crnomorskom slivu, a u skladu s ODV radi racionalnijeg pristupa ocjene mogućnosti korištenja i zaštite vodnih cjelina u vodnom gospodarstvu.

Od izdvojenih cjelina, prema Strategiji upravljanja vodama (Narodne novine br. 91/08), strateškim rezervama podzemne vode u Crnomorskom slivu pripadaju područja cjelina podzemne vode (CPV) Zagreb, CPV Varaždinsko područje, CPV Međimurje (samo nizinski dio), CPV Novo Virje, CPV Legrad – Slatina, CPV Istočna Slavonija – sliv Save (regionalno crpilište Istočne Slavonije), CPV Kupa (gornji dio sliva), CPV Dobra, CPV Mrežnica i CPV Una (izvorišni dio), a u Jadranskom slivu područja cjelina podzemne vode (CPV) Sjeverna Istra, CPV Rijeka – Bakar, CPV Lika – Gacka, CPV Zrmanja, CPV Krka (uzvodni dio sliva), CPV Cetina i CPV Neretva.

Od izdvojenih cjelina podzemne vode koje pripadaju strateškim rezervama podzemne vode najviše istraživanja, a posebice za potrebe implementacije Okvirne direktive o vodama izvedeno je na području CPV Zagreb.

Duž cijele granice Hrvatske i Slovenije, u dužini od 668 km, postoje vodonosnici pitkih voda značajni za vodoopskrbu brojnih mjesta i gradova s obje strane granice i problem njihove zaštite i optimalnog iskorištenja je zajedničko pitanje, koje treba rješavati kompleksnim hidrogeološko - hidrološkim istraživanjima. Jedino takva istraživanja mogu doprinijeti boljem upravljanju vodnim resursima i daljnjem održivom razvoju pograničnih regija. Značaj zajedničkih istraživanja prekograničnih vodonosnika unutar njihovih prirodnih, a ne administrativnih granica, prepoznat je koncem devedesetih godina, a prve aktivnosti pokrenute su 2000. godine u sklopu hrvatsko – slovenskog znanstveno-istraživačkog projekta “Zaštita krških vodonosnika u graničnom području”. Temeljni cilj ovog projekta je bitno povećanje hidrogeološko - hidroloških saznanja u funkciji korištenja i zaštite krških vodonosnika. To uključuje unapređenje metoda istraživanja, koja se koriste u takvim projektima (geološko-morfostrukturne analize, geofizička istraživanja, trasiranja podzemnih tokova, geohidrokemijska istraživanja, izotopska ispitivanja i dr.), analiza bilance voda, ujednačavanje kriterija zaštite krških vodonosnika i posebno upravljanje vodnim resursima u vrlo često osjetljivim graničnim područjima dviju država.

Do sada su provedene dvije faze istraživanja prekograničnih vodonosnika na području između Tršćanskog i Kvarnerskog zaljeva, te prva faza istraživanja prekograničnih vodonosnika na području od Velikog Snježnika do Prisavske ravnice.

Na krškom području između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva tijekom dvije faze istraživanja načinjena je geološko – morfostrukturna analiza M 1: 50 000, hidrogeološka analiza, koja je uključila obilazak izvora, praćenje vodonosnika – mjerenja na terenu (CND, T, pH) mjesečno i izradu hidrogeološke karte M 1:50 000, obavljena su hidrološka istraživanja (ocjena, prikupljanje postojeće mreže opažanja i prijedlog novih postaja) i trasiranja podzemnih tokova. Izvori uključeni u stalnu mrežu opažanja hidrogeoloških parametara bili su: izvor Čabranke u Čabru, izvor Rječine i Zvir u Rijeci, Kristal i Admiral u Opatiji, Sveti Ivan, Bulaž i Gradole u Istri. Povremeno je mjeren i izvor u Mlinima iznad Buzeta, te izvori Petersan i Valaron u dolini Mirne. Također su obavljena hidrogeokemijska istraživanja, koja su uključila analize radioaktivnih i stabilnih izotopa (D, ^{18}O , ^{13}C , ^{15}N , ^3H) mikroelemenata, te kemijski sastav voda u četiri navrata (različiti hidrološki uvjeti) tijekom kalendarske godine, te je izrađena karta ugroženosti i rizika (I dio).

Na području Hrvatsko-Slovenske granice, na dijelu od Velikog Snežnika do prisavske ravnice, u I. fazi istraživanja načinjeno je geološko i hidrogeološko rekognosciranje terena i izrađene su pregledne geološke i hidrogeološke karte M 1:100 000, izrađen je digitalan katastar (baza hidrogeoloških podataka) vodnih pojava, objekata i trasiranja, načinjena analiza postojećeg stanja i izbor lokacija za provedbu trasiranja toka podzemne vode, hidrološka mjerenja (razina, protoka, oborina) i hidrokemijski monitoring i analize izotopnog sastava podzemnih voda i oborina. Također su izrađene podloge za usklađivanje granica postojećih cjelina podzemne vode s obje strane državne granice s prikazom granica proglašanih vodozaštitnih područja i zaštićenih područja prirode na prostoru prekograničnih vodonosnika, te je dan detaljni program II. faze istraživanja i specifikacija potrebne mjerne opreme za kontinuirani monitoring.

Analizom stanja na istraživanom graničnom području od Velikog Snježnika do Prisavske ravnice izdvojena su četiri slivna područja s prekograničnim karakterom; sliv izvora u Prezidu, sliv izvorišta rijeke Čabranke, neposredni sliv lijeve obale Kupe i sliv Krke, te jedno područje koje ima obilježja ekološkog sustava ovisnog o podzemnoj vodi, a to je neposredna dolina i tok rijeke Kupe - ekosustav Kupa. Od izdvojenih slivnih područja s prekograničnim karakterom u strateške zalihe podzemne vode spadaju sliv izvora u Prezidu, sliv izvorišta rijeke Čabranke i dio ekosustava Kupa.

2.1. Strateške zalihe podzemne vode prve razine

Strateške zalihe podzemne vode prve razine koje pripadaju **slivu rijeke Zrmanje** detaljno su obrađivane u sklopu hidrogeološke studije graničnog područja Lika-Dalmacija (Pavičić & Renić, 1993). Na osnovu dokumentacije, posebice provedenih trasiranja, i detaljnog rekognosciranja s kartiranjem terena omogućeno je određivanje slivnih površina i pojava značajnih vodnih objekata. Na taj način su relativno dobro definirane podzemne veze između ponora na ličkom horizontu i izvora uz rijeku Zrmanju, odnosno rijeku Unu. Provedena trasiranja omogućila su bolje definiranje podjele slivova na podslivove, što se posebno

odnosi na sliv Zrmanje (sliv gornjeg toka Zrmanje, sliv srednjeg toka Zrmanje i sliv donjeg toka Zrmanje i Velebitskog kanala), a posebice je važno s aspekta zaštite podzemnih voda. U studiji su vodni objekti sistematizirani prema izdašnosti, a razmotrena je i mogućnost njihovog korištenja za vodoopskrbu.

Na području Štikade (najvećim dijelom u općini Lovinac, a manjim u općini Gračac) u svrhu poboljšanja vodoopskrbe **općine Gračac** provedeni su tijekom 2010. i 2011. godine hidrogeološki istražni radovi (Estavela, 2011.). Radovi su obuhvatili geološko i hidrogeološko rekognosciranje šireg područja površine oko 20 km², detaljno kartiranje užeg područja istraživanja površine oko 3 km², geofizička ispitivanja, te istražno bušenje. Od geofizičkih ispitivanja provedeno je geoelektrično sondiranje i profiliranje. Sondiranje je provedeno na pet lokacija sa dubinskim zahvatom od 300-500 m, a profiliranje je izvedeno s dubinskim zahvatom na 50 i 100 m. Temeljem dobivenih hidrogeoloških pokazatelja i geofizičkih rezultata provedeno je istraživačko bušenje. Izbušene su tri bušotine ukupne dužine od 186 m.

Provedenim vodoistražnim radovima zaključeno je da na području Štikade je formiran krški vodonosnik s pojavom više značajnih izvora čiji kapaciteti značajno osciliraju tijekom hidrološke godine. Vodonosnik je pukotinsko - kavernozone poroznosti sa specifičnim razvojem podzemnih tokova. Dominantna je kanalska propusnost što su potvrdile istražne bušotine koje su u zaleđu izvora Grabovac zahvatile bočne, slabije propusne kanale, a glavni kanal duž kojeg ističe podzemna voda nije zahvaćen. I bušotinom na području napuštenog kamenoloma zahvaćen je kompaktni blok u kome su pukotinski sustavi zapunjeni glinom i slabo su vodopropusni.

Zbog prikazanog hidrogeološkog modela predložen je nastavak istražnih radova u zaleđu izvora Grabovac i Dubanac kako bi se zahvatio glavni dovodni kanal prema izvorima i zahvatila voda na većoj dubini. Time bi se osigurao odgovarajući kapacitet i u sušnom razdoblju godine. Trebalo bi detaljno istražiti i izvore na području Brničeva unutar paleozojskih naslaga koji obećavaju značajan kapacitet u dubljim dijelovima lokalnog vodonosnika vezanog za vapnenačke proslojke i leće.

U strateške zalihe podzemne vode prve razine koje pripadaju **slivu rijeke Krke** pripada i izvor Čikole. Izvor rijeke Čikole je povremeni krški izvor u jugoistočnom dijelu Petrovog polja (Dalmatinska Zagora) sa slivnim područjem u krškom terenu Svilaje. Predstavljen je širokom izvorišnom zonom u kojoj se pojavljuju brojni krški oblici i fenomeni. Izvorišna zona se pojavljuje na kvartarno/pliocenskoj barijeri Petrovog polja, a karakter ove barijere još nije u potpunosti utvrđen (da li je potpuna ili viseća – istraživačkim bušenjem se treba utvrditi). Vodocrpilište na izvoru rijeke Čikole smješteno je neposredno iznad glavnog izvora (špilje) i sastoji se od četiri bušena zdenca, dubine 54 m. Maksimalne eksploatacijske količine pretpostavljene su oko 180 l/s. Za utvrđivanje maksimalne crpne količine provedeno je pokusno crpljenje tijekom 2009 i 2010 godine, ali je zaključeno da su samo niže od 170 l/s, budući da niti nakon devet dana kontinuiranog crpljenja sa 170 l/s nije došlo do ustaljenja razine podzemne vode, pa čak niti do usporavanja pada razine (Terzić & Frangen, 2010., Terzić & Marković, 2011.).

Izvorište rijeke Gacke sastoji se iz više jakih krških izvora, koji kakvoćom i količinom vode čine **strateške rezerve pitke vode prve razine**. Zahvaćen je samo jedan izvor, i to onaj najveći, Tonkovića vrelo. Kaptiran je za vodoopskrbu grada Otočca, čiji vodoopskrbni sustav karakterizira velika dužina cijevnih vodova sa relativno malim brojem potrošača (273,23 km cjevovoda – 2.653 priključka).

Najveći broj hidrogeoloških radova povezan je s izvedbom hidroenergetskih objekata u slivu rijeke Like, dok su istraživanja u slivu rijeke Gacke u većoj mjeri vezana uz hidrološka istraživanja, prvenstveno izvorišnog dijela bogatog kvalitetnom vodom. U području rijeke Gacke u više navrata je radio Božičević, koji obrađuje hidrogeološke odnose uz rijeku Gacku od izvorišta do Prozora (1967), a na osnovi brojnih speloloških istraživanja, obrađuje hidrogeologiju rijeke Gacke prije i nakon zahvata vode za HE Senj (1973 i 1984). Tijekom 1984 godine, Žugaj obrađuje hidrologiju, a Pavičić i dr. hidrogeologiju šireg sliva rijeke Gacke.

Detaljna istraživanja izvorišnog područja rijeke Gacke uzvodno od Čovića obavljena su od 1993 do 1996 godine (Pavičić & Renić, 1993., Pavičić i dr., 1997.). Na osnovi postojećih podataka o ranijim istraživanjima i podacima istražnih radova izvedenih u okviru istraživanja, obrađena je geološka građa i hidrogeološki odnosi u slivu, značajke sliva i tečenje podzemnih voda, stanje površinskih voda (način pojavljivanja i količina), hidrokemijske karakteristike i kakvoća voda, ugroženost izvorišta i rijeke Gacke, te je dan prikaz prijedloga zona sanitarne zaštite.

Tijekom 1993. izvedeni su osnovni hidrogeološki radovi koji su rezultirali hidrogeološkom kartom M 1:50.000 slivnog područja izvorišta rijeke Gacke. Izvršena je kontrola kakvoće vode izvorišta na temelju terenskih mjerenja i analize prikupljenih uzoraka vode u vrijeme velikih voda (Pavičić & Renić, 1993).

U okviru vodoistražnih radova tijekom 1994. godine obavljen je detaljan obilazak dostupnog dijela sliva do postaje Čovići - Podgora. Ucrtana je granica sliva i izvedeno planimetriranje. Prikupljeni su podaci 10 kišomjernih stanica te 22 vodokaza ili limnigrafa. Izrađen je tabelarni prikaz 22 postaje koje se nalaze u banci podataka (BHP) Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba. Posebna pažnja posvećena je postajama u izvorišnoj zoni rijeke Gacke. Načinjena je i osnovna strukturno-tektonska obrada šireg područja sliva na temelju postojeće geološke, geomorfološke i geofizičke dokumentacije, te preliminarna obrada avionskih snimaka. Sakupljeni su podaci i načinjen program obrade podataka kakvoće voda s posebnom pažnjom na trend kakvoće vode od vremena okupacije šireg područja. Nastavljena je obrada kakvoće vode pri čemu su izvršena terenska mjerenja i uzeti uzorci u vrijeme minimalnih voda na izvorima: Majerovo vrelo, Knjapovac, Tonkovića izvor (Glavni izvor Gacke), Klanac i Pećina.

Tijekom 1996 godine izrađena je hidrogeološka karta područja sliva M 1:50.000, dopunjena novim podacima (trasiranje podzemne vode i dr.). Strukturni odnosi, kao jedan od najvažnijih elemenata za odredbu tečenja podzemnih voda u ovom krškom relativno jednoličnom terenu, prikazani su na karti M 1:50.000 kojom je obuhvaćen cijeli sliv izvorišta rijeke Gacke, kao i granično područje prema rijeci Lici i Krbavskom polju. U zaleđu izvorišta detaljna hidrogeološka karta M 1:5.000 površine 5 km², kao podloga za definiranje II zone sanitarne zaštite, pa među ostalim i za mogućnost donošenja ocjene o utjecaju tvornice kalcitnih

proizvoda i kamenoloma i drugih potencijalnih onečišćivača (skladište goriva, ceste i željeznička pruga), na vode izvorišta i rijeku Gacku u cjelini. Obavljeno je trasiranje u području tvornice kalcitnih proizvoda, a radi nalaženja pogodnog mjesta za uspješno ubacivanje trasera načinjena su prospektorska speleološka istraživanja na 4 objekta. Trasiranje je obavljeno iz krške jame-pukotine u neposrednom području tvornice kalcitnih proizvoda. Trasiranjem je dokazana veza s izvorima uz zapadni rub polja (Pucirep, Knjapovac, Begovac, Pećina), čime je dokazana mogućnost utjecaja tvornice kalcitnih proizvoda na vode rijeke Gacke. Veza s Tonkovića vrelom ovim trasiranjem nije utvrđena. Ovakovi rezultati trasiranja u skladu su sa strukturno-tektonskom građom terena. Ovaj podatak je posebno značajan ukoliko se prihvati kao nužna zaštita voda u cijelom izvorištu rijeke Gacke, a ne samo crpilišta na Tonković vrelu. Zbog važnosti, što ga određivanje zona sanitarne zaštite ima pri razmatranju ugroženosti izvorišta rijeke Gacke, načinjena je karta zona sanitarne zaštite, kao poseban prilog u M 1:50.000. s katastrom onečišćivača. Posebno je razmotren utjecaj tvornice kalcitnih proizvoda i kamenoloma na vode izvora i rijeku Gacku. Također je obrađeno i stanje količina površinskih voda na izvorišnoj zoni rijeke Gacke, uzvodno od Čovića. Uz kraći opis vodnog sustava u slivu Gacke razmotreno je utjecajno slivno područje, iznesene su osnovne meteorološke značajke te prikaz količina površinskih voda. Hidrokemijska istraživanja obuhvatila su mjerenja fizičko-kemijskih pokazatelja i izotopnog sadržaja u različitim hidrološkim uvjetima. Na izvorima Knjapovac, Pećina, Tonkovića vrelo, Klanac i Majerovo vrelo izmjereni su u tri navrata slijedeći pokazatelji: temperatura, pH, el. vodljivost i ukupno otopljena kruta tvar, koncentracija otopljenog kisika i zasićenje. Uzeti su uzorci za određivanje alkaliniteta, sadržaja sulfata, klorida i ukupnog sadržaja elemenata (Ca, Mg, Na, Si, Sr, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, Ba, Mn, Fe, Cr, Al, V, Cu, Ti). Korištene su metode i tehnike mjerenja uobičajene u hidrokemiji. Kakvoća vode izvorišta rijeke Gacke (Tonkovića vrela i Majerovo vrelo) obrađivana je na osnovi provedenih ispitivanja od 1980. do 1996. godine na podacima koji su sakupljeni u Zavodu za javno zdravstvo Županije primorsko-goranske. Provedena hidrokemijska istraživanja pokazala su da je moguće na osnovi kemijskog sastava izvorskih voda izdvojiti tri skupine izvora: Pećina-Knjapovac, Tonkovića vrelo i Klanac, te Majerovo vrelo. Prvenstveno je to izraženo u sadržaju magnezija, što je značajan pokazatelj učešća dolomita u geološkoj građi područja prihranjivanja izvora. Svi mjereni pokazatelji zadovoljavaju MDK kriterije, ali se povremeno uočava antropogeni utjecaj.

Na području sliva izvorišne zone rijeke Gacke izvedeno je, od polovice prošlog stoljeća do današnjih dana, više trasiranja podzemnih voda. Sva trasiranja nisu izvedena u uvjetima velikih voda jer su bila izvedena u druge svrhe te se ta trasiranja trebaju ponoviti u uvjetima velikih voda kako bi se potvrdili rezultati, ali i dobili stvarne prividne brzine podzemnih tokova u uvjetima zahtijevanim Pravilnikom i omogućilo određivanje zona sanitarne zaštite.

U nastavku je dat prikaz izvedenih regionalnih trasiranja i prividne brzine podzemnih tokova izmenu mjesta ubacivanja trasera (ponori) i mjesta pojave trasera (izvori).

1. Trasiranje ponora Mizimovac kod Perušića (Žmirića ponor) obavljeno je 14. travnja 1957. godine u 18 sati sa 30 kg Na-fluoresceina (Turner, S.). Traser se pojavio samo na izvoru Pećina nakon 4,5 dana, a prividna brzina bila je 2,78 cm/s.
2. Trasiranje ponora u Vrhovinskom polju obavljeno je 13. siječnja 1975. godine u 12 sati sa 50 kg Na-fluoresceina (Biondić, B. & Goatti, V.). Za vrijeme trasiranja na

vodomjernoj postaji Čovići Podgora – uzvodno protjecalo je prosječno 9,87 m³/s. Prosječni protok na ovoj vodomjernoj postaji iznosi 14,28 m³/s, što upućuje da je trasiranje izvedeno u hidrološkim uvjetima nešto sušnijim od prosječnih protoka. Minimalni mjesečni protok na ovoj vodomjernoj postaji iznosi 2,28 m³/s. Traser se pojavio prvo na Majerovom vrelu za 1,25 dana, a prividna brzina iznosila je 9,17 cm/s, a potom za 1,75 dan na izvorima Klanac vrelo i Tonkovića vrelo brzinom od 6,81 cm/s. Na izvoru Sinac, boja se pojavila nakon 2,75 dana s prividnom brzinom od 5,01 cm/s, a na izvoru Zalužnica nakon 12,75 dana s prividnom brzinom od 0,88 cm/s.

3. Trasiranje ponora u Kozjanu izvršeno je 21. ožujak 1975. godine u 13 sati (Biondić, B. & Goatti, V.) sa 60 kg Na-fluoresceina. Tijekom trasiranja iz Kozjana protjecalo je 11,0 m³/s. Prosječni protok na ovoj vodomjernoj postaji iznosi 14,28 m³/s, što upućuje da je trasiranje izvedeno u hidrološkim uvjetima nešto sušnijim od prosječnih protoka. Minimalni mjesečni protok na ovoj vodomjernoj postaji iznosi 2,28 m³/s. Traser se pojavio prvo na izvorima Klanac i Tonkovića vrelo nakon 8,2 dana a prividna brzina iznosila je 2,10 cm/s. Potom se nakon 11 dana traser pojavio na izvoru Malnište vrelo sa prividnom brzinom os 2,11 cm/s, a ubrzo nakon toga, nakon 11,7 dana na izvorima Burića vrelo i Pećina. Na Burića vrelo prividna brzina bila 2,01 cm/s, a Pećina 1,84 cm/s.
4. Trasiranje bušotine K-1-1 kod Perušića (Uzelci) obavljeno je 9. prosinca 1986. godine u 17 sati sa 30 kg Na-fluoresceina (Pavičić, A. & Renić, A.). Boja se pojavila samo na izvoru Pećina nakon 10,5 dana s prividnom brzinom od 0,77 cm/s.
5. Trasiranje jame „Industrogradnja“ Ličko Lešće obavljeno je 8. travnja 1997. godine u 11 sati s 6 kg Na-fluoresceina i 3 kg NaOH (Pavičić, A. & Kapelj, J.). Prije trasiranja u ponor je bilo ubačeno 135 m³ vode, a posije trasiranja 141 m³ vode. Traser se pojavio nakon 1,125 dan na izvoru Pucirep sa prividnom brzinom od 1,29 cm/s, na izvoru Knjapovac nakon 1,8 dana brzinom od 1,01 cm/s, zatim na izvoru Begovac nakon 4,8 dana sa prividnom brzinom od 0,47 cm/s, a potom na izvoru Pećina nakon 8,75 dana, a brzina toka podzemne vode iznosila je 0,47 cm/s. Na izvoru Klanac, Jaz (Marusino) i Tonkovića vrelo boja se nije pojavila.
6. Trasiranje ponora Kotao – Relić draga kod Perušića obavljeno je 12. prosinca 2002. godine u 14:30 sati sa 34 kg Na-fluoresceina i 15 kg NaOH, a u ponor je uviralo 0,05 m³ (Pavičić, 2003). Traser se pojavio samo na izvoru Pećina nakon 5,6 dana, a prividna brzina iznosila je 2,58 cm/s. Osim izvora Pećina, bili su opažani i izvori Klanac, Pucirep, Knjapovac, Begovac Jaz (Marusino) i Tonkovića vrelo.
7. Trasiranje ponora Stankovići – Trnavac, smještenoga istočno od razvodnice Jadranskog i Crnomorskog sliva, obavljeno je u dva navrata, pri čemu je traser upušten u završni ponor prema kojem se pri povlačenju visokih vodnih valova formira vodeni tok što se gubi u dnu ljevkastog udubljenja (Kuhta, M., 2010). Prvo trasiranje izvedeno je 30. ožujka 2010. godine u 16:00 sati i tom prilikom je u ponor pri uviranju od 45 L/s upušteno 5 kg uranina (Na-fluoresceina). Drugo trasiranje je izvedeno 23. travnja 2010. godine u 12:00 sati, a tom prilikom je pri nešto nižim vodnim uvjetima i uz protok na ponoru od 5 L/s upušteno 15 kg uranina (Na-fluoresceina). Tijekom oba

trasiranja opažani su izvori Krbavica, Suvaja (Panjkovići), Ševerova pećina (Bunić), Majerovo vrilo, Klanac, Tonkovića vrelo, Knjapovac, Pećina, Crna Rijeka, Bijela Rijeka, Plitvički Leskovac i Koreničko vrelo. Nakon prvog trasiranja podzemna veza je utvrđena s izvorima Tonkovića vrelo, Klanac i Majerovo vrilo. Maksimalna brzina toka prema Tonkovića vrelu iznosila je 2,89 cm/s, prema Klancu 3,18 cm/s, a prema Majerovom vrelu 3,0 cm/s. Veza sa izvorom Krbavica nije dokazana. Nakon drugog trasiranja podzemna vodna veza utvrđena je s izvorima Klanac i Majerovo vrelo. Maksimalna brzina toka prema Klancu iznosila je 2,09 cm/s, a prema Majerovom vrelu 1,86 cm/s. Podzemna veza nije ustvrđena sa izvorom Krbavica i Tonkovića vrelo. Provedena trasiranja pokazuju da područje Trnovca pripada slivu izvora izvorišne zone rijeke Gacke (Jadranski sliv), a ne kako je dosad smatrano slivu Krbavice i Krbave, odnosno Une (Crnomorski sliv). S obzirom na utvrđene vodne veze područje Trnovca treba adekvatno tretirati u zaštiti izvorišnog područja Gacke.

Odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišne zone rijeke Gacke, temeljem hidrogeoloških istraživanja provedenih 1997. godine (Pavičić i dr., 1997), donesena je na sjednici Županijske skupštine Ličko-senjske županije, održanoj 13. srpnja 2000. godine i objavljena u Županijskom glasniku Ličko-senjske županije (Žup.glasn. LSŽ 7/2000). Tom Odlukom obuhvaćena su sva izvorišta u izvorišnoj zoni rijeke Gacke uzvodno od Čovića. Iako je za vodoopskrbu zahvaćeno samo Tonkovića vrelo i ostalih 9 izvora ove izvorišne zone uključeno je u zaštitu kao perspektivna za buduću vodoopskrbu. Tom je prilikom sliv podijeljen u dva sliva: sliv A obuhvaćao je izvorišta Tonkovića vrelo, Klanac i Majerovo vrelo i njihova priljevna područja i sliv B koji je obuhvaćao Pucirep, Knjapovac, Begovac, Pećini, Marusino vrelo, Grabu i Jamića vrelo i njihova priljevna područja, kao i dio rijeke Gacke od izvorišta do Čovića. Prema Odluci (Žup.glasn. LSŽ 7/2000) sliv A podijeljen je u tri zaštitne zone, a za sliv B izdvojene su samo prva i treća zaštitna zona.

Zone sanitarne zaštite određene su u skladu sa zahtjevima Pravilnika (NN 22/86) prije donošenja novog Pravilnika (NN 55/02). Stoga je 2010. godine načinjena novelacija zona iz razloga usklađenja sa novim Pravilnikom (NN 55/02) (Biondić i dr., 2010). Podloga kod donošenja prijedloga novelacije zona sanitarne zaštite za izvorišnu zonu rijeke Gacke bili su svi relevantni rezultati istraživanja provedenih na širem području (detaljno mikrozoniranje područja Perušića, trasiranje iz ponora Kotao kod Perušića, dva trasiranja iz područja Trnovca, brojne studije utjecaja na okoliš), te istraživanja provedena za prethodnu Odluku.

Izvori Tonkovića vrelo, vrelo Klanac i Majerovo vrelo imaju zajedničko područje prihranjivanja i izdvajanje zasebnih slivova ova tri izvora nemoguće, te imaju velik kapacitet istjecanja čime postaju perspektivne rezerve pitke vode za Ličko-senjsku županiju, pa je stoga uz Tonkovića vrelo potrebno štititi i vrelo Klanac i Majerovo vrelo. Zaštita ostalih izvora koji su ranije bili unutar zaštitnih zona, kao i zaštita samog neposrednog toka rijeke Gacke provodi se prema Zakonu o zaštiti prirode (NN 70/05), prema kojemu je to područje proglašeno kao zaštićeni ekosustav u sklopu sustava zaštite NATURA 2000. Time se dosadašnji sliv B izdvaja iz zaštite izvora i u nastavku se obrađuje samo nekadašnji sliv A u kojem se nalaze Tonkovića vrelo, vrelo Klanac, Majerovo vrelo i njihova priljevna područja. Sukladno rezultatima istraživanja provedenih nakon donošenja zadnje Odluke, granice priljevnog područja glavnih izvora Gacke (nekadašnji sliv A) su modificirane, a područje Trnavca, koje je do sada smatrano da se nalazi u slivu Krbavice, je uključeno u sliv Gacke.

U svrhu definiranja perspektivnosti prostora **općine Perušić** za zahvaćanje vode, te u cilju upoznavanja mogućnosti najekonomičnijeg i kvalitetnog rješenja vodoopskrbe šireg područja (Pavičić i dr., 2007.) provedeni su hidrogeološki istražni radovi. Hidrogeološki istražni radovi obuhvatili su prikupljanje i obradu građe prethodno izvedenih radova i dostupnih podataka, geološko i hidrogeološko kartiranje, izradu hidrogeološke karte mjerila 1:25.000 istraživanog područja od Ličkog Osika do akumulacije Kruščica, a radi definiranja strukturno tektonskih odnosa korišteni su i podaci ranijih analiza u širem području sliva Like i Gacke, te izradu katastra svih vodnih pojava na istražnom području.

Provedenim istraživanjima definiran je prostorni položaj, način zalijeganja i ocjena stupnja okršenosti potencijalnih vodonosnika na ovom području, te je određeno perspektivno područje za nastavak istraživanja i definiran redoslijed za nastavak detaljnih istraživanja s obzirom na perspektivnost područja i udaljenost od postojeće vodoopskrbne mreže i postojeće vodospreme. Radi ocjene stupnja okršenosti po završetku hidrogeološkog kartiranja locirani su u području Kaniže, zapadno od samog Perušića, u blizini izvora Grabovac i izvora Josipovac i Jankovac, profili za geofizička ispitivanja.

Rezultati provedenih geofizičkih istraživanja prikazali su vrlo okršenu i razlomljenu karbonatnu stijensku masu, a perspektivne zone na profilima električne tomografije detaljnije su kartirane profilima seizmičke refrakcije. Na profilima je određeno i nekoliko potencijalno povoljnih lokacija za buduće istraživačko bušenje s ciljem dobivanja dodatnih količina vode. Na koncu je dat prijedlog slijedeće faze istraživanja što uključuje i prijedlog metodologije i opsega pojedinih istražnih radova.

U **općini Lovinac** u Ličko-senjskoj županiji, na području naselja Sveti Rok izvedeni su vodoistražni radovi. Istraživački radovi bili su podijeljeni u više etapa a svrha je bila iznalaženje perspektivnog prostora za pridobivanje novih količina podzemne vode u priljevnom području nekaptiranog izvora Kozjan uz definiranje programa nastavka istraživanja. Istraživanja su bila usmjerena na izradu hidrogeološke podloge, uspostavu monitoringa kakvoće i količine vode na izvoru Kozjan.

Vodoistražni radovi sastojali su se od prikupljanja, analize i reinterpetacije podataka prethodnih istraživanja prostora općine Lovinac, detaljnih geološko-hidrogeoloških i strukturno-tektonskih istraživanja šireg prostora izvora Kozjan na površini od cca 12 km², izrade hidrogeološke karte priljevnog područja izvora M 1:5.000, na površini cca 8 km², izrade karakterističnog hidrogeološkog profila M 1:5.000, mjerenja izdašnosti izvora Kozjan tijekom hidrološkog ciklusa, uzorkovanja vode na izvoru Kozjan u sušnom i kišnom razdoblju, hidrogeokemijske analiza vode, obrade podataka oborina s kišomjerne stanice Lovinac, te obrade rezultata provedenih istraživanja (geoloških, hidrogeoloških, strukturnih i hidrogeokemijskih).

Monitoring izdašnosti na izvoru Kozjan trajao je od 01. kolovoza do 06. studenog 2006. godine. Tijekom opažanja minimalna izdašnost u sušnom razdoblju registrirana je 01. kolovoza, a iznosila je 61,52 l/s. Za razdoblje opažanja izdašnosti pribavljeni su podaci dnevnih oborina s najbliže kišomjerne stanice Lovinac bilježenih od strane DHMZ-a. Tijekom terenskih radova registrirani su svi vodni objekti i pojave, krške oblici i onečišćivači unutar istražnog prostora.

Nakon detaljnog geološkog i hidrogeološkog kartiranja te izrade hidrogeološke karte definirano je perspektivno područje površine oko 0,5 km² i dan je prijedlog nastavka vodoistražnih radova kojima bi se osigurale dostatne količine podzemne vode za javnu vodoopskrbu općine Lovinac.

Sliv izvorišta Novljanske Žrnovnice obuhvaća **dio područja Gorskog Kotara i dijela područja Like**, odnosno najvećim dijelom pripada **strateškim rezervama podzemne vode prve razine**. U cilju određivanja slivnog područja izvorišta i zona sanitarne zaštite izvorišta provedena su trasiranja podzemnih tokova. Pri tome su vrlo važna trasiranja podzemne vode regionalnog karaktera gdje je ispitivana lička komponenta sliva odnosno ponorne zone rijeke Like i Gacke.

Trasiranje regionalnog karaktera ponorne zone rijeke Gacke provedeno je 1974. i 2004. godine. Na temelju rezultata trasiranja, područje ponorne zone rijeke Gacke 1999. godine uvršteno je u III zonu sanitarne zaštite izvorišta Novljanske Žrnovnice (Biondić & Dukarić, 1985.), a istovjetna III zona sanitarne zaštite zadržana je i pri novelaciji granica zaštitnih zona vodocrpilišta Novljanske Žrnovnice (Biondić et al., 2009.). Prvo trasiranje sa lokacije Bikina jama kod Otočca provedeno je 1974. godine, kada je potvrđena hidrogeološka veza lokacije s izvorištem Novljanske Žrnovnice. Prividna brzina prema Novljanskoj Žrnovnici iznosila je 3,77 cm/s. Prema osmatranim izvorima u podvelebitkom području prividne brzine bile su izrazito velike, a najveća je bila prema izvoru u Sv. Jurju i Jurjevskoj Žrnovnici (14,38 cm/s). Trasiranje je bilo provedeno sa 160 kg Na-fluoresceina i 60 kg natrijevog hidroksida, u trenutku kada je u ponor uviralo oko 20 l/s. Sljedeće trasiranje iz područja ponorne zone Gacke, izvedeno je 2004. godine sa lokacije cca 200 m nizvodno od Bikine jame. Pritom je potvrđena hidrogeološka veza prema Novljanskoj Žrnovnici uz prividnu brzinu 3,66 cm/s. Prividne brzine izračunate za izvore u podvelebitkom području, unatoč uvjetima velikih voda, znatno su manje nego ona iz 1974. godine i iznose < 3 cm/s za opažane izvore koji se nalaze između Senja i Jablanca, dok su nešto veće od 3 cm/s za izvore sjeverno od Senja (Klenovica 3,31 cm/s) i južnije od Jablanca (Bačvice 3,84 cm/s). Trasiranje je izvedeno dok je u ponor utjecalo 50-70 l/s, uz upotrebu 80 kg Na-fluoresceina i 40 kg natrijevog hidroksida.

Trasiranje Markovog ponora u Lipovom polju, u ponornoj zoni rijeke Like provedeno je u dva navrata. Trasiranjem provedenim 1975. godine utvrđena je hidrogeološka veza ovog lokaliteta s Novljanskom Žrnovnicom, što je rezultiralo uključivanjem ove ponorne zone u III zonu zaštite izvorišta. Prividna brzina prema vodocrpilištu iznosila je 4,35 cm/s. Tom je prilikom opažan i čitav niz izvora u podvelebitkom području od Klenovice do Karlobaga i na svima je traser detektiran uz relativno velike prividne brzine. Najveća prividna brzina izmjerena je prema Jurjevskoj Žrnovnici i iznosila je 32,10 cm/s. U ponor je tom prilikom ubačeno 150 kg Na-fluoresceina. S iste je lokacije provedeno trasiranje 2005. godine ubacivanjem 100 kg Na-fluoresceina i 50 kg natrijevog hidroksida. Ovim trasiranjem traser nije detektiran na izvorištu Novljanske Žrnovnice. Na ostalim opažaćkim mjestima od Klenovice do Bačvice traser je utvrđen s najvećom prividnom brzinom za Starigrad kod Senja (12,8 cm/s). Izostanak potvrde utvrđene hidrogeološke veze Markovog ponora s vodocrpilištem Novljanska Žrnovnica trasiranjem 1975. godine, pripisuje se nepovoljnim hidrogeološkim uvjetima. Trasiranje je provedeno u razdoblju velikih voda kada je u ponor uviralo 50 m³/s. Uslijed nailaska ovakvog ekstremno velikog vodnog vala pretpostavlja se da je došlo do razrjeđenja koncentracije trasera na vodocrpilištu u tolikoj mjeri da je ista bila

ispod detekcijske granice korištenog uređaja. U prilog ovoj interpretaciji navodi se činjenica da je traser detektiran na izvoru u Klenovici koja se nalazi svega 1 km južnije od Novljanske Žrnovnice. S obzirom na rezultate trasiranja, područje ponorne zone rijeke Like uvršteno je u III zonu sanitarne zaštite izvorišta Novljanske Žrnovnice.

U svrhu noveliranja granice, odnosno opravdanosti prijedloga II zone izvorišta Novljanske Žrnovnice u području Brinja (Biondić et al., 2009.), odnosno ispitivanja pretpostavke o postojanju hidrogeološke veze između ponorne zone u južnom dijelu Brinjskog polja i izvorišta Novaljske Žrnovnice i njenog utjecaja na vodocrpilište, provedeno je trasiranje tokova podzemne vode s lokaliteta ponora povremenog vodotoka Gata u Brinjskom polju (Munda i dr., 2011). Osmatrano je vodocrpilište Novljanske Žrnovnice u razdoblju od 37 dana od ubacivanja trasera, dok je preostalih 7 lokacija osmatranja uzorkovano u razdoblju od 15 dana. Trasiranje je provedeno dana 15.11.2010. upuštanjem otopine 75 kg Na-fluoresceina i 40 kg NaOH u ponor Gate južno od pročišćача otpadnih voda Općine Brinje. Opažanjem je utvrđena pojava trasera na izvorima u Jurjevskoj Žrnovnici, uvali Duboka i Sv. Jurju, dok za izvore u uvali Teplo, Klenovica, Klada, Starigrad kod Senja pojava trasera nije utvrđena. Na vodocrpilištu Novljanske Žrnovnice, unatoč produljenom razdoblju opažanja, pojava trasera nije registrirana. Izračunate prividne brzine tokova podzemne vode od mjesta ubacivanja trasera iznose 2,39 cm/s za izvor Porat u Sv. Jurju, 2,73 cm/s za izvor Duboka u uvali Duboka, a 2,82 cm/s za izvor Žrnovničko vrilo u Jurjevskoj Žrnovnici. Rezultati ovog trasiranja dobiveni su u prirodnim uvjetima i u hidrološkim uvjetima visokih voda. Analizom dobivenih podataka potvrđeno je da područje Brinjskog polja, pripada slivu priobalnih izvora u Podvelebitu, a kao dominantan i privilegiran tok podzemne vode od trasiranog ponora može se smatrati onaj prema priobalnom dijelu obale od izvora Sv. Juraj na sjeveru do uvale Duboka na jugu.

Sukladno postignutim rezultatima trasiranja nije opravdano uvođenje II zone u području Brinjskog polja, te se predlaže ukidanje i III zone sanitarne zaštite za područje Brinjskog polja, a za ukidanje IV zone sanitarne zaštite Brinjskog polja i/ili redefiniranje položaja granice sliva Novljanske Žrnovnice, ovim vodoistražnim radovima nisu ostvareni mjerodavni rezultati provedenog trasiranja, prvenstveno radi ograničenog trajanja uzorkovanja vode na izvoru Čardak.

2.2. Strateške zalihe podzemne vode druge razine

Na području istočne Slavonije, u trokutu Velika Kapanica - Babina Greda - Sikirevci, nalaze se vodom bogate aluvijalno pjeskovito - šljunkovite naslage koje pripadaju **drugo** **razini strateških rezervi** podzemne vode. Naslage su zahvaćene zdencima u okviru crpilišta **Regionalnog vodovoda istočne Slavonije** koje je zamišljeno izgradnjom crpilišta na dvije lokacije, između Sikirevaca i rijeke Save (crpilište Sikirevci), te nešto sjevernije, između autoceste A3 i Gundinaca (crpilište Gundinci).

Crpilište Sikirevci, kao sastavni dio Regionalnog vodovoda istočne Slavonije, smješteno je istočno od Slavenskog Broda i zapadno od Slavenskog Šamca, između naselja Sikirevci i rijeke Save. Zadnja hidrogeološka istraživanja i istražna bušenja koja su prethodila puštanju crpilišta Sikirevci u pogon, provodila su se u razdoblju od 2005. do 2008. godine na dvije lokacije: područje između Sikirevaca i rijeke Save, te južno od Gundinaca (Hrvatski geološki

institut, 2005, 2008). Ukupno je izvedeno je 26 strukturno-piezometarskih bušotina (Geoistraživanje Osijek, 2005; 2006) i devet pokusno-eksploatacijskih zdenaca (Filbis, 2005; 2007).

Pet bušotina (SPB-1, SPB-2, SPB-3, SPB-4 i SPB-5) i jedan pokusno-eksploatacijski zdenac (Z-2) izvedeni su na lokaciji južno od Gundinaca, jedna bušotina (SPB-6) zapadno od Gundinaca, a 21 bušotina (SPB-7 do SPB-26) i osam zdenca (ZS-1 do ZS-8) na području između Sikirevaca i rijeke Save. Bušenje strukturno-piezometarskih bušotina izvedeno je rotacijskom bušilicom tipa Nordmeyer uz kontinuirano jezgrovanje. Profili istražnog bušenja iznosili su \varnothing 146 mm - \varnothing 131 mm. Bušenje je izvedeno na suho korištenjem zaštitnih kolona \varnothing 267 mm, \varnothing 219 mm, \varnothing 168 mm i \varnothing 133 mm. Piezometri su zacijevljeni pocinčanim cijevima i sitima omotan PVC mrežicom \varnothing 3".

Bušenje zdenca izvedeno je grabilicom uz istovremeno laviranje (zakretanje) zaštitnih kolona različitih profila. U bušotine je ugrađena zdenačka konstrukcija od punih inox cijevi promjera \varnothing 508/498 mm, te zdenačkih sita (spiralno motano „V“) \varnothing 508/498 mm s veličinom otvora $d = 2$ mm. Zdencima i piezometrima je vodonosnik zahvaćen s tri do četiri sita (filtra) na dubini od 25 do 75 m.

Tijekom navedenih istraživanja ispitivana je i kakvoća podzemne vode. Utvrđeno je da je na području između Sikirevaca i rijeke Save, gdje je danas crpilište, prirodna kakvoća podzemne vode dobra i kao takva se može pustiti u vodoopskrbni sustav, dok podzemna voda južno od Gundinaca sadrži visoke koncentracije željeza, mangana i arsena.

U skladu s rezultatima istraživanja formirano je crpilište Sikirevci, dok je lokacija Gundinci ostavljena za izgradnju crpilišta u budućnosti kako potrebe za vodom budu rastle. Crpilište Sikirevci je postalo sastavni dio Regionalnog vodovoda istočne Slavonije. U pogon je pušteno početkom 2009. godine crpljenjem podzemne vode iz tri zdenca. Danas se na crpilištu Sikirevci podzemna voda eksploatira iz četiri zdenca (ZS-2, ZS-3, ZS-4 i ZS-5). U zdence su ugrađene crpke izdašnosti 100 L/s. U razdoblju od puštanja crpilišta u eksploataciju do 2014. godine ukupna crpna količina prosječno je iznosila 178 L/s. Prosječne izdašnosti iz pojedinačnih zdenaca su bile: 29 L/s (ZS-2), 73 L/s (ZS-3), te 77 L/s (ZS-4). Zadnji zdenac ZS-5 u pogon je pušten u drugoj polovici 2013. godine i u tom kratkom razdoblju iz njega se crpilo prosječno 84 L/s podzemne vode. Ukupna crpna količina na crpilištu Sikirevci je planirana u količini od 1000 L/s. U budućnosti se planira i izvedba dodatnih zdenaca na lokaciji Gundinci. Do sada se razmatrala izvedba 8 zdenaca iz kojih bi se ukupno crpilo 1000 L/s podzemne vode.

Početkom 2014 godine načinjen je prijedlog zona sanitarne zaštite crpilišta u skladu s *Pravilnikom o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN 66/2011) i *Pravilnika o izmjenama Pravilnika o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN 47/2013) (Brkić & Briški, 2014). U sklopu izrade prijedloga zona sanitarne zaštite prikazan je tehnički opis vodozahvata na crpilištu Regionalnog vodovoda istočne Slavonije, analizirane su geološke značajke i hidrogeološki odnosi priljevnog područja, te utvrđene granice vodonosnika. Granice vodonosnika utvrđene su na osnovu matematičkog modela strujanja podzemne vode, kalibracijom modela, definiranjem izokrona 50-dnevnog (vanjska

granica II. zaštitne zone) i 25-godišnjeg (vanjska granica III. zaštitne zone) zadržavanja vode u podzemlju, te modelom pronosa onečišćujuće tvari.

Numerička simulacija strujanja podzemne vode kroz saturiranu zonu vodonosnika napravljena je primjenom MODFLOW koda koji se temelji na metodi konačnih diferencija. Definiranje priljevnog područja budućeg crpilišta i vremena zadržavanja čestica vode na putu kroz saturiranu zonu prema zdencima učinjeno je postupkom trasiranja čestica pomoću MODPATH programa, koji predstavlja nadogradnju na rezultate modeliranja strujanja podzemne vode.

Postupak kalibracije modela načinjen je za 4.5 godina rada crpilišta. To je razdoblje podijeljeno na 55 vremenskih koraka (55 mjeseci) za koje su definirani rubni uvjeti. Svaki korak dodatno je podijeljen na 10 vremenskih cjelina tijekom kojih su uvjeti na granicama modela ostali nepromijenjeni. Rubne uvjete predstavljale su mjesečne crpne količine i prosječna mjesečna infiltracija u odnosnim čvorovima. U kalibraciji je pozornost posvećena identifikaciji hidrauličke vodljivosti vodonosnika i krovinskih naslaga, te rubnih uvjeta.

Poznavanje vremena zadržavanja vode u podzemlju predstavlja važnu podlogu za procjenu posljedica od mogućeg onečišćenja podzemne vode i određivanje zona sanitarne zaštite crpilišta. Strujanje podzemne vode uvjetovano je hidrogeološkim značajkama vodonosnika, njegovim rubnim uvjetima, rasporedom zdenaca i crpnim količinama.

Pronos onečišćujućih tvari kroz vodonosnik zahvaćen u Sikrevcima i Gundincima razmotren je pomoću koncepta advektivno-disperzivnog pronosa. Raspadanje onečišćivala i kemijske reakcije nisu uzete u obzir što znači da je onečišćivalo razmatrano kao konzervativni obilježivač (traser). Takav obilježivač mogu biti npr. kloridi iz komunalnih otpadnih voda ili s prometnica kao posljedica soljenja cesta u zimskim mjesecima.

Za provedbu zaštite crpilišta predložene su dvije zaštitne zone. I. zona zaštite obuhvaća cijelu katastarsku česticu na kojoj se nalazi ili će se nalaziti pokusno-eksploatacijski zdenci. Druga zaštitna zona nije izdvojena jer vertikalni tok kroz krovinske naslage traje duže od 50 dana. Vanjska granica III. zaštitne zone odgovara približno 25-godišnjem zadržavanju vode u vodonosniku. Načinjena su dva prijedloga III. zaštitne zone. Jedan prijedlog se odnosi na slučaj rada samo crpilišta Sikirevci sa crpnom količinom od 1000 L/s, a drugi se prijedlog odnosi na slučaj rada oba crpilišta, i Sikirevci i Gundinci, oba sa izdašnosti od po 1000 L/s. Kod izrade prijedloga granice III. zona vodilo se računa da one prolaze putovima ili kanalima radi mogućnosti lakšeg označavanja i uočavanja oznaka.

Mjere zaštite crpilišta definirane su mjerama zabrana određenih aktivnosti unutar pojedinih zona u skladu s navedenim Pravilnikom (NN 47/2013). Osim njih predložene su i aktivne mjere zaštite koje su zastupljene motrenjem kakvoće i razina podzemne vode u priljevnom području crpilišta.

Na vodnogospodarskom području Donje Drave i Dunava pojavljuju se raznoliki hidrogeološki uvjeti koji uvjetuju mogućnost zahvaćanja podzemne vode i to s obzirom na dubinu i izdašnost vodonosnika. Najveće ukupne zalihe podzemne vode i najveće obnovljive količine podzemnih voda su u kvartarnim vodonosnicima u nizinskim predjelima odnosno na

području srednje Podravine i predstavljaju osnovicu razvitka vodoopskrbe (glavna crpilišta Lipovec-Koprivnica, Ivanščak, Delovi, Korijska-Virovitica i Medinci-Slatina). Ujedno predstavljaju strateške zalihe podzemne vode druge razine. Znatno dio područja prekriven je vodozaštitnim zonama crpilišta javne vodoopskrbe (Hlevnjak & Duić, 2013).

Područje srednje Podravine podudara se sa zapadnim dijelom dravske depresije, a proteže se od Koprivnice (legradskog praga) do iza Podravske Slatine. U zapadnim predjelima vodonosnik je pretežito izgrađen od šljunka i konglomeratičnog šljunka s proslojcima pijeska velike debljine. Mjestimice postoje značajne pojave praha i gline bilo kao primjese gruboklastičnih naslaga, bilo kao slojevi lokalnog i regionalnog raširenja. Debljina vodonosnog kompleksa naglo zadabljava istočno od legradskog praga i u najdubljim predjelima moguće premašuje 300 m. Idući prema istoku veličina prosječnog zrna opada, pa šljunci facijalno prelaze u pijeske, a broj i debljina polupropusnih prašinasto-glinovitih proslojaka raste. Vodonosnik je pretežito prekriven prašinastim i glinovitim slojem, debljina kojeg je vrlo neujednačena. U području između Koprivnice i Pitomače to je ponegdje samo humusni pokrov ili je vodonosnik prekriven živim pijescima. U nekim istočnim predjelima debljina pokrivača doseže i do 20 m. Postojećim zdencima zahvaćaju se naslage do oko 90 m dubine.

Vodonosnik je heterogen izražene anizotropije. Najplići vodonosni slojevi su otvorenog i poluzatvorenog tipa. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti kreću se u rasponu od oko 15 do 150 m/dan, a u prosjeku više vrijednosti prevladavaju u zapadnim, a niže u istočnim predjelima. Vrijednosti hidrogeoloških parametara kvartarnoga vodonosnika istraživani su na pojedinim crpilištima u području srednje Podravine. Kao karakterističnu vrijednost parametara vodonosnika može se navesti transmisivnost vodonosnika koja se kreće u rasponu od 30 m²/dan u južnim, rubnim područjima do preko 5000 m²/dan u središnjim dijelovima ovoga područja.

Dominiraju reduktivni uvjeti, ali se pojavljuju i oksidirane zone u rubnim predjelima pa sadržaj željeza opada znatno ispod, a mangana na ili nešto ispod dopuštenog sadržaja za pitku vodu.

Crpilište Lipovec - Koprivnica razvija se kao regionalno izvorište koprivničkoga vodoopskrbnog sustava, kao i nekih susjednih područja koja su deficitarna kvalitetnom vodom za vodoopskrbu. Izvorište se nalazi na jugoistočnoj periferiji koprivničkog područja i susjednih predjela općine Koprivnički Bregi. Ovo područje pripada rubnim područjima pridravske ravnice i to blago nagnutom, ocjeditom predjelu koje se naslanja na pristranke Bilogore i otvoreno je prema dolini Koprivničke Rijeke.

Istraživanja ovog crpilišta započela su prije devedesetih godina prošlog stoljeća, a prve istraživačke bušotine, na temelju kojih je predložena makrolokacija crpilišta Lipovec izvedene su u razdoblju od 1991. do 1993. godine, no nakon toga nastupio je određen zastoj sve do 2004. kada su istraživanja nastavljena. Tada je definirana lokacija crpilišta i izvedena su prva dva pokusno-eksploatacijska zdenca.

Crpilište Lipovec predviđeno je da se u konačnici sastoji od dvije baterije zdenaca. Jedna (u kojoj su do sada izvedena dva zdenca) bi se smjestila na lijevoj obali Koprivničke Rijeke, dok

bi druga, istočna bila pružanjem približno okomita na nju, a smjestila bi se između kanala Draganovac i Ivanačka.

U dosadašnjem razvтку crpilišta načinjena su dva pokusno-eksploatacijska zdenaca i 12 piezometarskih gnijezda u širem području crpilišta. Pokusno-eksploatacijski zdenci nalaze se u sklopu zapadne baterije zdenaca.

Piezometarska gnijezada formirana su na lokacijama istraživačkih bušotina tako da je u istraživačku bušotinu ugrađena piezometarska cijev kojom je zacijevljen glavni vodonosnik, a kraj takvoga dubokog piezometra izvedena je dodatna plitka bušotina bez jezgovanja u koju je ugrađen plitki piezometar sa sitom na dubini manjoj od 40 m.

Razvitak hidrogeoloških objekata postupno je napredovao s napretkom istraživanja, no u cjelini se može razlučiti u dva odvojena razdoblja koja predstavljaju cjelovite faze u razvitku ovoga crpilišta. Prva je u razdoblju od 1990. do 1993. godine, a druga od 2004 do 2005. godine. Prvoj fazi pripadaju radovi na izvedbi prvih pet bušotina i odnosnih piezometarskih gnijezda koji su započeli koncem 1990. godine s bušotinom KP-1 kraj naselja Štaglinec, a završili u ljeto 1993. godine kada je načinjena bušotina KP-5 kraj šume Žir uz rub Koprivničkih Brega. Svi ovi piezometri zacijevljeni su pocinčanim cijevima promjera 50 mm. Druga faza razvitka crpilišta obuhvatila je vrlo intenzivna istaživanja koja su provedena tijekom 2004. i 2005. godine. U prvom koraku je početkom 2004. godine načinjena novelacija rezultata ranijih istraživanja i razrađena koncepcija radova do izvedbe prvoga istraživačko-eksploatacijskoga zdenca na lokaciji zapadne baterije zdenaca. Potom su u drugoj polovici 2005. godine izvedene još dvije istraživačko-piezometarske bušotine. Bušotina KP-11, dubine 160 m, smještena je na položaju predviđenom za izvedbu drugoga zdenca, a bušotina KP-12 smještena je južnije od nje s ciljem istraživanja kakvoće vodonosnika i proširenja mreže opažanja podzemnih voda. Kraj njih je izvedena plitka piezometarska bušotina dubine oko 25 m (Urumović i dr., 2005).

Rješenje zahvata vodonosnika uvjetovano je nastojanjima da se osigura povoljna kakvoća podzemne vode i osiguraju uvjeti u kojima se maksimalno reducira izloženost i ugroženost zahvaćenih podzemnih voda. U tom je smislu zahvaćen drugi, donji vodonosnik i to u predjelima u kojima su dobro izraženi oksidativni uvjeti. Vodonosnik je izgrađen od šljunčanih naslaga u kojima se pojavljuje dosta pijeska, te nešto praškastih tvorevina, a u istraživanjima je načinjen veliki broj granulometrijskih analiza na temelju kojih je s jedne strane bilo moguće pouzdano odrediti primjeren izbor šljunčanoga zasipa i zdenačkoga sita, te procijeniti moguću izdašnost dobro izvedenoga zdenca.

Radovi na bušenju zdenca provedeni su kombiniranim metodama. Za uvodno zacijevljenje bušotina je izvedena kopanjem grabilicom, uz "laviranje" pomoćne, uvodne cijevi promjera 1000 mm. Tako je iskopano do 30,70 m dubine, a pomoćna cijev ugrađena je do 30,50 m dubine. Daljnje bušenje je nastavljeno reverznom metodom ispiranja kanala bušotine, a završeno je na dubini 125 m. Provedeno je pokusno crpljenje s crpnom količinom koja je varirala od 103-108,5 l/s. Tijekom crpljenja voda u zdencu opala je s inicijalne dubine od 11,44 m na dubinu od oko 17 m, pa je prema tome sniženje oko 5,6 m, specifična izdašnost zdenca oko $q=19$ l/s/m, a lokalna transmisivnost vodonosnika 4600 m²/dan.

Lokacija zdenaca ZL-2 smještena je blizu piezometarske bušotine KP-11. Radovi na izvedbi zdenca prvo su se provodili kopanjem uz "laviranje" pomoćne, uvodne cijevi promjera 1000 mm, a potom je bušeno reversnom metodom ispiranja bušotine. Bušenje je završeno na dubini 133 m. Provedenim pokusnim crpljenjem dobivena je lokakna transmisivnost vodonosnika od 4676 m²/dan, a hidraulička vodljivost od 85 m/dan.

Presudni čimbenik u prvim istraživanjima mogućega razvitka crpilišta Lipovec bili su kakvoća podzemne vode i uvjeti njenoga održanja u uvjetima intenzivne eksploatacije.

U ranijim istraživanjima kakvoća vode je procijenjena na temelju rezultata kemijskih analiza uzoraka uzetih iz 58 objekata u širem području Koprivničke Podravine. Radi se o 11 objekata koji su izvedeni, ili su podaci o njima korišteni u sklopu ranijih istraživanja širega područja potencijalnoga crpilišta Lipovec, te o 42 objekata o kojima su podaci preuzeti iz ranijih izvješća o izvedbi hidrogeoloških objekata u široj okolici. Osim podataka o uzorcima podzemne vode iz tih objekata, koji su poslužili za ocjenu "prirodne" kakvoće podzemnih voda u cijelom području Koprivničke Podravine, korišteni su i podaci iz 5 bušotina izvedenih na području odlagališta otpadaka istočno-jugoistočno od Pustakovca, na temelju kojih je ocijenjen utjecaj odlagališta na kakvoću podzemne vode.

Na temelju interpretacije rezultata kemijskih analiza podzemnih voda utvrđeno je da za njezinu kakvoću u široj regiji Koprivničke Podravine postoje prepoznatljivi utjecaji posljedica prirodnih uvjeta i antropogenih utjecaja.

Podaci kojima se raspolaže ukazuju na to da su ljudske aktivnosti bitno utjecale na kakvoću podzemnih voda u području Goričkog Pašnjaka, istočno-jugoistočno od Pustakovca, gdje se odlaže komunalni i dijelom industrijski otpad prikupljen s područja općine Koprivnica. Tu je neprijeporno utvrđeno vrlo jako onečišćenje podzemnih voda, a onečišćenja se kreću u smjeru tečenja podzemne vode, tj. od jugozapada prema sjeveroistoku. Za vrijeme tečenja odvijaju se kompleksni procesi zadržavanja (filtracija, taloženje iz otopine, sorpcija, disperzija i dr.), tako da se već nakon relativno kratkog puta od oko 300 m, koliko iznosi udaljenost između opažanih bušotina na Pustakovcu, koncentracije pojedinih komponenti višestruko smanjuju. Kako procesi slabljenja onečišćenja u pravilu djeluju tako da se koncentracija onečišćivača eksponencijalno smanjuje sa udaljenošću od izvora zagade, s velikom sigurnošću je ocijenjeno da se utjecaj odlagališta otpada potpuno gubi na 1 do 2 km od odlagališta gledano u smjeru tečenja, a bočno i na znatno manjim udaljenostima.

Na moguće onečišćenje, ali znatno manjega intenziteta, ukazuju i rezultati analize uzorka vode iz bušotine P-49 istočno od Torčeca. U prilog tome govori visoka koncentracija nitrata (44,4 mg/l), te relativno visoke koncentracije klorida i sulfata u odnosu na vodu iz drugih objekata.

Na temelju korištenih rezultata analiza podzemne vode zaključeno je da su glavni "prirodni" čimbenici slabije kakvoće vode u pojedinim predjelima povećane koncentracije slobodnoga amonijaka, željeza i mangana, tj. sastojaka koji karakteriziraju redukcijske uvjete. Da li će u nekom vodonosniku vladati redukcijski ili oksidacijski uvjeti u najvećoj mjeri ovisi o njegovom nastanku. Na području Koprivničke Podravine u geološkoj prošlosti postojale su dvije sedimentacijski različite sredine. Tako se u području Legradskog praga u pravilu nalazi

podzemna voda s vrlo različitim koncentracijama amonijaka, željeza i mangana. U zoni depresije u prostoru između naselja Cvetkovec-Subotica-Torčec-Imbrovec-Cvetkovec njihove koncentracije su vrlo visoke. Nasuprot tome, izrazito oksidacijski uvjeti nalaze se na crpilištu Lipovec, koje je smješteno na najizrazitijem izdugnuću uz sam jugoistočni rub Legradskoga praga. Podzemna voda s područja crpilišta Lipovec ne sadrži niti jednu komponentu u koncentracijama iznad MDK.

Općenito se može zaključiti da su rezultati ranije raspoloživih podataka ukazivali da na području istočno od Koprivnice povoljniju kakvoću imaju podzemne vode iz dubljega dijela naslaga, odnosno uvjetno rečeno iz drugoga vodonosnika. To se posebice odnosi na sadržaj željeza i mangana, te na komponente koje su posljedica prodora onečišćenja s površine terena.

Istraživanja provedena u širem području potencijalnoga crpilišta Lipovec u razdoblju od 1990. do 1993. godine bila su usmjerena upravo na donji vodonosnik, no analize su obuhvatile cjelokupni vodonosni sustav i s tim ciljem su izvedena piezometarska gnjezda u kojima je posebice zacjevljen donji vodonosnik dubokim piezometrima, a posebice gornji izvorni sloj pomoću plitkih piezometara, pa su i kemijske analize vode rađene za oba vodonosnika.

Na vrlo dobru kakvoću podzemne vode ukazuje i podatak da je za vodu iz zdenca ZL-2 dobiven certifikat za "Izvorsku vodu" (Hlevnjak & Duić, 2010).

Za crpilište Lipovec načinjene su zone sanitarne zaštite i usklađene sa novim Pravilnikom (Hlevnjak i dr., 2014).

Crpilište Ivanščak je smješteno sjeverno od Koprivnice, između željezničke pruge za Botovo i ceste za Koprivnički Ivanec. Istraživanja crpilišta Ivanščak su potaknuta povoljnim rezultatima na izvedbi zdenaca za okolne industrijske pogone. Kasnija hidrogeološka istraživanja su potvrdila da je lokacija crpilišta povoljno izabrana u smislu kakvoće podzemne vode crpilišta i male udaljenosti od mjesta potrošnje. Prva istraživanja postojećeg crpilišta Ivanščak provedena su 1973. godine, a provedena su geoelektrička mjerenja i otvaranje strukturno piezometarskih bušotina. Osobina vodonosnika je da je on otvorenog tipa a formiran je u kvartarnom aluvijalnom nanosu šljunka i pijeska koji se prostire od 8,0– 40,0 m i pokriven je slojem praha i prašinate gline. Na crpilištu je izvedeno ukupno 5 zdenaca. Osnovno obilježje podzemne vode na crpilištu Ivanščak je da ona zadovoljava kriterije pitke vode, pa nije potrebna njena preradba prije upuštanja u distribucijski sustav i vodoopskrbnu mrežu (Hlevnjak & Duić, 2012).

Za crpilište je tijekom 2014. godine izrađen Elaborat o zonama sanitarne zaštite u skladu s novim pravilnikom (Hlevnjak i dr. 2014).

Crpilište Delovi koristi se za vodoopskrbu Bjelovara i predstavlja izvorište u porječju Drave iz kojeg se vode prevode u deficitarni dio porječja Save. Smješteno je na južnom rubu sela Delovi, između Koprivnice i Đurđevca, a zahvaća aluvijalni vodonosnik koji se sastoji od šljunka s različitim postotkom pijeska. Na dubini između 38 i 44 m pojavljuje se heterogeni proslojak niže propusnosti, izgrađen od pijeska s nešto praha i gline. U dubljim dijelovima

ponovo dolaze šljunci s pijeskom. Ukupna debljina vodonosnog kompleksa ovdje vjerojatno iznosi preko 100 m. U krovini vodonosnika pojavljuje se glina, prah te zaglinjeni pijesak i šljunak debljine oko 10 m. Šljunčani slojevi se kontinuirano rasprostiru do Drave, a pokrovni glineno - prašnasti pokrivač sve je tanji idući od obronaka Bilogore prema Dravi.

Istraživanja crpilišta započeta su u 1959. godini. Načinjeno je 7 istraživačkih bušotina do 50 m, na temelju kojih je odabrana lokacija crpilišta. U 1959. i 1960. godini načinjena su dva pokusna zdenca udarnom metodom bušenja dubine 25,5 i 42,0 m. Pokusno crpljenje vršeno je s količinom od 5 do 20 l/s. Oko zdenaca na udaljenosti od 5 do 80 m ugrađeno je 4 ili 5 piezometara. U 1962. godini načinjena su tri eksplataciona zdenca bušena reversnom metodom, dubine 30 m. Pokusno crpljenje je vršeno u koracima od 20 do 60 l/s. Prilikom svih pokusnih crpljenja vršena su opažanja razine podzemnih voda. Rezultati pokusnih crpljenja zdenaca pokazali su da uz prosječnu izdašnost $Q=60$ l/s i sniženje $s=2$ m, specifična izdašnost na svim zdencima je jednaka i iznosi $q=2,25$ l/s/m'. Budući da se sadržaj željeza u vodi kretao od 2 do 4 mg/l, što je znatno iznad dopuštene količine izgrađen je 1969. godine uređaj za deferizaciju kod sela Javorovac na udaljenosti oko 8 km od crpilišta, na obronku Bilogore.

Tijekom eksploatacije izdašnost zdenaca je opadala, pa su tijekom 1983. godine načinjene dvije strukturno-piezometarske bušotine O-4 i O-5, dubina 150,0 i 80,0 m, a na temelju rezultata bušenja i ispitivanja ovih bušotina izvedena su reverznom metodom 1985. godine i dva nova zdenca B-4 i B-5, dubina 87,0 odnosno 88,0 m. Srednja vrijednost koeficijenta filtracije, dobivena na temelju pokusnog crpljenja zdenaca B-4 i B-5, iznosi 2×10^{-3} m/s odnosno $2,6 \times 10^{-3}$ m/s, a transmisivnost $8,40 \times 10^{-2}$ m²/s odnosno $9,97 \times 10^{-2}$ m²/s. Površinski sloj ima vrijednosti koeficijenta filtracije između $2,5 \times 10^{-6}$ i 10^{-5} m/s, pa se može smatrati dobrom zaštitom zahvaćenom kvartarnom vodonosniku. Maksimalna crpna količina zdenca B-4 je 80,0 l/s uz sniženje 1,44 m, a maksimalna crpna količina zdenca B-5 je 84,8 l/s uz sniženje 1,40 m. Postignuta je specifična izdašnost od 55,5 – 60,6 l/s/m. Za vrijeme pokusnog crpljenja uzeti su uzorci vode za kemijske analize.

Za kakvoću podzemnih voda karakteristična je izmjena oksidativnih i reduktivnih uvjeta. Pri pokusnim crpljenju zdenaca sadržaj željeza otopljenog u podzemnoj vodi registriran je samo u tragovima, no u eksploataciji sadržaj željeza se pojavio u iznosu znatno većem od dopuštenog. Zaštita crpilišta od mogućeg onečišćenja nije osigurana. Analize vode iz uzoraka uzetih pri kraju crpljenja zdenaca B-4 i B-5 pokazuju povećan sadržaj željeza na zdencu B-4. Zbog ugroženosti crpilišta od onečišćenja i nepovoljne kakvoće vode vjerojatno ne bi bilo racionalno povećanje crpnih količina na postojećoj lokaciji.

Prva promišljanja sustavnog razvitka regionalnog vodoopskrbnog sustava Virovitice započeta su 1992. godine, a polazila su od postavki da će postojeće **crpilište Bikana** najmanje u slijedećem srednjoročnom razdoblju predstavljati jedini izvor vodoopskrbnog sustava, a da je alternativno regionalno izvorište nužno istražiti i osigurati znatno prije realne potrebe njegovog uključivanja u vodoopskrbni sustav. Ove početne postavke bile su nazočne ne samo u promišljanjima nego i u provedbi razvitka crpilišta Bikana i istraživanja novog regionalnog crpilišta, a također i u procesu projektiranja cjelokupnog vodoopskrbnog sustava na lokalnom i regionalnom planu.

Na crpilištu Bikana su zdenci dubine do 60 m, kojima su ostvareni relativno povoljni rezultati, pa je jedino ograničenje ovoga crpilišta bio njegov smještaj na rubu grada i suženi prostor razvoja. U postupku kalibracije matematičkog modela, koji se inače odvijao uz izuzetno malo čvrstih pokazatelja kako o geometriji vodonosnika tako i o rubnim uvjetima, uočena je ipak jedna važna anomalija na području crpilišta Bikana koje se mogla jedino tumačiti tzv. parcijalnom penetracijom ili pojednostavljeno rečeno da najpropusniji dio vodonosnika zaliježe znatno ispod dubine postojećih zahvata. Zbog toga je predložena, prihvaćena i osvarena izvedba dviju istraživačke bušotina dubine 120 m na samom crpilištu, a zatim i dvaju pokusno-eksploatacijskih zdenaca kojim je zahvaćen vodonosnik ispod onih dubina ranije izgrađenih zdenaca. Konačni rezultati mogu se dostatno ilustrirati činjenicom da je specifična izdašnost novih zdenaca preko 60% veća od najboljih ranije načinjenih zdenaca i da takvi novi zdenci mogu imati dvostruko veću eksploatacijski izdašnost od postojećih. Time se maksimalna eksploatacijska izdašnost ovoga crpilišta bitno povećava što ima utjecaja na razvoj izvorišta vodoopskrbnog sustava.

Prva analiza izbora položaja novog regionalnog crpilišta načinjena je u okviru 1997. godine kada su postavljene dvije inačice položaja novoga regionalnog crpilišta, i to u nizinskom predjelu, sjeverno od naselja Korija, gdje se očekivala raspoloživa količina vode koja premašuje realne potrebe i u dugoročnom razvitku Virovitice, ali je voda takve kakvoće da ju je nužno kondicionirati prije uporabe za vodoopskbu, prvenstveno misleći na povišeni sadržaj željeza i u istočnim predjelima pitomačke terase (zapadno od Lozana) koja se postavljala zanimljivom u koliko je moguće pridobivanje podzemne vode takve kakvoće da ju je moguće bez preradbe uključiti u vodoopskbn sustav (Urumović & Hlevnjak, 1997).

Istraživanja su zahvatila oba područja i to izvedbom istraživačkih bušotina - Korija, K-1 i K-2 i Lozan, L-1 i L-2, ali i interpretaciju svih raspoloživih podataka o litološkom razvitku naslaga i kakvoći podzemne vode. Pokazalo se da svi raspoloživi podaci nisu bili istoznačni. Gledajući unatrag, postojali su određene informacije koje su unosile optimizam o takvoj kakvoći podzemnih voda na pitomačkoj terasi pri kojoj ne postoji povišen sadržaj željeza i pratećih sastojaka koje je nužno ukloniti prije uključivanja u vodoopskbu. Tome su u prilog govorile kako analize vode iz istraživačko-piezometarskih bušotina L-1 i L-2, tako i kemijske analize vode iz zdenaca crpilišta Špišić Bukovica. Nedoumicu u tome unosile su neke anomalije glede sadržaja amonijaka kao indikatora određene reduktivnosti sredine pri kojoj se ipak može pojaviti povišeni sadržaj željeza i posebice mangana. Dodatni podaci o ovome problemu prikupljeni su istražujući crpilište za vodoopskbu Pitomače. Tom prigodom izvedene su dvije istraživačko-piezometarske bušotine (PP-1 i PP-2) i kemijske analize vode iz obje ove bušotine ukazivale su na kakvoću vode koju je bez prerade moguće koristiti za vodoopskbu. Prigodom izvedbe i pokusnog crpljenja zdenca ZP-1 smještenog kraj bušotine PP-1 načinjen je veći broj kemijskih analiza vode koje su sve pokazale da se radi o vodi izuzetno povoljne kakvoće za ove predjele, međutim ipak se pojavljuje nešto povišeni sadržaj mangana, koji pokazuje kako je potrebno kondicioniranje vode (Urumović & Hlevnjak, 1997). Što se tiče velikog regionalnog crpilišta zanimljiv je još podatak o sadržaju prirodnog amonijaka, koji sam po sebi ne bi morao biti toliko problematičan, ali bi njegov sadržaj u regionalnom sustavu i pri dalekoj distribuciji vode do potrošača mogao generirati probleme zbog prelaska u nitrite. Ti su rezultati bitno umanjivali mogućnost izvedbe regionalnog izvorišta Virovitičkog vodoopskrbnog sustava na području pitomačke terase s vodom koja bi se bez preradbe mogla uključiti u sustav.

Na temelju tih rezultata izbor lokacije novog crpilišta okrenut je drugim kriterijima: slobodni prostor, primjereni litološki razvoj naslaga, uvjeti zaštite i udaljenost od mjesta maksimalne potrošnje. U tom smislu izabrano je područje između naselja Korija i Bušetina, u širem području istraživačke bušotine K-2, gdje je izvedena i nova bušotina K-3 (Urumović & Hlevnjak, 1998).

U nastavku istraživanja ovog crpilišta izvedena su tijekom 2012. godine dva piezometarska gnijezda, a prikupljeni podaci potvrdili su ujednačenost najpovoljnijeg dijela vodonosnika, pa se prema tome izbor mikrolokacije crpilišta, odnosno vodozahvatnih zdenaca može odrediti ovisno o uvjetima otkupa, odnosno rezerviranja zemljišta i općim razvojnim planovima područja (Hlevnjak & Duić, 2012). Tijekom 2013. godine **na crpilištu Korija** izveden je prvi istraživački zdenac (Hlevnjak & Duić, 2013). Vodonosnik je zahvaćen u intervalu od oko 45 do 91 m, a dubina bušenja iznosila je 95 m. Bušenje se provodilo reverznom metodom uz ispiranje rijetkom bentonitnom isplakom, dlijetom promjera 800 mm. Provedenim osvajanjem i pokusnim crpljenjem zdenac je osvojen do izdašnosti $Q = 123$ l/s, pri kojoj izdašnosti je sniženje razine vode iznosilo $s = 5,5$ m, a specifična izdašnost $q = 22,4$ l/s/m. Lokalna transmisivnost vodonosnika iznosi 9220 m²/dan, hidraulička vodljivost 123 m/dan. Kao maksimalna crpna količina može se uzeti ona koja u kratkotrajnom razvitku ostvari sniženje od 7 m i iznosila bi $Q_{\max} = 145$ l/s, a kao optimalna je preporučena izdašnost zdenca od $Q_{\text{opt}} = 80-100$ l/s.

U preliminarnom dizajniranu crpilišta predpostavljen je pravocrtni razvoj zdenaca između Korije i Bušetine približno duž postojećeg kolnog puta. Predviđen je pravocrtni poredak zdenaca s međusobnom udaljenosti susjednih zdenaca oko 200 m, a za zahvat predviđeni su vodonosni slojevi na intervalu od oko 50 do 85 m dubine. Predpostavljena je mogućnost izvedbe 7 zdenaca pojedinačne izdašnosti od 80 l/s, odnosno ukupna instalirana izdašnost crpilišta od 560 l/s.

Za kakvoću podzemne vode karakteristični su reduktivni uvjeti vodonosne sredine u kojima se pojavljuje povišeni sadržaj željeza, mangana, slobodnog prirodnog amonijaka i pratećih elemenata. Treba istaknuti vrlo niski sadržaj nitrata u analizama iz zdenaca, koji je vrlo blizak uobičajenom fosilnom sadržaju, tj. ne zapažaju se tragovi antropogenih utjecaja.

Crpilište Medinci nalazi se istočno od naselja Medinci između magistralne ceste Slatina - Donji Miholjac i njenoga odvojka za selo Grabić. Na crpilištu je izgrađeno ukupno pet zdenaca. Prvi pokusno eksploatacijski zdenac B-1 načinjen je 1973. godine, a smješten je oko 60 m od ovih prometnica. Zdenac je izbušen do dubine 72 m. Pokusnim crpljenjem zdenca maksimalno sniženje razine vode u zdencu na koncu crpljenja iznosilo je 2,32 m, odnosno postignuta je specifična izdašnost od 18,2 l/s/m. Zdenac nije u upotrebi. Drugi eksploatacijski zdenac B-2 načinjen je 1981. godine, oko 230 m zapadno od zdenca B-1. Treći zdenac B-3 načinjen je 1987. godine, oko 180 m sjeverozapadno od zdenca B-2, s druge strane lokalne prometnice Medinci - Gabrić. Zdenac je izbušen reverznim načinom bušenja promjera 1000 mm do 70 m dubine. Maksimalno sniženje razine vode u zdencu postignuto na koncu crpljenja iznosilo je 5,36 m, pa je prema tome postignuta specifična izdašnost od 10,4 l/s/m. Kao optimalna izdašnost zdenca navodi se $Q_{\text{opt}} = 76$ l/s. Tijekom 2003. godine zapaženo je pjeskarenje zdenca B-2, pa je u njegovoj blizini načinjen zamjenski zdenac. Zdenac je izbušen do dubine 76 m. Maksimalno sniženje razine vode u zdencu postignuto tijekom crpljenja

iznosilo je 5,53 m, odnosno postignuta je specifična izdašnost od 13,92 l/s/m. Provedenom interpretacijom pokusnog crpljenja procjenjene su vrijednosti parametara vodonosnika i zdenca. Kao optimalna izdašnost zdenca preporučeno je $Q_{opt}=76$ l/s. Posljednji zdenac Z-4 izveden je tijekom 2012. godine reversnom metodom bušenja. Zdenac je osvojen do maksimalne izdašnosti $Q=80$ l/s, pri čemu je sniženje u zdencu iznosilo $s=4,94$ m, pa je specifična izdašnost iznosila 16,2 l/s/m. Vrijednost transmisivnosti vodonosnika iznosi 1844 m²/dan, dok ekvivalentna hidraulička vodljivost iznosi 31 m/dan. Predviđena optimalna eksploatacijska izdašnost zdenca je $Q_{opt}=60$ l/s.

Za prirodnu kakvoću podzemnih voda karakteristični su redukcijski uvjeti koji su posljedica taloženja naslaga u močvarnoj sredini. U takvim je uvjetima povišen sadržaj željeza, mangana i fosilnog amonijaka. Prema svim kemijskim analizama, od onih provedenih tijekom pokusnih crpljenja prvih zdenaca do recentnih analiza, izražena je stabilnost kakvoće podzemne vode do te mjere se razlike u podacima između istraživačke faze i recentnog stanja mogu prije pripisati problemima laboratorija nego promjeni kakvoće podzemne vode, visoki sadržaj željeza i mangana, povišena oksidativnost podzemne vode kao posljedica reduktivnih uvjeta taloženja vodonosnih naslaga i niski sadržaj nitrata u podzemnoj vodi. Sadržaj nitrata blizak je prirodnom sadržaju, što upućuje na zaključak da ranija gnojidba poljoprivrednih površina nije izazvala zamjetniju degradaciju kakvoće podzemne vode, a što je jamačno povezano i s purifikacijskim učincima pripovršinskih polupropusnih naslaga.

Na crpilištu su određene zone sanitarne zaštite i usklađene sa novim Pravilnikom (Hlevnjak & Duić, 2013).

Za potrebe navodnjavanja načinjena na vodnogospodarskom području Donje Drave i Dunava, pa stoga i srednje Podravine, podloga na osnovu koje je procijenjena mogućnost zahvaćanja vode unutar ovog područja (Hlevnjak & Duić, 2013). U tom cilju objedinjeni su svi raspoloživi podaci i podloge sa ovoga područja. Temeljem toga, cijelo se područje podijelio u zone s procjenom dubine i izdašnosti vodonosnika, a ujedno su se izdvojila područja u kojima je mogućnost zahvaćanja podzemne vode za potrebe navodnjavanja vrlo mala, odnosno zanemariva. To je rezultiralo izradom zemljovida s prikazom perspektivnosti i procjenom izdašnosti područja, te prikazom zona sanitarne zaštite u kojima je zahvaćanje podzemne vode ograničeno.

2.3. Strateške zalihe podzemne vode treće razine

U nastojanju osiguranja dovoljnih količina pitke vode za vodoopskrbu Zagreba do sada je na području aluvijalnog vodonosnika **na širem području Zagreba (CPV Zagreb)** načinjen veliki broj istraživanja. Osim brojnih bušenja načinjeno je i nekoliko matematičkih modela strujanja podzemne vode te model pronosa onečišćenja. Kakvoća podzemne vode sustavno se prati na postojećim crpilištima. Pri tome se znatno veća pozornost posvećuje antropogenom utjecaju na podzemnu vodu, pa se redovito prate isključivo oni pokazatelji koji mogu upućivati na neko onečišćenje. Međutim, prirodni hidrogeokemijski uvjeti u vodonosniku, točnije elementarni kemijski sastav podzemne vode, a posebice prirodni i radioaktivni izotopi koji omogućavaju ocjenu napajanja i dinamike podzemne vode u vodonosniku započeli su se istraživati koncem 2000 godine. Detaljna hidrogeokemijska istraživanja u aluvijalnom

vodonosniku uključila su analizu elementarnog kemijskog sastava podzemne vode i izotopska istraživanja, s ciljem bitnog povećanja hidrogeoloških saznanja u funkciji korištenja i zaštite aluvijalnog vodonosnika na širem području Zagreba (Brkić i dr., 2003). Dobiveni rezultati poslužili su kao dobra podloga za daljnje upravljanje podzemnim vodnim resursima na zagrebačkom području.

Istraživanja su uključila interpretaciju uslojenosti (stratificiranosti) vodonosnika s obzirom na hidrogeokemijske uvjete u pojedinim zonama vodonosnika, određivanje vremena zadržavanja vode u podzemlju, ocjenu porijekla i dinamike napajanja vodonosnika, te interpretaciju prirodnog i antropogenog utjecaja na kakvoću podzemne vode.

U prvoj fazi su prikupljeni podaci na oko 870 bušotina izvedenih tijekom proteklih 30-ak godina, na osnovi kojih je načinjena karta prostiranja šljunkovito-pjeskovitog vodonosnika, te uzdužni i karakteristični poprečni profili. Temeljem ovih radova izabrano je 30-ak lokacija piezometara na širem području Zagreba za praćenje temperature i elektrolitičke vodljivosti podzemne vode po dubini vodonosnika, 16 piezometara za praćenje osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja kakvoće vode, 6 piezometara za određivanje elementarnog sastava podzemne vode i DOC-a, te 9 piezometara i rijeka Sava za izotopne analize podzemne vode. U drugoj fazi istraživanja, koja je trajala od sredine 2001. do sredine 2002. godine, uzeta su po četiri uzorka podzemne vode za osnovne fizikalno – kemijske pokazatelje kakvoće vode, po dva uzorka za određivanje elementarnog sastava podzemne vode i DOC-a, po dva uzorka za određivanje specifične aktivnosti ^{14}C , te po četiri uzorka za određivanje ostalih izotopa (^3H , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$) u podzemnoj vodi. Rezultati istraživanja pokazali su vrlo zanimljive podatke u istočnom zagrebačkom području, između Kosnice i Črnkovca, ali nedostatne za preciznije zaključke. Stoga, u trećoj fazi istraživanja radovi su bili usmjereni na istraživanje aluvijalnog vodonosnika na području između Petruševca, Kosnice i Črnkovca. Istraživanja u ostalim dijelovima zagrebačkog vodonosnika u ovoj fazi više nisu bila potrebna, jer su već protekla hidrogeokemijska istraživanja dala dovoljno podataka za hidrogeološku interpretaciju tog dijela zagrebačkog vodonosnika. Hidrogeokemijska istraživanja na navedenom području sastojala su se od mjerenja temperature i elektrolitičke vodljivosti vodonosnika in situ, koja su već do sada pokazale vrlo zanimljive podatke o vremenskoj raspodjeli vrijednosti temperature po dubini vodonosnika provedenim u protekloj fazi. U opažačku mrežu uključeni su i novi piezometri koji nisu bili praćeni u protekloj fazi. Uzorci podzemne vode uzimani su za analize fizikalno-kemijskih, kemijskih i izotopnih pokazatelja. Uzorci za analizu osnovnih fizikalno-kemijskih pokazatelja podzemne vode uzimani su na devet piezometara i iz rijeke Save (dva puta u 2002. i dva puta u 2003.), za analizu izotopa ^3H , $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ također na devet piezometara i iz rijeke Save (dva puta u 2002. i dva puta u 2003.), za određivanje specifične aktivnosti ^{14}C na četiri piezometra i rijeke Save (jedan put u 2002. i jedan put u 2003.), za otopljeni organski ugljik na četiri piezometra i za elementarni sastav podzemne vode na šest piezometra (po jedan put u 2002. i jedan put u 2003.). Uzorci podzemne vode za analize uzimani su u različitim hidrološkim uvjetima. U istraživanja su bili uključeni i piezometri ČDP-9/1, ČDP-9/2 i ČDP-9/3 na Kosnici, ČDP-23/1, ČDP-23/2 i ČDP-23/3 kod Črnkovca, te PP-18/20, PP-18/40 i PP-18/90 na Petruševcu. Istraživanja su se provodila po dubini vodonosnika (do oko 85 m dubine) jer se ovi piezometri nalaze na istim lokacijama, ali svaki od njih zahvaća drugi interval vodonosnika.

Ovim istraživanjem obrađeni su i podaci o kakvoći podzemne vode, od 1999. do 2001. godine, na svim zagrebačkim crpilištima, uključivši i crpilište Velika Gorica i napuštene Gradske zdence. Obradom podataka o kakvoći podzemne vode pokazani su antropogeni utjecaji na kakvoću vode, te raspodjela kroz duže vremensko razdoblje.

Rezultati istraživanja omogućili su bolju interpretaciju uslojenosti vodonosnog kompleksa s obzirom na hidrogeokemijske uvjete u pojedinim zonama vodonosnika, ocjenu vremena zadržavanja vode u podzemlju i napajanja vodonosnika.

Zone sanitarne zaštite vodocrpilišta na području Grada Zagreba određene su tijekom 2005. godine za sedam vodocrpilišta: Mala Mlaka, Petruševac, Sašnjak, Žitnjak, Zapruđe, Stara Loza i Ivanja Reka, a u skladu s *Pravilnikom o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN 55/02) (Bačani i dr, 2005). Zone su određene na temelju postojećeg fonda podataka budući da je za određivanje zona sanitarne zaštite crpilišta i ponašanja unutar zona bitno odrediti sliv izvorišta, brzinu toka podzemne vode, kakvoću podzemne vode i postojanje onečišćivača, a to su elementi koji su za zagrebački vodonosni sustav određeni na temelju realnih mjerenja i analiza. U cilju određivanja druge i treće zaštitne zone vodocrpilišta kreiran je model trasiranja čestica. Na osnovu rezultata modela toka i prostorne raspodjele efektivne poroznosti kreirana je raspodjela efektivnih brzina toka podzemne vode za svaki vremenski (stresni) period u domeni modela toka. Koristeći rezultate simulacija trasiranja čestica izvršila se delineacija II i III zone zaštite vodocrpilišta grada Zagreba kako je to definirano Pravilnikom. Za izradu prijedloga I zone zaštite korišteni su katastarski planovi (M 1:1000). U izvješću se upozorava na negativni trend razina u slivovima velikih crpilišta što potvrđuje i negativan rezultat bilance dinamičkih količina vode koja ulazi i izlazi iz sustava. Što se tiče kakvoće podzemne vode generalni pokazatelji iz kemijskih i bakterioloških analiza vode nakon prerade i dezinfekcije pokazuju da je kakvoća vode na zdencima uglavnom u skladu s odredbama iz Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN, br. 182/04) te da zadovoljava kriterije prema MDK vrijednosti za pitku vodu. Međutim, analize sirove vode na zdencima pokazuju drastičnije rezultate jer praktički na svim crpilištima i u priljevnim područjima postoje uzlazni trendovi pojedinih parametara kakvoće u vremenu, a neki od parametara su konstantno viši čak i od MDK za pitke vode. Stoga je nužno trenutno sanirati sve postojeće izvore onečišćenja koji se nalaze u priljevnim područjima crpilišta, a prioritarno u okviru druge zone sanitarne zaštite. Smatra se da je neophodno izvršiti definiranje zona sanitarne zaštite crpilišta Velika Gorica, jer to crpilište sa crpilištem Mala Mlaka čini jednu tehnološku cjelinu.

U okviru vodoistražnih radova za potrebe implementacije Okvirne direktive o vodama u dijelu koji se odnosi na kvantitativno stanje voda na zagrebačkom i samoborskom području (CPV Zagreb) analizirane su stalne i obnovljive zalihe podzemne vode (Bačani & Posavec, 2009). Stalne zalihe podzemnih voda analizirane su u razdoblju posljednjih 30 godina i to za godine 1977., 1987., 1997. i 2007. dok su obnovljive zalihe analizirane u razdoblju od 1997. do 2007. godine. Osim recentnog kvantitativnog stanja podzemnih voda, ovom analizom identificirani i trendovi stalnih i obnovljivih zaliha podzemne vode.

Procjena stalnih i obnovljivih zaliha podzemne vode napravljena je za cjeline podzemnih voda na području zagrebačkog i samoborskog vodonosnika, te posebno i za cijeli zagrebački i samoborski vodonosnik koji se sastoji od prvog i drugog vodonosnog sloja i ona predstavlja

realno i inženjerski upotrebljivo stanje raspoloživih količina podzemne vode na području zagrebačkog i samoborskog vodonosnika. Također je načinjena i procjena obnovljivih zaliha podzemne voda na području Vukomeričkih Gorica, načinjena je usporedba procijenjenih obnovljivih zaliha podzemne vode na zagrebačkom i samoborskom području s crpnim količinama zagrebačkih crpilišta u analiziranim godinama, te je definirano kvantitativno stanje voda na zagrebačkom i samoborskom području koje je podijeljeno u četiri cjeline (identifikacija udjela crpljenja na zagrebačkim crpilištima na promjenu razine podzemne vode, identifikacija utjecaja promjene korita Save na promjene razina podzemne vode, izrada karte ocjene kvantitativnog stanja podzemne vode prema Okvirnoj direktivi o vodama EU).

Rezultati istraživanja kvantitativnog stanja podzemne vode na području grada Zagreba, na kojem se nalaze neprocijenjivo važne zalihe podzemne vode, pokazali su da su se razine podzemne vode u razdoblju od 1950. godine do danas u prosjeku snižavale $1\div 2$ m svakih 10 godina. Razlozi opadanja razina su (1) snižavanje korita rijeke Save koje je najvećim dijelom uzrokovano izgradnjom akumulacija na Savi uzvodno od Zagreba, regulacijom pritoka i šljunčarenjem iz korita, (2) sve veća eksploatacija podzemne vode za potrebe vodoopskrbe Grada Zagreba, te (3) izgradnja nasipa za obranu od poplava duž rijeke Save koji su spriječili povremena plavljenja zaobalnog područja, a time i potencijalnu infiltraciju vode s poplavljenih područja u vodonosnik. Ustvrdeno je da uzvodno od vodnih stuba TE-TO Zagreb, razina podzemne vode je viša nego što bi bila da vodnih stuba nema, s time da je utjecaj najveći u neposrednoj blizini vodnih stuba i iznosi nešto više od 3 m, a kod podsusedskog praga se približava nuli.

Tijekom sušnih razdoblja razina podzemne vode se spušta ispod kota gornjeg ruba filtra u zdencima crpilišta Mala Mlaka, Zapruđe i Sašnjak čime se izdašnost ovih crpilišta smanjuje. Na crpilištima Petruševac, Žitnjak i Velika Gorica kote gornjeg ruba filtra u zdencima su prosječno nekoliko metara ispod minimalnih razina podzemne vode što osigurava nesmetano crpljenje u narednih dvadesetak godina uz uvjet zadržavanja istog trenda snižavanja razina podzemnih voda.

Godišnje ukupne količine crpljenja svih zagrebačkih crpilišta premašuju godišnje obnovljive zalihe podzemnih voda što znači da se zagrebački vodonosnik „precrpljuje“. Volumen obnovljivih zaliha podzemne vode od 1997. do 2007. godine u prosjeku je iznosio oko $107 \times 10^6 \text{ m}^3$ dok je crpljenje u tom istom razdoblju u prosjeku iznosilo oko $125 \times 10^6 \text{ m}^3$. Dio crpne količine koji premašuje obnovljive zalihe nadoknađuje se iz stalnih, neobnovljivih zaliha. Volumen stalnih zaliha je 1977. godine iznosio $1,81 \times 10^9 \text{ m}^3$, a 2007. godine $1,68 \times 10^9 \text{ m}^3$ što znači da se u tridesetak godina smanjio za oko 7%.

Zaključno se može reći da su ukupne količine podzemnih voda u zagrebačkom vodonosniku relativno velike, međutim prisutnost negativnog trenda razina podzemnih voda i precrpljivanje vodonosnika zahtijevaju oprez što podrazumijeva kvalitetan monitoring, ali i sustavnu analizu i interpretaciju rezultata monitoringa, čime se osiguravaju aktualne podloge za optimalno upravljanje ovim strateškim resursom Hrvatske.

Nadalje, okviru vodoistražnih radova za potrebe implementacije Okvirne direktive o vodama u dijelu koji se odnosi na kvalitativno stanje voda na zagrebačkom i samoborskom području (CPV Zagreb) analizirano je kemijsko stanje podzemne vode vodnog tijela (Bačani & Posavec,

2011). Kemijsko stanje podzemne vode zagrebačkog i samoborskog vodonosnika određeno je analizom parametara kakvoće podzemne vode i usporedbom s Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN, 47/08) odnosno Direktivom o kakvoći vode za piće (98/83/EC), pri čemu je iznešen komentar na postojeću regulativu R. Hrvatske i usklađenost s direktivama Europske zajednice, prvenstveno s Okvirnom direktivom o vodama (2000/60/EC) kao i Direktivom o podzemnim vodama (2006/118/EC).

Analize parametara kakvoće podzemne vode zagrebačkoga i samoborskoga vodonosnika napravljene su za razdoblje od 2000. do 2010. godine (posljednjih 11 godina), zatim za razdoblje od 2006. do 2010. godine (posljednjih 5 godina), za razdoblje od 2008. do 2010. (posljednje 3 godine) i za 2010. godinu, a sve s ciljem identifikacije promjene kemijskog stanja podzemne vode od 2000. god. do danas. Od ukupno 473 piezometra u bazi podataka za koje postoje podaci o kakvoći podzemne vode od 1987. godine, u razdoblju od 2000. do 2010. godine uzorci vode za kemijske analize uzimani su u 269 piezometara. Obrađeno je 12176 analiza podzemne vode napravljenih na uzorcima vode iz 269 piezometara pri čemu je analizirano svih 182 parametara za koje postoje podaci u bazi podataka. S obzirom na veliki broj podataka (437960), obrada je izvršena uz pomoć namjenskih programa kreiranih u Visual Basic for Applications (VBA) programskom jeziku.

Prikaz kemijskog stanja podzemne vode zagrebačkog i samoborskog vodonosnika za svako analizirano razdoblje podijeljen u tri osnovne kategorije: (1) kartografski prikaz generalne ocjene kemijskog stanja podzemne vode, a koji sadržava prikaz srednje ocjene kakvoće svih parametara kao i prikaz najlošije ocjene kakvoće parametara na odnosnom piezometru; (2) kartografski prikaz kemijskog stanja podzemne vode po određenim kritičnim parametrima i to za parametre koji su propisani direktivom 98/83/EC kao i za one koji to nisu, no za koje postoje podaci u EGPV bazi podataka o kakvoći podzemne vode; i (3) kartografski prikaz trendova kritičnih parametara i to onih propisanih direktivom 98/83/EC kao i onih koji nisu propisani tom direktivom, ali su određeni kao kritični.

Za ocjenu kemijskog stanja podzemne vode, kriterij srednje vrijednosti koncentracije, kako je definiran u Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EC) i Uredbi o standardu kakvoće voda (NN, 89/10), proširen je s dodatnim kriterijima iz razloga što srednja vrijednost koncentracije u slučaju velike površine vodnog tijela i velikog broja mjernih mjesta tj. piezometara kao što je to slučaj za vodno tijelo Zagreb (površine 988 km²), a koje obuhvaća područje zagrebačkog i samoborskog vodonosnika, može biti manja od propisanog standarda kakvoće odnosno MDK ako je na većem broju piezometara koncentracija manja od MDK, a na manjem broju piezometara veća od MDK.

Rezultati analiza kemijskog stanja podzemne vode zagrebačkog i samoborskog vodonosnika odnosno kartografskih prikaza generalne ocjene kemijskog stanja podzemne vode ukazuju da je srednja ocjena kakvoće svih parametara uglavnom dobra i vrlo dobra, te da kroz analizirana razdoblja ne dolazi do značajnijeg poboljšanja niti pogoršanja srednje ocjene. Nadalje, gotovo da ne postoji piezometar na kojem barem jedan parametar nije ocijenjen lošom ili vrlo lošom ocjenom, a također kroz analizirana razdoblja ne postoji značajnija promjena ocjene.

Analize kartografskih prikaza generalne ocjene kemijskog stanja podzemne vode ukazale su na nekoliko kritičnih područja s obzirom na kemijsko stanje podzemne vode. Na području zagrebačkog vodonosnika to su područje odlagališta otpada Jakuševac gdje je većina parametara kritična, zatim područje ranžirnog kolodvora gdje značajnije iskaču policiklički aromatski ugljikovodici, benzen, nitrati, teški metali i detergentski, područje industrijske zone u priljevnom području vodocrpilišta Šibice gdje su posebno problematični tetrakloreten, trikloreten, kloridi i tetraklorugljik, te priljevno područje vodocrpilišta Mala Mlaka, a koje je značajnije pogođeno povećanim koncentracijama atrazina. Na području samoborskog vodonosnika, od područja kritičnih s obzirom na kemijsko stanje podzemne vode izdvojeno je priljevno područje vodocrpilišta Šibice gdje značajnije iskaču pesticidi i ukupni dušik (po Kjeldahlu) te priljevno područje vodocrpilišta Strmec s povećanim koncentracijama amonij i u manjoj mjeri pesticida.

Za određene kritične parametre (željezo, mangan, nitrati, olovo, kadmij, arsen, amonij i kloridi) koji su objedinjeni za cijelo vodno tijelo odnosno za područje samoborskog i zagrebačkog vodonosnika, a koji se u podzemnoj vodi javljaju kako prirodno tako i kao posljedica antropogenih utjecaja, određene su ambijentalne ili današnje geokemijske bazne vrijednosti i granične vrijednosti. Osim kritičnih parametara, ambijentalne ili današnje geokemijske bazne vrijednosti i granične vrijednosti određene su i za živu, sulfate, trikloreten, tetrakloreten i vodljivost i jer su ti parametri također predviđeni u dijelu B Aneksa II Direktive o podzemnim vodama (2006/118/EC).

Kao preduvjet uspješnom gospodarenju dinamičkim sustavom podzemnih voda neophodno je poznavanje njegovog aktualnog stanja koje između ostalog obuhvaća i stanje litoloških odnosa, a što pak proizlazi iz Zakona o vodama (NN 153/09). Članak 76. definira opće korištenje voda za osobne potrebe, a time se podrazumijeva i zahvaćanje podzemne vode iz prvoga vodonosnoga sloja do 10 m dubine. Nadalje, člankom 83. definirana je obaveza prethodno obavljenih vodoistražnih radova prilikom odobrenja za korištenje voda iz cjelina podzemnih voda i propisan način izvođenja bušotina, koje se izvode za potrebe korištenja voda ili vodoistražne radove. Kod izdavanja vodopravnih akata radi postizanja utvrđenih ciljeva upravljanja vodama, člankom 143. propisana je obaveza utvrđivanja vodopravnih uvjeta koji se propisuju za svako provođenje regionalnih, detaljnih geoloških istraživanja i vodoistražnih radova koji mogu trajno, povremeno ili privremeno utjecati na vodni režim.

Stoga je za područje Zagrebačkog i Samoborskog vodonosnika (CPV Zagreb) načinjena sistematizacija znanja o litološkim odnosima (Biondić i dr., 2011). U tom cilju su obrađeni, sistematizirani i objedinjeni litološki podaci više od 2000 bušotina pohranjenih u različitim bazama podataka prikupljenih iz provedenih istražnih radova na način koji omogućava automatiziranu izradu grafičkog prikaza litoloških stupova bušotina, interpretirani su litološki podaci bušotina potrebnih za izradu reprezentativnih hidrogeoloških profila sjever-jug te zapad-istok. Potom su izrađeni litološki stupovi bušotina i hidrogeološki profili za zagrebačko i samoborsko područje, te je načinjen GIS projekta čime su stvoreni preduvjeti za kvalitetnije upravljanje vodnim sustavom na području Zagrebačkog i Samoborskog bazena.

Na području zagrebačkog vodonosnog sustava, potencijalno vodozaštitno područje Črnkovec je područje s najdebljim vodonosnim naslagama pa ga s aspekta količina podzemne vode čini

najperspektivnijim područjem za eksploataciju podzemne vode za potrebe vodoopskrbe Grada Zagreba i šire regije.

U svrhu određivanja lokacija razvoja vodocrpilišta na području potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec (Posavec i dr., 2013) izvedeni su istražni radovi koji su obuhvatili istočni dio zagrebačkog vodonosnog sustava odnosno rezervirani prostor vodocrpilišta Črnkovec koji je definiran Prostornim planom Zagrebačke županije (Odluka o donošenju Prostornog plana Zagrebačke županije, 2002.; Odluka o izmjeni i dopuni odluke o donošenju Prostornog plana Zagrebačke županije, 2005.; Odluka o II. izmjenama i dopunama odluke o donošenju Prostornog plana Zagrebačke županije, 2007.; Odluka o IV. izmjenama i dopunama odluke o donošenju Prostornog plana Zagrebačke županije, 2011.) te Prostornim planom područja posebnih obilježja Črnkovec – Zračna luka Zagreb (Odluka o donošenju Prostornog plana područja posebnih obilježja Črnkovec – Zračna luka Zagreb, 2012.).

Na istraživanom području provedeno je proširenje sustava kontinuiranog praćenja kakvoće podzemne vode neophodno za pouzdanu ocjenu kakvoće podzemne vode odnosno njene zdravstvene ispravnosti, a što je jedan od temelja za osiguravanje podloga za realizaciju konceptijskog rješenja razvoja planiranog vodocrpilišta Črnkovec. U svrhu proširenja sustava kontinuiranog praćenja kakvoće podzemne vode prenamijenjeno je 5 piezometara iz postojeće opažačke mreže razina podzemne vode na tri lokacije te je dodatno izbušeno 5 novih piezometara na dvije lokacije unutar područja uže zone zaštite potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec (vodocrpilište Črnkovec – uža lokacija). Iz svih deset piezometara analizirana je podzemna voda te je zaključeno da kakvoća podzemne vode na lokaciji planiranog vodocrpilišta Črnkovec zadovoljavajuća te da ne odstupa od kakvoće od podzemne vode u priljevnim područjima ostalih vodocrpilišta na području zagrebačkog vodonosnika.

U nastavku radova provedena je identifikacija utjecaja planiranog vodocrpilišta Črnkovec na podzemne vode istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika i pronosa onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac i Ranžirnog kolodvora Zagreb u uvjetima predviđenih kapaciteta crpljenja za postojeće stanje izgrađenosti na rijeci Savi i za stanje izgrađenosti pragova Novaki Šćitarjevski i Drenje Šćitarjevsko. Analizom rezultata prognoznih numeričkih modela toka podzemne vode i pronosa onečišćenja za postojeće stanje izgrađenosti na rijeci Savi u uvjetima crpljenja na planiranom vodocrpilištu Črnkovec zaključeno je:

1. Generalni smjerovi toka podzemne vode na području istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika mijenjaju se u odnosu na postojeće stanje te se na širem području planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija stvara konus depresije tj. voda gravitira prema lokacijama zdenaca vodocrpilišta za stanje niskih, srednjih i visokih voda. Na području planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, Kosnica – Istok i Kosnica Mičevac (Kosnica – Zapad) I. faza generalni smjerovi toka podzemne vode ne mijenjaju se značajnije.
2. Razine podzemne vode na području istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika za stanje niskih, srednjih i visokih voda generalno se snižavaju. Na području planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, Kosnica – Istok i Kosnica Mičevac (Kosnica – Zapad) I.

faza snižavaju se za oko 0.5 do 1 m dok se na širem i užem području planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija snižavaju za oko 2 do 4 m.

3. Oblak potencijalnog onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac i Ranžirnog kolodvora Zagreb pronosi se dominantno u smjeru jugoistoka i istoka te u nastavku sjeveroistoka. Na području planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, Kosnica – Istok te Kosnica Mičevac (Kosnica – Zapad) I. faza ne zapaža se utjecaj potencijalnog oblaka onečišćenja dok se na zdencima planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija zapaža utjecaj oblaka potencijalnog onečišćenja u koncentracijama od oko 10 do 100 puta manjim (0.1 do $0.01 C_0$) odnosno od oko 5 do 10 puta manjim (0.2 do $0.1 C_0$) na zdencima središnjeg dijela planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija od onih u samim izvorima onečišćenja. Na zdencima predloženog proširenja planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija (ZČ-11 do ZČ-18) zapaža se utjecaj oblaka potencijalnog onečišćenja u koncentracijama od oko 10 do 100 puta manjim (0.1 do $0.01 C_0$) samo u zdencima sjeveroistočnog dijela predloženog proširenja vodocrpilišta (C_0 je početna koncentracija).

Analizom rezultata prognoznih numeričkih modela toka podzemne vode i pronosa onečišćenja za stanje izgrađenosti pragova Novaki Ščitarjevski i Drenje Ščitarjevsko na rijeci Savi u uvjetima crpljenja na planiranom vodocrpilištu Črnkovec zaključeno je:

1. Generalni smjerovi toka podzemne vode na području istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika mijenjaju se u odnosu na postojeće stanje. Na području planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, Kosnica – Istok i Kosnica Mičevac (Kosnica – Zapad) I. faza generalni smjerovi toka podzemne vode mijenjaju se na dionici uzvodno od praga Novaki Ščitarjevski kao i na dionici između pragova Novaki Ščitarjevski i Drenje Ščitarjevsko. Izgradnja planiranih pragova dodatno bi inducirala infiltraciju iz rijeke Save u desno zaobalje za stanje niskih i srednjih voda dok se za stanje visokih voda ne očekuju značajnije promjene smjerova toka. Na širem području planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija također se stvara konus depresije tj. voda gravitira prema lokacijama zdenaca vodocrpilišta za stanje niskih, srednjih i visokih voda.
2. Razine podzemne vode na području istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika za stanje niskih, srednjih i visokih voda generalno se povisuju na prostoru uz rijeku Savu dok se na preostalom prostoru snižavaju ili pak se zadržavaju u okvirima postojećih. Na području planiranog vodocrpilišta Kosnica Mičevac (Kosnica – Zapad) I. faza razine se generalno povisuju do 0.5 m, na području planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza i Kosnica – Istok razine se generalno zadržavaju na razini postojećih odnosno snižavaju se do 0.5 m u središnjem dijelu planiranog vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, dok se na području planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija razine snižavaju za oko 2 do 3 m.
3. Oblak potencijalnog onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac i Ranžirnog kolodvora Zagreb pronosi se dominantno u smjeru jugoistoka te u nastavku istoka. Na području planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, Kosnica – Istok te Kosnica Mičevac (Kosnica – Zapad) I. faza ne zapaža se utjecaj potencijalnog oblaka

onečišćenja dok se na zdencima planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija zapaža utjecaj oblaka potencijalnog onečišćenja u koncentracijama od oko 100 puta manjim ($0.01 C_0$) od onih u samim izvorima onečišćenja i to u zdencima južnog i središnjeg dijela vodocrpilišta. Na zdencima predloženog proširenja planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija (ZČ-11 do ZČ-18) ne zapaža se utjecaj oblaka potencijalnog onečišćenja. Pretpostavka je da granična vrijednost od $0.01C_0$ odnosno koncentracija 100 puta manja od one u izvoru onečišćenja predstavlja koncentraciju koja je ispod maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK). No, isto tako može biti podjednako valjana pretpostavka da već i 5 puta manja koncentracija od one u izvoru onečišćenja ($0.2 C_0$) može predstavljati koncentraciju koja je ispod MDK. Za identifikaciju postojećeg oblaka onečišćenja, potrebno je uspostaviti monitoring na cijelom istraživanom području te utvrditi stvarno kemijsko stanje podzemne vode.

Izračunata sniženja na dijelu vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija od 2 do 4 m potencijalno bi mogla imati negativan utjecaj na izvorište Odre te na ekosustave istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika koji su ovisni o podzemnoj vodi. Od značajnijih promjena vezano za pronos potencijalnog onečišćenja, potrebno je istaknuti da izgradnja pragova na rijeci Savi u značajnoj mjeri utječe na promjenu smjera pronosa oblaka potencijalnog onečišćenja koji se u uvjetima izgrađenosti pragova pronosi značajno južnije te isto tako u značajno manjoj mjeri potencijalno ugrožava planirano vodocrpilište Črnkovec, u prvom redu vodocrpilište Črnkovec – uža lokacija. Stoga se može reći da izgradnja pragova u velikoj mjeri rješava problem potencijalnog onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac te Ranžirnog kolodvora Zagreb, a koji potencijalno ugrožava planirano vodocrpilište Črnkovec. Ovdje za usporedbu valja istaknuti da su analize utjecaja višenamjenskog hidrotehničkog sustava uređenja, zaštite i korištenja rijeke Save od granice s Republikom Slovenijom do Siska (koncept sustava) na podzemne vode zagrebačkog vodonosnika pokazale da za stanje izgrađenosti višenamjenskog hidrotehničkog sustava dolazi do povećanja razina podzemne vode na istočnom dijelu zagrebačkog vodonosnika za oko 1 do 2 m. Ovo rješenje za razliku od rješenja s pragovima koji ne sprečavaju sniženje razina podzemne vode na planiranom vodocrpilištu Črnkovec – uža lokacija u režimu crpljenja, može pozitivno utjecati na izvorište Odre odnosno manje vodotoke koji su djelomično presušili ili su im korita suha cijelom dužinom toka (Kosnica, Ribnica, Bapča i Želin) u smislu obnove, odnosno revitalizacije područja ovih potoka s izvorišta Odre, uključujući i revitalizaciju nekadašnjih vrijednih vodenih i vlažnih staništa na tom području. Analize utjecaja višenamjenskog hidrotehničkog sustava su nadalje pokazale da se smjer pronosa potencijalnog onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac te Ranžirnog kolodvora Zagreb za stanje izgrađenosti višenamjenskog hidrotehničkog sustava u potpunosti mijenja u smjeru juga, a što ovo rješenje također čini efikasnijim od rješenja s pragovima, u smislu zaštite planiranog vodocrpilišta Črnkovec od potencijalnog onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac te Ranžirnog kolodvora Zagreb. Stoga se može zaključiti da izgradnja pragova Novaki Ščitarjevski i Drenje Ščitarjevsko na rijeci Savi pozitivno djeluje na smanjenje sniženja razina podzemne vode istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika u režimu crpljenja planiranog vodocrpilišta Črnkovec kao i na rješavanje problema pronosa potencijalnog onečišćenja s područja odlagališta otpada Prudinec – Jakuševac te Ranžirnog kolodvora Zagreb u smislu zaštite planiranog vodocrpilišta Črnkovec od budućeg onečišćenja. No izgradnja višenamjenskog hidrotehničkog sustava je i u pogledu utjecaja na razine podzemne

vode i u pogledu utjecaja na pronos potencijalnog onečišćenja efikasnije rješenje za spašavanje potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec.

Nakon identifikacije utjecaja planiranog vodocrpilišta Črnkovec na podzemne vode istočnog dijela zagrebačkog vodonosnika, a na osnovi analize rezultata prognoznih numeričkih modela toka podzemne vode i pronosa onečišćenja za postojeće stanje izgrađenosti na rijeci Savi i stanje izgrađenosti pragova Novaki Šćitarjevski i Drenje Šćitarjevsko u uvjetima crpljenja na planiranom vodocrpilištu Črnkovec, napravljena je analiza lokacija zdenaca planiranog vodocrpilišta Črnkovec. Sukladno provedenoj analizi, predloženo je da daljnja koncepcija razvoja vodoopskrbe na planiranom vodocrpilištu Črnkovec obuhvaća razvoj planiranog vodocrpilišta Kosnica I. faza s ukupnom crpnom količinom od 900 l/s (potencijalno moguće povećanje na oko 1300 l/s), Kosnica II. faza s ukupnom crpnom količinom od 900 l/s (potencijalno moguće povećanje na oko 1200 l/s), Kosnica III. faza s ukupnom crpnom količinom od 400 – 600 l/s, Kosnica – Istok s ukupnom crpnom količinom od 600 l/s (potencijalno moguće povećanje na oko 800 l/s) te Črnkovec – uža lokacija s ukupnom crpnom količinom od 1900 l/s uz dodatno proširenje na prostor sjeverno od naselja Črnkovec. Ovakav prijedlog daljnje koncepcije razvoja vodoopskrbe na planiranom vodocrpilištu Črnkovec osigurao bi sveukupne crpne količine od 4700 – 4900 l/s (potencijalno moguće povećanje na oko 5600 – 5800 l/s). Predloženo je i napuštanje planiranog vodocrpilišta Kosnica – Mičevac (Kosnica – Zapad) I. i II. faza, no u slučaju neophodnosti zadržavanja vodocrpilišta Kosnica – Mičevac (Kosnica – Zapad) u Prostornom planu Zagrebačke županije i Prostornom planu područja posebnih obilježja Črnkovec – Zračna luka Zagreb iz razloga osiguravanja planiranih crpnih količina ili pak nekih drugih, preporuča se zadržavanje isključivo I. faze vodocrpilišta.

Važno je za naglasiti da se daljnji razvoj planiranog vodocrpilišta Črnkovec planira uz uvjet rada Interventnog crpnog sustava (ICS-a) na odlagalištu otpada Prudinec – Jakuševac. Iako je u numeričkim prognoznim modelima pretpostavljeno da svi zdenci ICS-a rade 24 sata na dan 365 dana u godini kroz cijelo istraživano razdoblje, a što u praksi nije slučaj niti je moguće izvesti, može se opravdano pretpostaviti da rad ICS-a ipak u određenoj mjeri sprečava pronos potencijalnog onečišćenja u istočni dio zagrebačkog vodonosnika te na taj način može doprinijeti i zaštiti tog dijela vodonosnika od potencijalnog onečišćenja s odlagališta otpada Prudinec - Jakuševac.

Razina podzemne vode na području zagrebačkog vodonosnika kontinuirano opada dinamikom od oko 1,0 do 1,5 m svakih 10 godina. Osnovni razlog ovakvom kontinuiranom negativnom trendu je kontinuirano produbljivanje korita rijeke Save koje je intenzivirano izgradnjom hidroelektrana na Savi u R. Sloveniji, regulacija pritoka te šljunčarenje iz korita Save. Naime, produbljivanjem korita snižava se vodostaj Save, a time se snižavaju i razine podzemne vode.

Zbog kontinuiranog snižavanja razine podzemne vode iz zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika, te nesigurnosti u osiguravanju pouzdane vodoopskrbe Grada Zagreba za vrijeme izrazito niskih razina podzemne vode odnosno u razdobljima kontinuirane dugotrajne recesije, na postojećim vodocrpilištima Grada Zagreba istražene su mogućnosti eksploatacije podzemne vode, odnosno načinjena je analiza današnjeg i prognoza budućeg stanja (Posavec, 2013).

Istraživanja mogućnosti eksploatacije podzemne vode na postojećim vodocrpilištima Grada Zagreba u uvjetima dugotrajnih nepovoljnih (sušnih) hidroloških razdoblja ukazala su da su povoljne mogućnosti na vodocrpilištima na kojima minimalna razina podzemne vode do danas nije postignuta, odnosno razine se nisu spustile do kota gornjih rubova filtra u zdencima tj. na vodocrpilištima Petruševac, Velika Gorica i Žitnjak dok su nepovoljne na vodocrpilištima na kojima je minimalna razina podzemne vode već postignuta odnosno razina podzemne vode je ispod kota gornjih rubova filtra u zdencima tj. na vodocrpilištima Mala Mlaka, Sašnjak i Zapruđe.

No, s obzirom na postojeće mogućnosti preraspodjele crpnih količina u uvjetima dugotrajnih sušnih razdoblja, a koje uključuju povećanje crpljenja na vodocrpilištima Petruševac, Velika Gorica i Žitnjak te smanjenje na vodocrpilištima Mala Mlaka, Sašnjak i Zapruđe, generalno se može zaključiti da u današnjem trenutku normalna vodoopskrba Grada Zagreba čak niti u takvim nepovoljnim uvjetima ne bi trebala biti dovedena u pitanje. Ipak treba istaknuti da bi mogućnost ovakve preraspodjele mogla biti dovedena u pitanje u slučaju eventualnog pogoršanja kakvoće podzemne vode na vodocrpilištima Petruševac, Velika Gorica i Žitnjak ili pak eventualnih tehničkih poteškoća u radu zdenaca tih vodocrpilišta. Stoga, ključ opstanka postojećih aktivnih vodocrpilišta, odnosno budućeg razvoja vodocrpilišta odnosno javne vodoopskrbe, ali ne samo vodoopskrbe nego i ekosustava koji ovise o podzemnoj vodi leži u zaustavljanju ovih negativnih trendova razina podzemne vode.

S obzirom na mogućnosti odnosno rješenja koja su na raspolaganju za osiguravanje stabilne vodoopskrbe Grada Zagreba izdvojena su privremena i trajna rješenja. Kao **privremeno rješenje**, koje ne rješava problem produbljivanja korita Save i negativnog trenda razina podzemne vode, u današnjem trenutku je razvoj budućeg vodocrpilišta Črnkovec kao i potencijalnog vodocrpilišta Ježdovec kao neophodan za osiguranje stabilnosti vodoopskrbe Grada Zagreba u uvjetima dugotrajnih sušnih razdoblja, te umjetna infiltracija za vrijeme visokih vodostaja Save. **Trajno rješenje**, rješava problem produbljivanja korita Save i negativnog trenda razina podzemne vode, a ujedno je i rješenje za ekosustave koji ovise o podzemnoj vodi, a uključuje izgradnju brana na rijeci Savi na području zagrebačkog i samoborsko-zaprešićkog vodonosnika koja će trajno zaustaviti eroziju i produbljivanje korita rijeke Save i postojeći negativan trend razina podzemne vode.

Kako bi se moglo na vrijeme, tj. prije nego minimalne razine podzemne vode nastupe, dati preporuke za optimalizaciju tj. preraspodjelu crpnih količina na vodocrpilištima te tako umanjiti negativne posljedice naglih promjena crpnih količina na vodocrpilištima, kreiran je prognozni model vremena postizanja minimalnih razina podzemne vode. Ovim modelom omogućeno je predviđanje vremena nastupanja minimalnih razina podzemne vode u uvjetima dugotrajnih sušnih razdoblja, a što je neophodno da bi se na vrijeme mogle dati preporuke za optimalizaciju crpljenja na vodocrpilištima, a koje trebaju uključivati postupno povećanje crpljenja na vodocrpilištima Petruševac, Velika Gorica i Žitnjak te postupno smanjenje na vodocrpilištima Mala Mlaka, Sašnjak i Zapruđe. Ovakve preporuke trebale bi umanjiti negativne utjecaje dugotrajnijih sušnih razdoblja na izdašnosti vodocrpilišta čime bi se ostvarila ili pak prolongirala neometana vodoopskrba u slučaju izrazito nepovoljnih hidroloških prilika uzrokovanih dugotrajnim sušnim razdobljima.

Koristi od mogućnosti ovakvih prognoziranja su višestruke, od onih od vitalnog značaja za vodoopskrbu, a koji se odnose na kontrolu optimalizacije crpljenja na vodocrpilištima te prolongiranje mogućih redukcija vode pa sve do pravovremenog obavještanja javnosti o mogućim posljedicama nepovoljnih hidroloških uvjeta na vodoopskrbu Grada Zagreba.

U cilju ujednačavanja pristupa zaštite izvorišta vode za piće na **području Istarskog poluotoka**, pa tako i strateških zaliha podzemnih voda, tijekom 2003. godine načinjena je reinterpreteracija i analiza ranijih istraživanja, te je na temelju postojećih podataka, prema Pravilniku (NN 55/02), načinjen prijedlog zona sanitarne zaštite (Bačani i dr., 2003). Radovi sa ciljem zaštite izvorišta pitke vode Istarske županije obuhvatili su obradu podataka o postojećim istraživanjima, hidrogeološke i hidrološke značajke područja, izradu katastra onečišivača, interpretaciju kakvoće voda izvorišta na temelju svih ranije načinjenih odnosno dostupnih kemijskih analiza, prijedlog zona sanitarne zaštite u M 1:100 000 te prijedlog potrebnih daljnjih radova za određivanje zona zaštite (II faza istraživanja).

U sklopu definiranja zaliha podzemnih voda na području Istre (Bačani i dr., 2005), definirane su i strateške zalihe podzemnih voda na području Istre (CPV Sjeverna Istra, dio CPV Središnja Istra - dolina Raše). U tom cilju ažurirana je postojeća baza podataka zdenaca i istraživačkih te piezometarskih bušotina za cijelo područje Istarske županije, snimljena su postojeća crpilišta javne vodoopskrbe za gradove i naselja navedenog područja i ažurirani podaci o crpilištima koji su snimljeni u ranijim fazama hidrogeoloških istraživanja. Također su unijeti u bazu podaci o količinama crpljenja, te razinama podzemne vode na većim crpilištima i načinjena je analiza eksploatacijskog kapaciteta crpilišta što se posebno odnosi na crpilišta značajnijih naselja. U bazu su unijeti i podaci kemijskih analiza sirove vode za sve objekte na kojima takve analize postoje te je načinjena procjena stanja kakvoće. Na koncu je temeljem poznavanja definiranog područja napravljena procjena eksploatacijskih zaliha podzemnih voda.

Procjena dinamičkih zaliha načinjena je za izvore Gradole, Bulaž, Sveti Ivan, Rakonek, Fonte Gajo i Kokoti recesijskom analizom hidrograma jer postoje dnevna mjerenja protoka. Recesijska analiza hidrograma nije egzaktna metoda, jer dopušta subjektivni pristup interpretatora kod grafičkog određivanja točke u kojoj prestaje izravno dotjecanje na izvor, a počinje bazni tok. Razdvajanje bi bilo puno točnije kada bi se raspolagalo s kemijskim i izotopnim analizama vode prije, za vrijeme i poslije prihranjivanja. U svakom slučaju recesijska analiza ukazuje na red veličine, a isto tako na relativne odnose dinamičkih zaliha pojedinih izvora.

Recesijska analiza hidrograma potvrdila je činjenicu da je izvor **Gradole** apsolutno najveći i najznačajniji izvor u Istri s najvećom akumulacijskom sposobnošću. Prosječna vrijednost koeficijenta recesije α ($0,0088 \text{ dan}^{-1}$) upućuje na veliko uskladištenje i sporo istjecanje. Dinamičke zalihe na početku recesije kretale su se prosječno $22\,645\,669 \text{ m}^3$, na kraju sušnih razdoblja prosječno $7\,333\,217 \text{ m}^3$, dok se napajanje zaliha između dvije recesije kretalo prosječno $14\,257\,618 \text{ m}^3$. Uz hipotetičku površinu sliva od 170 km^2 i prosječnu godišnju oborinu od $P=999 \text{ mm}$ (prosjek za 1994-2001 god., postaja Pazin) proizlazi da 8,4 % oborina napaja podzemnu akumulaciju dok preostali dio infiltrirane vode direktno istječe na izvoru za vrijeme velikih voda.

Za izvor **Bulaž**, prosječna vrijednost koeficijenta recesije α ($0,0960 \text{ dan}^{-1}$) upućuje na brzu drenažu, veliku efektivnu poroznost, veliku transmisivnost i malo uskladištenje. Dinamičke zalihe na početku perioda istjecanja baznog toka kreću se u prosjeku oko $4\,324\,009 \text{ m}^3$, na kraju sušnog razdoblja prosječno $905\,490 \text{ m}^3$. Prema tome, dinamičke zalihe izvora Bulaž su relativno male, no ako se uzme u obzir pretpostavka da dubina okršavanja odgovara kaverni nabušenju na dubini oko 55 m to upućuje na postojanje značajnih statičkih zaliha tj. podzemne vode uskladištene ispod razine preljeva izvora. Napajanje zaliha između susjednih recesija kretalo se prosječno $3\,426\,952 \text{ m}^3$. Uz hipotetičku površinu sliva od 105 km^2 i prosječnu godišnju oborinu od $P=999 \text{ mm}$ (prosjek za 1994-2001 god., postaja Pazin) proizlazi da se svega 3,3% oborina prosječno može uskladištiti u podzemlju, dok preostali dio infiltrirane vode direktno istječe na izvoru za vrijeme velikih voda.

Za izvor **Sveti Ivan**, prosječna vrijednost koeficijenta recesije α ($0,0148 \text{ dan}^{-1}$) upućuje na puno povoljnije karakteristike vodonosnika nego što je to slučaj kod Bulaža, ali ne tako povoljne kao kod Gradola. Dinamičke zalihe na početku perioda istjecanja baznog toka kreću se u prosjeku $5\,571\,534 \text{ m}^3$, na kraju sušnog razdoblja zalihe se kreću u prosjeku $1\,588\,298 \text{ m}^3$, a napajanje zaliha između dvije recesije kretalo se prosječno $3\,830\,503 \text{ m}^3$. Uz minimalnu površinu sliva od 70 km^2 i prosječnu godišnju oborinu od $P=999 \text{ mm}$ (prosjek za 1994-2001 god., postaja Pazin) proizlazi da prosječno 5,5 % oborina prihranjuje zalihe dok preostali dio infiltrirane vode direktno istječe na izvoru za vrijeme velikih voda.

Za izvor **Rakonek**, prosječna vrijednost koeficijenta recesije α ($0,0069 \text{ dan}^{-1}$) upućuje na veliku moć akumuliranja i postupnog otpuštanja. Dinamičke zalihe na početku razdoblja istjecanja baznog toka kreću se u rasponu od $4\,822\,925$ do $6\,386\,154 \text{ m}^3$, a prosječno $5\,920\,605 \text{ m}^3$. Na kraju sušnog razdoblja zalihe se kreću u rasponu $1\,469\,559 \text{ m}^3$ do $3\,105\,333 \text{ m}^3$, a prosječno $2\,079\,210 \text{ m}^3$. Napajanje zaliha između dvije recesije kretalo se od $3\,006\,108$ do $4\,727\,592 \text{ m}^3$, a prosječno $3\,828\,945 \text{ m}^3$. Uz minimalnu površinu sliva od 35 km^2 i prosječnu godišnju oborinu od $P=999 \text{ mm}$ (prosjek za 1994-2001 god., postaja Pazin) proizlazi da prosječno 10,95 % oborina prihranjuje zalihe podzemnih voda dok preostali dio infiltrirane vode direktno istječe na izvoru za vrijeme velikih voda.

Za izvor **Fonte Gajo**, prosječna vrijednost koeficijenta recesije α ($0,0201 \text{ dan}^{-1}$) upućuje na relativno veliku efektivnu poroznost, veliku transmisivnost i malo uskladištenje. Dinamičke zalihe na početku razdoblja istjecanja baznog toka kreću se u rasponu od $418\,065 \text{ m}^3$ do $1\,780\,454 \text{ m}^3$, a prosječno $892\,512 \text{ m}^3$. Na kraju sušnog razdoblja zalihe se kreću u rasponu $46\,788 \text{ m}^3$ do $812\,863 \text{ m}^3$, a prosječno svega $297\,745 \text{ m}^3$. Napajanje zaliha između dvije recesije kretalo se od $169\,406$ do $1\,733\,666 \text{ m}^3$, a prosječno $703\,262 \text{ m}^3$.

Za izvor **Kokoti**, prosječna vrijednost koeficijenta recesije α ($0,0130 \text{ dan}^{-1}$) je nešto povoljnija nego kod susjednog Fonte Gaja. Dinamičke zalihe na početku razdoblja istjecanja baznog toka kretale su se u rasponu od $365\,102 \text{ m}^3$ do $4\,772\,571 \text{ m}^3$, a prosječno $2\,323\,832 \text{ m}^3$. Na kraju sušnog razdoblja zalihe se kreću u rasponu od 0 do $2\,491\,086 \text{ m}^3$, a prosječno $917\,943 \text{ m}^3$. Naime, u razdoblju od listopada 1999. do konca 2001. godine u ukupno 29 slučajeva (29 dana) je registrirano presušivanje izvora. U ranijem analiziranom razdoblju presušivanja nije bilo. Napajanje zaliha između dvije recesije kretalo se od $349\,492$ do $2\,729\,442 \text{ m}^3$, a prosječno $1\,465\,032 \text{ m}^3$. Uz fiktivnu zajedničku površinu sliva s izvorom Fonte Gajo od 45 km^2 i prosječnu godišnju oborinu od $P=999 \text{ mm}$ (prosjek za 1994-2001 god., postaja Pazin)

proizlazi da prosječno 4,8 % oborina prihranjuje zalihe podzemnih voda dok preostali dio infiltrirane vode direktno istječe na izvoru za vrijeme velikih voda.

U okviru geološko - hidrogeoloških istražnih radova za **izvorišta Gradole i Sveti Ivan**, tijekom 2009. godine izrađena je hidrogeološka karta M 1:5.000 druge zone sanitarne zaštite, na površini cca 23 km² za izvor Gradole, te na površini cca 55 km² za izvor Sveti Ivan, trasiranje tokova podzemne vode iz ponora kod Višnjana, ažuriran je katastar onečišćivača na području druge zone sanitarne zaštite oba izvora (Munda i dr., 2009). Temeljem svih novih podataka novelirana je granica druge zone za izvor Sv. Ivan, a temeljem prikupljenih podataka detaljnog geološkog kartiranja i rezultata trasiranja tokova podzemne vode granica druge zone sanitarne zaštite za izvor Gradole. Provedenim radovima detaljnog geološkog i hidrogeološkog kartiranja utvrđene su djelomične razlike u geološkom razvoju istražnog prostora u odnosu na prethodno provedene radove na razini točnosti karata mjerila 1:100.000 i 1:25.000. Rezultati kartiranja bili su osnova za izradu hidrogeološke karte M 1:5.000 s hidrogeološkom kategorizacijom litoloških članova, geološkim podacima, podacima vodnih pojava i objekata, potencijalnih onečišćivača i podataka prethodno izvedenih trasiranja.

Trasiranje podzemne vode iz ponora kod Višnjana izvršeno je 16. veljače 2009. u 12:00 sati ubacivanjem 20 kg Na-fluoresceina pomiješanog s 10,0 kg NaOH. Trasiranje je izvedeno u povoljnim hidrološkim uvjetima, odnosno u vrijeme velikih voda. Pojava boje osmatrana na izvorima: Gradole, Bulaž (na lijevoj obali Mirne), Tarska Vala, Vabriga, Sveti Martin (Červar-Špadići) i Molindrio (Poreč - Zelena laguna) u trajanju od 15 dana. Opažaćka mjesta od mjesta ulijevanja trasera udaljena su između 7 (izvor Gradole) i 12,5 kilometara (izvor Molindrio).

Kvalitativnom analizom utvrđena je veza između ponora kod Višnjana i izvora Gradole s prividnom brzinom do prve pojave trasera u uzorku od 2,03 cm/s, odnosno od 0,89 cm/s do vremena registracije protoka maksimalne koncentracije trasera u uzorku. Također je utvrđena veza između ponora kod Višnjana i izvora Tarska Vala s prividnom brzinom do prve pojave trasera u uzorku od 2,06 cm/s, odnosno od 1,77 cm/s do vremena registracije protoka maksimalne koncentracije trasera u uzorku. U uzorcima vode s izvora Bulaž (na lijevoj obali Mirne), Vabriga, Sveti Martin (Červar-Špadići) i Molindrio (Poreč-Zelena laguna) traser nije utvrđen. Ovi podaci govore o smjeru kretanja podzemne vode i prividnim brzinama kojima se one kreću u konkretnim uvjetima. Slijed pojavljivanja Na-fluoresceina na pojedinim izvorima, odnosno njegov izostanak daje podatke o privilegiranim smjerovima kretanja podzemne vode, te potvrdu pretpostavljenih strukturnih, geoloških, geomorfoloških, hidrogeoloških i drugih karakteristika terena, odnosno o položaju granica pripadajućih slivova. Raspored pojavljivanja trasera govori o privilegiranom smjeru kretanja podzemne vode u području s velikim gradijentima.

Analizom dobivenih podataka zaključeno je da područje upuštanja trasera kod Višnjana dominantno pripada slivu izvora Gradole, a dio podzemne vode se distribuira i prema izvoru u Tarskoj Vali. Na izvoru u Tarskoj Vali utvrđene su manje koncentracije trasera, ali i nešto veće prividne brzine toka podzemne vode, osobito maksimalne koncentracije trasera što može ukazivati i na jače izražen privilegirani tok prema izvoru u Tarskoj Vali. Osim navedenog, potrebno je naglasiti činjenicu da traser nije utvrđen na izvoru Bulaž na lijevoj obali Mirne,

iako je smješten između izvora na kojima je traser registriran. To ukazuje da izvor Bulaž vjerojatno ima manje i ograničeno područje s kojeg se prihranjuje podzemnim vodama.

Provedenim istraživanjima i analizom rezultata prethodno provedenih geoloških i hidrogeoloških radova novelirana je II zona sanitarne zaštite za izvorište Sv. Ivan. Novelacija II zone izvedena je sukladno *Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta* (NN 55/02) na razini točnosti mjerila M 1:5.000 i usklađena s granicama čestica na katastarskom planu. Površina ograničena granicom II zone sanitarne zaštite za izvorište Sv. Ivan iznosi 25,87 km². Ona je 4,37 km² manja u odnosu na II zonu određenu prethodnim radovima 1993., odnosno 2003. godine.

U svrhu noveliranja granice II zone sanitarne zaštite **za izvorišta Bužin i Gabrijeli** provedeni su radovi detaljnog geološkog i hidrogeološkog kartiranja te trasiranje podzemne vode (Munda i dr., 2011). Terenskim radovima utvrđene su djelomične razlike u geološkom razvoju istraživog prostora u odnosu na prethodno provedene radove na razini točnosti karata mjerila 1:100 000 i 1:50 000 (IGI, 2004). Rezultati kartiranja korišteni su za izradu hidrogeološke karte M 1:5 000 s hidrogeološkom kategorizacijom litoloških članova, geološkim podacima, podacima vodnih pojava i objekata, potencijalnih onečišćivača i provedenih trasiranja. Trasiranje je provedeno 26.10. 2010. godine upuštanjem 10 kg Na-fluoresceina u jamu kod Stancije Rose, cca 1,5 km sjever-sjeveroistočno od grada Buja. Jama se nalazi na području jugozapadnog dijela bujske antiklinale, te pokriva dio sliva koji dosadašnjim hidrogeološkim radovima nije bio istražen, a od interesa je zbog daljnjeg razvoja šireg prostora grada Buja. Hidrološki uvjeti bili su povoljni (visoke vode), a pojava boje osmatrana je na 6 izvora: Bužin, Gabrijeli, Škudelin, Bulaž-Mlini, Okno i Bulaž-Sv. Stjepan. Izborom opažачkih mjesta pokriveno je područje bujske antiklinale od lokacije trasiranja do doline rijeke Dragonje. Uzorkovanjem na vodocrpilištu Bulažu-Sv. Stjepan željelo se utvrditi eventualno postojanje hidrogeološke veze prema istoku i jugoistoku, dakle obrnuto od pretpostavljanog generalnog smjera dreniranja voda s promatranog prostora. Razlog opažanja izvora Bulaž-Sv. Stjepan je bliska razvodnica slivova mjestu ubacivanja trasera u jamu kod Stancije Rosa. Opažачka mjesta od trasirane jame udaljena su između 4,3 km (izvor Škudelin) i 18 km (Bulaž-Sv. Stjepan). Pojava trasera utvrđena je na izvorima Gabrijeli, Bulaž-Mlini, Okno, na izvorima Bužin, Škudelin traser nije registriran, dok za izvor Bulaž-Sv. Stjepan postoje indicacije pojave trasera. Izračunate prividne brzine tokova podzemne vode od mjesta ubacivanja trasera iznose 0,91 cm/s za izvor Okno, 0,95 cm/s za izvor Bulaž-Mlini, a 1,03 cm/s za izvorište Gabrijeli. Ukoliko postoji hidrogeološka veza trasirane jame prema izvoru Bulaž-Sv. Stjepan, brzina toka podzemne vode iznosila bi 1,60 cm/s. Rezultati ovog trasiranja dobiveni su u prirodnim uvjetima visokih voda, bez crpljenja na vodocrpilištima Bužin, Gabrijeli i Bulaž-Sv. Stjepan. Međutim, ne isključuje se mogućnost da u drugačijim hidrološkim uvjetima i/ili uslijed aktivnog crpljenja da se ostvare drugačije hidrogeološke veze.

Analizom dobivenih podataka potvrđeno je da područje upuštanja trasera na lokaciji Stancija Rosa, nedaleko Buja, pripada slivu rijeke Dragonje, tj. izvorima na potezu od izvora Okno prema zapadu. Kao dominantan i privilegiran tok podzemne vode može se smatrati onaj od trasirane jame prema sjeverozapadu, što je i u skladu s geomorfološkom, litološkom i strukturno-tektonskom situacijom na terenu. Na osnovu brzina toka podzemne vode provedenog trasiranja i uvažavajući rezultate prijašnjih trasiranja, te na temelju

hidrogeološke karte istražnog prostora M 1:5.000 novelirana je granica II zone sanitarne zaštite. Granica II zone, gdje je to bilo opravdano, prati linijske objekte (prometnice, puteve) javnog značaja u svrhu lakšeg označavanja vodozaštitnog područja.

U dolini rijeke Raše, između 1981. i 1988. godine rađena su opsežna hidrogeološka istraživanja sa svrhom kaptiranja novih količina vode za vodoopskrbu. Istraživanja dodatnih količina vode prekinuta su neposredno prije Domovinskog rata zbog više razloga. U prvom redu je to bila izgradnja akumulacije i sustava za pročišćavanje pitkih voda Butoniga, za koji se očekivalo da će pokriti sve deficite za pitkom vodom tijekom ljetnih sušnih razdoblja na Istarskom poluotoku, kada je potreba za vodom zbog turizma najveća. Drugi je razlog bio zasigurno Domovinski rat, kada su praktički sva istraživanja prekinuta, a ono malo što je od istraživanja preostalo bilo je usmjereno uglavnom prema zaštiti voda. Izvorske vode u dolini rijeke Raše ponovno su postale interesantne za sve korisnike pitke vode u Istri, a posebno za vodovod Labin, koji je svojom današnjom eksploatacijom došao u granične uvjete pokrivanja vodoopskrbe stanovništva, hotelskih kapaciteta i industrije. Stoga je tijekom 2011 godine načinjena analiza istraživanja na izvorima Grdak, Sv. Antun, Bolobani i Šumber, za koje se temeljem ranijih istraživanja pretpostavila mogućnost dobivanja dodatnih količina vode za vodoopskrbu na Istarskom poluotoku (Biondić i dr., 2011).

Dolina rijeke Raše nizvodno od Podpićna drenira dva velika krška vodonosnika na desnoj i lijevoj obali rijeke. Izvorske vode su dijelom kaptirane za vodoopskrbu grada Pule - Rakonek 240 l/s i vodoopskrbu grada Labina - Fonte Gajo 80 l/s, Kokoti 70 l/s, Mutnica 80 l/s. Od ostalih izvora, dobre karakteristike za zahvat dodatnih količina pitke vode imaju izvori Sv. Antun, Bolobani i Grdak uz desnu obalu rijeke i izvor Šumber uz lijevu obalu.

Prema hidrogeološkoj i hidrološkoj analizi sliva izvora u kanjonu rijeke Raše vidljivo je da krški izvori u kanjonu rijeke Raše pokazuju velike amplitude istjecanja u različitim hidrološkim uvjetima (1:200), što je uobičajeno za krške slivove u Dinaridima. Dok u ekstremnim kišnim uvjetima u dolinu rijeke Raše preko krških izvora dotječe i do 20 m³/s vode, u ekstremnim ljetnim sušnim razdobljima istjecanje se smanji na ukupno svega oko 100 l/s. Obrađivani krški izvori Bolobani, Šumber, Sv. Antun i Grdak tijekom kišnih razdoblja daju velike količine vode, najviše Sv. Antun s mjerenom najvećom količinom od 4,41 m³/s, međutim tijekom ljetnih sušnih razdoblja te količine se smanjuju na svega 15 l/s, a promatranih izvora na ukupno oko 25 l/s. U recesijskom razdoblju na krškim izvorima uz desnu obalu rijeke Raše istječe prosječno ukupno oko 1,6 m³/s, od čega na izvoru Sv. Antun oko 23%, Bolobani 4,4%, Grdak 8,1%, a na izvorima Sušnica i Sušaki čak oko 65%. To nisu realne vrijednosti, jer podaci nisu vezani za iste termine, ali su dobar pokazatelj vodnosti pojedinih dijelova sliva.

Izvor Sv. Antun je, uz već ranije kaptirani izvor Rakonek, najveći i najperspektivniji izvor za kaptiranje vode na desnoj obali rijeke Raše. Na tom izvoru je osamdesetih godina prošlog stoljeća najviše napravljeno. Već prvo probno crpljenje izvorskog oka u ljetnom sušnom razdoblju 1981. godine je pokazalo da se na izvoru može kaptirati barem 195 l/s vode uz relativno malo sniženje na izvoru od ukupno 75 cm. Istraživanja su nastavljena 1982. godine izvođenjem 8 istražnih bušotina dubine 15-21 m. Jedna od tih istražnih bušotina je prošla kroz kavernu povezanu s izvorskim okom. Temeljem rezultata istražnih bušenja locirana su i izvedena 2 istražno-eksploatacijska zdenca, koji su probnim crpljenjem dali dobre rezultate. U drugoj fazi je izbušeno još 15 dodatnih istražnih bušotina s dobrim rezultatima (nabušene

kaverne). Temeljem rezultata istraživanja određen je koncept zahvata vode s 5 eksploatacijskih zdenaca i crpnom stanicom temeljenoj na 8 armirano-betonskih pilota raspoređenih u osmerokutu, što je danas izvedeno stanje. Probno crpljenje je pokazalo mogućnosti eksploatacije vode do 250 l/s u ljetnim sušnim razdobljima uz potpuno presušivanje izvorskog oka.

Izvorište Bolobani sastoji se od tri izvorska međusobno povezana oka, gdje su u razdoblju od 1983 do 1989 rađeni dosta opsežni vodoistražni radovi. Rađeno je probno crpljenje središnjeg izvorskog oka, izbušeno 7 istražnih bušotina, čišćenje piezometara komprimiranim zrakom, trasiranje iz jednog od perspektivnih piezometara i dva istražno-eksploatacijska zdenca, od kojih je na prvom rađeno probno crpljenje, a na drugom zbog pada interesa za kaptiranje tog izvora nikada nije rađeno. U dva od 7 istražnih bušotina su zbog nabušenih kaverni na dubinama oko 50 m ugrađene piezometarske cijevi. Rezultati izvedenih probnih crpljenja su pokazali da se u cijelom izvorištu tijekom ljetnih sušnih razdoblja može očekivati do 30 l/s vode.

Izvor Šumber pripada sustavu podzemnog tečenja s dotocima iz karbonatnog područja na lijevoj obali rijeke Raše. To je također krški izvor uzlaznog tipa, smješten u dolini uz karbonati masiv uz željezničku prugu Lupoglav – Luka Raša. I ovaj izvor je osamdesetih bio predmet detaljnih hidrogeoloških istraživanja. Izvedeno je 5 istražnih bušotina u neposrednom zaleđu izvora, uz željezničku prugu. Istraživanja su pokazala da postoje razlomljene zone na dubini do dvadesetak metara, kroz koju bi moglo biti aktivnih podzemnih tokova prema izvoru.

Izvor Grdak je smješten oko 1 km uzvodno rijekom Rašom od izvora Rakonek, kaptiranog za vodoopskrbu grada Pule, s kojim čini zajedničku zonu istjecanja velikog krškog vodonosnika u centralnom dijelu Istarskog poluotoka. Eksploatacija vode na izvoru Rakonek ima utjecaja na količine izviranja na izvoru Grdak, tako da tijekom ljetnih sušnih razdoblja izvor ostaje bez preljeva, a voda se zadržava u izvorskom oku i funkcionira principom spojenih posuda s izvorom Rakonek. U zoni izvora Grdak su osamdesetih godina prošlog stoljeća također rađena istraživanja s ciljem zahvata dodatnih količina pitke vode. U neposrednom zaleđu izvora izvedeno je ukupno 8 istražnih bušotina, od kojih su dvije u zoni potencijalnih podzemnih dotoka prema izvoru nabušene kaverne na dubini 18 – 28 m. Na jednoj od bušotina s kavernom izveden je istražno-eksploatacijski zdenac dubine oko 23 m. Zdenac nije dao očekivane rezultate zbog visokog stupnja kolmatacije podzemlja glinenim materijalom. Iz zdenaca je istiskivano samo 2-4 l/s vode uz sniženje oko 7 m. Nakon ponovljenog čišćenja zdenca u vrijeme visokih voda nije se dobio puno bolji rezultat. U uvjetima visokih voda je iz zdenca istiskivano svega 15 l/s vode. Istraživači su bili svjesni neočekivanih rezultata i pokrenuli su istraživanja u području povremenog izviranja između izvora Rakonek i Grdak napustivši neposredno zaleđe izvora Grdak. Izveli su još dodatne 4 istražne bušotine, gdje su na 2 nabušene kavernozne zone u dubinama za eksploataciju. Ispitivanja komprimiranim zrakom su pokazala relativno dobre rezultate.

Na području sliva Rječine i Bakarskih zaljeva koji pripada starteškim rezervama podzemne vode treće razine provedeni su vodoistražni radovi za potrebe utvrđivanja ukupne izdašnosti

crpilišta Martinšćica (2004) te novelacije granica zaštitnih zona vodocrpilišta riječkog vodoopskrbnog sustava (Munda i dr., 2009).

Na području IA zone sanitarne zaštite izvorišta Martinšćica uz kopane i bušene zdence B-1 do B-8, 1998. godine izbušena su dva zdenca (MB-1 i MB-2) uz sjeverozapadni rub uvale Martinšćica. Pokusno crpljenje bušenih zdenaca izvedeno je tijekom mjeseca rujna 2004. godine nakon praćenja hidrodinamičkih uvjeta unutar priobalne vodonosne sredine (1998. i 2000.) s naglaskom na praćenje za vrijeme sušnih ljetnih razdoblja (IGI, 2000.). Rezultati pojedinačnog pokusnog crpljenja pokazuju da maksimalna količina crpljenja zdenca MB-1 ne bi smjela prelaziti 50 l/s, a zdenac MB-2 moguće je crpiti i količinama preko 50 l/s. Nakon pojedinačnog crpljenja zdenaca izvedeno je i zajedničko pokusno crpljenje zdenaca MB-1 (40 l/s) i MB-2 (58 l/s). Crpljenje je trajalo približno 4 dana, kada je prekinuto radi jakih oborina koje su uzrokovale nagli i veliki porast RPV-e, te uvjeti crpljenja nisu odgovarali hidrološkoj situaciji u sušnom razdoblju kada se i crpilište Martinšćica koristi za javnu vodoopskrbu. Obzirom na hidrološke prilike u kojima je testiranje zdenaca izvedeno, pokusno crpljenje bi trebalo ponoviti u uvjetima suše i rada preostalih zdenaca, a sa ciljem utvrđivanja ukupne izdašnosti crpilišta.

Novelacija granica zona zaštite provedena je prema *Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite* (NN 55/02) samo za izvorišta koja su namijenjena vodoopskrbi uključujući zdenac Marganovo u Tvornici papira koji je u planu za uključivanje u izvorišta riječkog vodoopskrbnog sustava. Sukladno navedenom, a temeljem analize i interpretacije provedenih hidrogeoloških istraživanja od 1994. godine i trasiranja podzemne vode na širem prostoru Grobničkog polja, izvedena je novelacija granica zona sanitarne zaštite koja se dijelom značajno izmjenjuje u odnosu na dosadašnje usvojene granice, a dijelom je izvedena djelomična korekcija, IB zone zaštite izvorišta Zvir i Perilo-galerija u Bakarskom zaljevu, II zone zaštite izvorišta u Bakarskom zaljevu, III zone zaštite izvorišta Zvir na području Klane i za izvorišta Bakarskog zaljeva, a zona zaštite vodoopskrbni rezervat za izvorišta Bakarskog zaljeva, uz manje korekcije definira se kao IV zona sanitarne zaštite, a obuhvaća slivno područje između granice III zone zaštite i granice sliva, odnosno razvodnice Crnomorskog i Jadranskog sliva i razvodnice sliva izvorišta Zvir i Martinšćica i izvorišta Bakarskog zaljeva. Na tom prostoru izvedena su ograničena hidrogeološka istraživanja, a provedena regionalna i lokalna trasiranja potvrđuju generalni tok podzemnih voda sjever-jug i sjeverozapad-jugoistok ne opravdava potrebu za visokim režimom zaštite propisanim vodoopskrbnim rezervatom za izvorišta uključena u vodoopskrbu.

Ovakav pristup usuglašen s važećim propisima omogućava u najvećoj mjeri zaštitu zdravstvene ispravnosti vode i izdašnost izvorišta, održivi razvoj prostora i osigurava zaštitu područja na kojima se hidrogeološkim radovima u budućnosti namjeravaju pronaći nove količine vode za riječki vodoopskrbni sustav.

Za potrebe novelacije zaštitnih zona izvorišta zahvaćenih za javnu vodoopskrbu **na području grada Rijeke i Bakarskog zaljeva** izvedeno je trasiranje iz ponora Rupa kod Donjeg Jelenja i iz bušotine DB-1, koja se nalazi u nekadašnjoj šljunčari na jugoistočnom rubu Grobničkog polja (Kuhta i dr., 2009). S obzirom na to da su trasiranja planirana s istom namjenom, te na

hidrogeološki bliskim područjima, zbog čega je u oba slučaja trebalo opažati ista mjesta istjecanja, izvedeno je simultano trasiranje s dva različita trasera.

Naime, u hidrogeološkoj praksi dobro je poznato da su rezultati trasiranja s različitih lokacija na nekom području međusobno usporedivi, ukoliko se ona izvode u sličnim hidrološkim uvjetima. Nadalje, za tumačenje hidrogeloških odnosa i karakterizaciju krškog vodonosnika na interesnom području, najbolji ulazni parametri dobivaju se istovremenim trasiranjem s više lokacija, pri čemu je nužno koristiti različite vrste trasera.

Istovremeno trasiranje ponora Rupa kod Gornjeg Jelenja i bušotine DB-1 na jugoistočnom rubu Grobničkog polja izvedeno je 14. veljače 2009. godine u optimalnim hidrološkim uvjetima, odnosno pri povlačenju visokog vodnog vala. Ponor Rupa trasiran je sa 75 kg Naphthionata, dok je u bušotinu ubačeno 50 kg uranina i 20 kg NaOH.

Izvedbom dvostrukog trasiranja pokazano je da se u istim hidrološkim uvjetima, vode s ponora Rupa na zapadnom rubu Grobničkog polja dreniraju prema izvorima u gradu Rijeci, dok se jugoistočni rub polja pretežito drenira prema izvorima u Bakarskom zaljevu. Niti na jednom od 19 opažanih izvorišta nije zabilježena pojava oba korištena trasera. Dakle, mjesta ubacivanja nalaze se u potpuno odvojenim priljevnim područjima.

Podzemna vodna veza ponora Rupa dokazana je s izvorima u gradu Rijeci: Mlaka, Rikard Benčić, Zvir i Marganovo. Traser nije utvrđen u vodi zdenaca unutar galerijskog vodozahvata Zvir II (uzorkovani su zdenci B-2, 3, 5 i 6), niti u kanalu izvora Školjić. Najveća prividna brzina toka od 7,9 cm/s i koncentracija trasera 0,0948 mg/L utvrđene su prema izvoru Zvir. Ove vrijednosti približno odgovaraju onima dobivenim pri trasiranju 1974. godine. Trasiranjem je potvrđena i prethodno konstatirana veza s bunarom-izvorom Marganovo 27 (Tvornica papira). Ovdje neupitno potvrđena veza prema izvorima Mlaka i Rikard Benčić, ranije nije bila konstatirana.

Trasiranjem bušotine DB-1 potvrđena je podzemna vodna veza jugoistočnog dijela Grobničkog polja s izvorima u području Bakarskog zaljeva. Traser u visokoj koncentraciji utvrđen je na izvorima Jaz, Perilo i Lovrijenac u Bakru, te na izvorima Podbok, Dobra, Dobrica i u uvali Črno. Traser se nije pojavio samo na krajnjem opažanom izvoru Žminjci kod Bakarca. Najbrža vodna veza utvrđena je s izvorištem Jaz (5,05 cm/s) i Perilo (4,25 cm/s). Snažan drenažni pravac potvrđen je i prema zahvaćenim izvorima Dobra i Dobrica (2,69 i 3,41 cm/s). Veza vodozahvata Martinšćica s bušotinom DB-1 nije pouzdano utvrđena. Ukoliko se vrlo niske koncentracije trasera usvoje kao pokazatelji vodne veze, za što ima elemenata, prividne brzine toka su oko 1,45 cm/s. Relativno mala prividna brzina i vrlo niska koncentracija trasera, premda je on ubačen u dovoljnoj količini, pokazuju da i ako veza postoji, napajanje vodozahvata vodama s tog dijela Grobničkog polja vrlo je malo.

Zaključno se može konstatirati da u danim hidrološkim prilikama, te uz režim ograničenog crpljenja, vodozahvat na Martinšćici nema vezu s ponorom Rupa na zapadnoj strani Grobničkog polja. Veza s bušotinom DB-1 na njegovom jugoistočnom dijelu nije pouzdano utvrđena.

Za usporedbu, prvo trasiranje ponora Rupa izvedeno je 6. veljače 1974. godine u 04 sata. Tada je u ponor ubačeno 60 kg Na-fluoresceina (uranin čistoće 50 %). U vrijeme ubacivanja u ponor je uviralo oko 100 L/s vode s tendencijom smanjenja protoka. Međutim, nakon ubacivanja trasera započela je jaka kiša, što je do kraja dana rezultiralo višestrukim povećanjem dotoka i formiranjem predponorske retencije. U takvim uvjetima prva pojava boje registrirana je već 7.02. u 04 na izvoru Zvir u Rijeci. Maksimalna koncentracija zabilježena je istoga dana u razdoblju od 10 do 14 sati (0,1 mg/L). Osim na izvoru Zvir pojava boje registrirana je i na izvoru Marganovo u Tvornici papira i to 8.02. u 08 sati. Maksimalna koncentracija zabilježena je 11.2. u 20 sati (0,01 mg/L). Na ostalim mjestima opažanja pojava boje nije registrirana, iako je opažanje trajalo zaključno do 1. ožujka. Prema izvoru Zvir izračunate su visoke prividne brzine od 7,29 cm/s, a prema izvoru u Tvornici papira 3,76 cm/s.

U cilju prikupljanja dodatnih podataka potrebnih za definiranje položaja razvodnice sliva izvorišta Martinšćice i izvorišta u Bakarskom zaljevu, te utvrđivanja prividne brzine podzemnog toka vode prema izvorištu Martinšćice, a s tim u svezi za novelaciju zona sanitarne zaštite riječkih izvorišta izvršeno je trasiranje urušnog udubljenja u polju zapadno od Podhuma. Trasirano urušno udubljenje nalazi se oko 500 m zapadno od Podhuma, na predjelu polja zvanom Vukovica. Trasiranje je izvedeno 30. siječnja 2013. godine u 11 sati s 60 kg Na-naphthionata, a u uvjetima dugotrajne dobre saturiranosti podzemlja i pri kraju povlačenja visokog vodnog vala.

Trasiranjem je potvrđena veza područja Grobničkog polja između Podhuma i Dražica s izvorima na području grada Rijeke, ali i s izvorištem Martinšćica. Podzemna vodna veza utvrđena je s izvorima Zvir, Brajda, Mlaka i Pioppe u Rijeci, te bunarom B-3 na vodocrpilištu Martinšćica. Veza s izvorom Cerovica u brodogradilištu 3. maj, te s izvorima Jaz/Perilo, Dobra i Dobrica u Bakarskom zaljevu nije utvrđena. Prva pojava boje registrirana je na izvoru Zvir 59 sati nakon ubacivanja uz prividnu brzinu toka od 2,58 cm/s. Nakon toga pojave trasera registrirane su na izvorima Brajda (70 sati; 2,62 cm/s), Mlaka (70 sati; 2,75 cm/s) i potom na izvoru Pioppe (82 sata; 2,62 cm/s). Maksimalna koncentracija na izvoru Zvir zabilježena je nakon 73 sata uz prividnu brzinu 2,08 cm/s. Prva pojava trasera na bunaru B-3 vodocrpilišta Martinšćica konstatirana je 3.2. oko 17 sati, odnosno 102 sata nakon njegovog ubacivanja. S obzirom na udaljenost proizlazi maksimalna prividna brzina podzemnog toka od 1,89 cm/s. Maksimalna koncentracija zabilježena je 7 sati kasnije i iznosila je 0,006 mg/L (prividna brzina nailaska max. koncentracije 1,73 cm/s).

Glavnina podzemnog drenažnog sustava orijentirana je prema izvoru Zvir, dok manji dio voda otječe prema Martinšćici. Zonarna podzemna razvodnica između slivova Martinšćice i Bakarskih izvora prolazi predjelom brda Podhum ili istočno od njega.

Tijekom 2012. godine započela su istraživanja **izvora Rječine i sjeverozapadnog ruba Grobničkog polja**. Vodoistražni radovi pokrenuti su s ciljem pronalaženja novih resursa pitke podzemne vode u znatno manje ugroženim višim dijelovima sliva, budući da je postojeći sustav vodoopskrbe šireg Riječkog područja izložen sve većem utjecaju razvoja, urbanizacije i prirodnih promjena u krškom vodonosnom sustavu. To se odnosi na zaleđe izvora Rječine i zone povremenih izvora uz jugozapadni rub Grobničkog polja u predjelu Podkilavca.

Zbog specifičnosti i složenosti istraživanja na krškim područjima, te najekonomičnijeg pristupa rješavanju zadatka, vodoistražni radovi provoditi će se u tri faze. Prva faza, koja je trenutno u izradi uključuje hidrogeološka opažanja, hidrogeokemijska i izotopna istraživanja uz izradu modela srednjeg vremena zadržavanja vode u vodonosnom sustavu. Druga faza je detaljno hidrogeološko kartiranje i geofiziška ispitivanja za potrebe lociranja istražnih bušotina, a treća obuhvaća izradu istražnih bušotina i istraživačko-eksploatacijskih zdenaca, te provedbu pokusnih crpljenja.

Osnovni ciljevi prve faze istraživanja su utvrđivanje hidrodinamičkih odnosa u zaleđu izvora Rječine i zone povremenog istjecanja podzemnih voda uz zapadni rub Grobničkog polja (Luzac - Rastinjica). Uz paralelno uzorkovanje, kemijske i izotopne analize podzemnih voda i oborina, prikupiti relevantne ulazne podatke za izradu modela srednjeg vremena zadržavanja vode u vodonosnom sustavu, analizu napajanja i ocjenu vodnog potencijala razmatranog područja. Rezultati istraživanja trebaju potaknuti i usmjeriti ili osporiti daljnja ulaganja u detaljna hidrogeološka istraživanja vezana uz formiranje vodozahvata uz zapadni rub Grobničkog polja.

Rezultati istraživanja trebaju doprinijeti boljem poznavanju hidrogeoloških odnosa na razmatranom prostoru i donijeti nove spoznaje korisne za eventualne projektiranje površinske akumulacije nizvodno od izvora Rječine, te za ocjenu vodnog potencijala i mogućnost formiranja vodozahvata na Grobničkom polju. Istraživanja se odnose na jednogodišnji ciklus uzorkovanja oborina i podzemnih voda u zaleđu Rječine i izvorišne zone zapadnog ruba Grobničkog polja, te uspostava sustava kontinuiranog praćenja dinamike podzemnih voda i količina istjecanja. Laboratorijskim analizama utvrditi sadržaj stabilnih izotopa kisika i vodika ($^{18}\text{O}/^2\text{H}$), te osnovnih fizikalno-kemijski parametara na prikupljenim uzorcima.

Rezultat ove, prve faze radova je izrada modela za određivanje srednjeg vremena zadržavanja vode u podzemnom vodonosnom sustavu te hidrogeološka reinterpretacija dobivenih rezultata.

U **slivu Jadra i Žrnovnice** provedeno je devet trasiranja, a izvan sliva relevantno je jedno trasiranje izvedeno na području sliva rijeke Krke. Dva trasiranja su bila regionalnoga karaktera, jedno iz istočnoga te jedno iz sjevernoga rubnog dijela sliva. Izvedeno trasiranje izvan samoga razmatranog sliva, kod Kljaka u slivu rijeke Krke, obuhvatilo je i opažanje izvora Jadra i Žrnovnice i Pantana. Trasiranja su se provodila prema sljedećem redoslijedu:

1. Trasiranje ponora kod Grabova mlina u dolini rijeke Cetine, u koji voda ponire u sušnom razdoblju, provedeno je 11. rujna 1963. ubacivanjem trasera - natrijeva fluoresceina. Trasiranjem je dokazana podzemna veza ovog dijela terena s izvorima Jadro i Žrnovnica.
2. Trasiranje ponora Jablan u Mućkom polju izvedeno 14. siječnja 1978. sa 120 kg natrijeva fluoresceina. U ponor je utjecao tok vode izdašnosti oko 300 l/s. Pojava boje registrirana je na izvorima Jadra i Žrnovnice s vrlo velikim prividnim brzinama od 10,58 cm/s (Jadro) i 12,18 cm/s (Žrnovnica).

3. Trasiranje ponora Čulina mlinica kod Kljaka provedeno je 24. listopada 1990. sa 100 kg natrijeva fluoresceina. U vrijeme trasiranja u ponor je poniralo oko 5 l/s vode. Trasiranje je izvedeno nakon dugoga sušnog razdoblja neposredno prije prognoziranе kiše. Opažanja su vršena na izvorima Torak, Jaruga, Ribnik, Pantan, Jadro i Žrnovnica. Rezultati provedenoga trasiranja u vrijeme hidrološki niskih voda pokazuju sigurnu i izravnu vezu ponora s izvorom Torak i znatno slabiju s izvorom Jaruga. Prividne brzine tečenja podzemnih voda su vrlo male te iznose 0,77 cm/s (Torak) i 0,71 cm/s (Jaruga).
4. Trasiranje ponora Ponikve u Strijanskom polju kod Putišića provedeno 28. ožujka 1992. Ustanovljena je pojava trasera na Žrnovnici i Jadru uz prividne brzine podzemnog tečenja 3,07 odnosno 3,80 cm/s.
5. Trasiranje toka podzemne vode iz Colića ponora u Dugopolju provedeno je 12. veljače 2004. Pojava trasera opažala se na izvorima Jadra i Žrnovnice, međutim dokazana je veza ponora samo s izvorom Jadra uz prividnu brzinu podzemnog tečenja 1,22 cm/s.
6. Trasiranje bušotine B-2 na području Kladnjica izvedeno je 16. kolovoza 2004. u hidrološki sušnom razdoblju. Pojava boje opažala se do sredine prosinca 2004. na izvorima Jadra, Žrnovnice, Rupotine, Tupinoloma, Raduna i Pantana. Nakon četiri mjeseca opažanja boja se nije pojavila ni na jednom od spomenutih izvora.
7. Tijekom godine 2006. izvedeno je trasiranje iz speleološkoga objekta – prirodne jame na području Kladnjica – dubine 32 m, a ubačeno je 60 kg natrijeva fluoresceina. U opažanje su bili uključeni izvori Žrnovnica, Jadro, Tupinolom, Fuležina, Pantan, Marina, Ribnik, Jaruga I, Jaruga II, Torak i Gospa Stomorija. Boja je registrirana samo na izvoru Jadra, 66 dana i 20 sati nakon ubacivanja trasera, a prividna brzina toka podzemne vode iznosila je 0,44 cm/s.
8. Trasiranje ponora u Postinju provedeno je 8. veljače 2008. ubacivanjem 100 kg natrijeva fluoresceina pri srednje visokim vodama. Tijekom trasiranja izdašnost Jadra bila je u kontinuiranom porastu i u trenutku pojave boje dosegla je 28 m³/s. Traser se najprije pojavio nakon 19 dana na izvoru Ribnik u Morinjskom zaljevu s prividnom brzinom podzemnog tečenja od 2,179 cm/s, a istjecao je u razrjeđenju koje nije bilo vidljivo golim okom. Sljedeća pojava boje registrirana je na izvoru Jadra 23. ožujka 2008. s prividnom brzinom tečenja 0,553 cm/s. Četiri dana kasnije, 27. ožujka, pojava trasera registrirana je na izvoru Mandrača u Marini s prividnom brzinom podzemnog tečenja 0,759 cm/s. Pojava trasera nije registrirana na ostalim vodnim objektima na kojima je provedeno uzorkovanje (izvori Čikole, Torak, Jaruga, Pantan, Grebaštica, Žrnovnica).
9. Trasiranje ponora u Biskom polju provedeno je 15. siječnja 2010. ubacivanjem 50 kg natrijeva fluoresceina i njegovim kontinuiranim ispiranjem prirodnim površinskim tokom procijenjene izdašnosti od 150-200 l/s. Traser se pojavio samo na izvorima Jadra i Žrnovnice, a na izvorištu Studenci u slivu Cetine i rijeci Cetini na mostu kod Blata traser se nije pojavio niti u tragovima. Trasiranje je provedeno u uvjetima visokih voda. Izmjerene prividne brzine upućuju na privilegiran tok iznimne brzine

prema izvoru Jadra (oko 6,7 cm/s) uz visok pronos od oko 80% trasera. Što se tiče izvora Žrnovnice, registrirana prividna brzina je znatno niža (oko 1,9 cm/s), što je relativno sporo s obzirom na hidrološke uvjete u kojima je trasiranje provedeno. To je u potpunosti u skladu s do sada registriranim prividnim brzinama tečenja u slivu Jadra i Žrnovnice.

10. Ponovljeno trasiranje podzemnih tokova, iz sjeverozapadnog dijela sliva iz ponora Jablan u Donjem Muću obavljeno je 22.05. 2012. godine sa 60 kg Na fluoresceina i 10 kg NaOH. Opažanje trasera i prikupljanje uzoraka obavljalo se na deset lokacija na širokom prostoru između rijeke Krke na zapadu i izvorišta Studenaca na rijeci Cetini na istoku: Jurjevića vrelo (Studenci), Žrnovnica, Jadro, Pantan, Rimski bunar, Mandrača (Marina) Grebaštica, Ribnik, Jaruga i Torak. Prva pojava trasera registrirana je samo na izvoru Jadra 17.06. 2012. u 14 h, nakon nešto više od 26 dana, što znači da je tekao prividnom brzinom od 0,74 cm/s. Traser je istjecao na izvoru 9 dana, do 25.06.2012 u 22 h i isteklo ga je 69,3 %. Ostatak trasera vjerojatno je razrijeđen u podzemlju na koncentracije niže od granice određivanja te se i nakon dva mjeseca opažanja nije detektirao niti na jednom očekivanom mjestu istjecanja.

U cilju daljnje zaštite i upravljanja vrijednim strateškim rezervama podzemnih voda na području **sliva izvora Jadro i Žrnovnica** od 2005. do 2012. godine provedena su vrlo detaljna studijska interdisciplinarna istraživanja, koja su rezultirala Studijom upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice (Kapelj i dr., 2006, 2008, 2009, 2012). Studija je imala za osnovni cilj uspostavu trajnog monitoringa količine i kakvoće podzemnih voda u slivu i razvoj efikasnih modela upravljanja vrijednim resursima podzemne vode s ciljem njezine zaštite uz istovremeni gospodarski razvoj na prostoru sliva.

Provedena istraživanja obuhvatila su inventarizaciju raspoloživih podloga, geološka, morfološka, strukturna, hidrološka i hidrogeološka istraživanja, trasiranja podzemnih tokova, izotopno - geokemijske analize, istraživačko bušenje, uspostavu monitoringa ekoloških pokazatelja i hidrometeoroloških parametara, istraživanje dinamike podzemnih tokova i uspostavu mjera zaštite voda za akcidentne situacije u slivu.

Na temelju rezultata geološko-strukturne i hidrogeološke karakterizacije prostora te rezultatima provedenih trasiranja podzemnih tokova, na četiri mjesta u različitim dijelovima sliva izbušene su četiri opažačko - piezometarske bušotine namijenjene motrenju razine i kakvoće podzemnih voda. Prva bušotina (B-1, 300 m dubine) izbušena je na području Dugopolja. Dvije opažačko - piezometarske bušotine, Gizdavac (B-3; 350 m dubine) i Konjsko (B-2; 300 m), locirane su duž pravca gdje je ustanovljena najbrža podzemna vodna veza prema izvorima Jadra i Žrnovnice. To je ujedno i područje koncentriranja svih doprinosa iz zapadnih i sjeverozapadnih dijelova sliva. Četvrta istražno opažačka bušotina izbušena je na Biskom polju (B-4; 300 m dubine) na križanju dvije rasjedne zone zbog mogućega praćenja utjecaja sliva rijeke Cetine. Bušotine u Dugopolju i Gizdavcu opremljene su za kontinuirano motrenje razine i kakvoće podzemne vode.

U okviru vrlo opsežnih i složenih hidrogeoloških istraživanja prvi put su potvrđeni i uspostavljeni odnosi područja napajanja izvora Jadra duž zapadne granice sliva gdje se zonalna razvodnica premješta zapadnije i južnije u odnosu na izvore u slivu Krke (Jaruga i

Torak). Prvi put su egzaktno potvrđeni i ustanovljeni odnosi vezani za slivne odredbe gdje se utjecaj zajedničkoga sliva pod razmatranim hidrološkim prilikama sa slivom Jaruge pomiče prema istoku. Zapadna granica sliva zonalnoga je karaktera, a ustanovljena je na području Postinja gdje je dokazano da Jaruga i Jadro dijele isti dio sliva pod različitim hidrološkim uvjetima. Razdoblje hidrološki niskih voda usmjerilo je traser prema Morinjskom zaljevu (izvorište Ribnik) i prema Marini kod Trogira, a nakon obilnijih oborina traser se prelio prema Jadru.

Uspostava mjera zaštite voda za akcidentne situacije u slivu uključila je izradu karata specifične ranjivosti slivnog područja s odgovarajućom strukturiranom bazom podataka u digitalnom obliku za različite vrste onečišćenja u slivu s obzirom na njihovo ponašanje u tlu, nezasićenoj i zasićenoj zoni krškog vodonosnika, ispitivanje prihvatnog kapaciteta tla s obzirom na odabrane anorganske, organske i mikrobiološke pokazatelje, geokemijsko modeliranje pojedinih vrsta onečišćenja s obzirom na geokemijske uvjete u tlu, nezasićenoj zoni i vodonosniku, modeliranje transporta različitih vrsta onečišćenja kroz tlo i nezasićenu zonu, određivanje osnovnih hidrokemijskih i izotopnih pokazatelja na temelju povremenog uzimanja uzoraka iz bušotina na Dugopolju i Gizdavcu i izvora Jadra i Žrnovnice, analizu kemograma i izotopograma u kombinaciji s hidrogramima istjecanja, metodologiju sanacije svih kritičnih lokaliteta koji ne zadovoljavaju ekološke kriterije zaštite, te izradu planova intervencije kod mogućih akcidenta (iznenadno izlivanje opasnih i drugih tvari koje mogu pogoršati kakvoću podzemnih voda).

Rezultati istraživanja upućuju na iznimnu prirodnu ranjivost (osjetljivost) podzemnih voda u slivu Jadra i Žrnovnice od utjecaja onečišćenja s površine terena. Uspostava sustava motrenja razine i kakvoće podzemne vode u slivu pomoću dubokih istražno - piezometarskih bušotina u tom smislu omogućava pravovremene informacije o količini i kakvoći podzemnih voda unutar sliva važnih za vodoopskrbu grada Splita i šire okolice, kao i pravovremenu informaciju o mogućim akcidentnim situacijama u različitim dijelovima sliva. Priljevno područje izvora Jadra i Žrnovnice je na području Hrvatske prvi krški sliv praćen pomoću dubokih opažачkih bušotina.

Od 2004 do 2007 godine **na području Varaždinske i Međimurske županije** provedena su istraživanja utjecaja onečišćenja na kakvoću podzemne vode. Cilj i namjena istraživanja bila je na području županija, unutar vodozaštitnih područja utvrditi postojeću poljoprivrednu proizvodnju, te na temelju analize hidrogeoloških i pedoloških obilježja, te analize kakvoće tala i podzemne vode ekološki valorizirati pojedina vodozaštitna područja, zatim utvrditi ekonomsku učinkovitost postojeće poljoprivredne proizvodnje, stanje biljne proizvodnje i na temelju toga dati smjernice za promjenu stanja i predložiti mjere za ostvarenje tih smjernica, te konačno ukoliko se na temelju postojećeg stanja utvrdi da je to potrebno, preporučiti alternativne oblike poljoprivredne proizvodnje.

U sklopu istraživanja provedena su terenska hidropedološka, te laboratorijska istraživanja, a istraživanja su provedena unutar važećih zona sanitarne zaštite crpilišta Varaždin, Bartolovec, Vinokovšćak, Prelog i Nedelišće. Navedene zone zauzimaju površinu od oko 200 km². Terenska hidropedološka istraživanja obuhvatila su otvaranje pedoloških profila do 2m

dubine, uzimanje uzoraka tla za pedofizikalne i pedokemijske laboratorijske analize i otvaranje sondažnih bušotina do dubine šljunka.

U sklopu laboratorijskih istraživanja obrađena su osnovna pedofizikalna i pedokemijska svojstva. Od pedofizikalnih svojstva obrađen je teksturni sastav, vodopropusnost, porozitet, kapacitet za vodu i zrak, a od pedokemijskih svojstava pH, humus, sadržaj fiziološki aktivnih hranjiva, te sadržaj teških metala (Fe, Mn, Cd, Pb, Zn, Ni, Cr, Hg).

Na temelju analize hidrogeoloških i pedoloških obilježja, te analize kakvoće tala i podzemne vode načinjena je ekološka valorizacija vodozaštitnih područja, te je prikazan utjecaj poljoprivrede i drugih načina korištenja zemljišta na prodor onečišćenja do vodonosnog horizonta na vodozaštitnim područjima.

Za potrebe istraživanja drugog vodonosnog sloja u Varaždinskoj županiji izvedeni su i vodoistražni radovi koji su obuhvatili bušenje 4 istražno-piezometarske bušotine. Utvrđeno je da je drugi vodonosni sloj nejednolikog dubinskog javljanja u prostoru, te da isklinjava u smjeru zapada. Vodonosni sloj izgrađen je od pjeskovitog šljunka, izmjenjuju se propusniji i slabije propusni proslojci promjenjivih debljina, 40 do 80 cm.

Tijekom 2008. godine za vodocrpilišta u sustavu regionalnog vodovoda Varaždin načinjene su zone sanitarne zaštite (Bačani & Posavec, 2008). Zone zaštite za crpilišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovčak određene su prema tada važećem Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite (NN 55/02), kojim su za crpilišta u vodonosnicima s međuzrnskom poroznosti bile predviđene tri zone. III. zona - zona ograničenja i kontrole obuhvaća područje izvan granice II. zone do granice izračunatog područja napajanja. II. zona - zona strogog ograničenja obuhvaća područje izvan granice I. zone do linije od koje podzemna voda ima minimalno vrijeme zadržavanja u podzemlju od 50 dana prije ulaska u vodozahvatni objekt i I. zona - zona strogog režima zaštite čija granica mora biti udaljena od građevina za zahvat vode najmanje 10 m na sve strane i mora biti ograđena.

Tijekom 2011. godine stupio je na snagu novi Pravilnik (NN 66/11) o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta kojim se mijenjaju odredbe o III. zoni zaštite, te je tijekom 2012/2013 godine načinjena novelacija zaštitnih zona crpilišta (Bačani & Posavec, 2013). S obzirom da su predviđene količine crpljenja za sva tri crpilišta veće od 100 l/s, izrađen je matematički model strujanja podzemne vode na očekivanom priljevnom području crpilišta s određivanjem granice područja napajanja za minimalno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju u trajanju od 25 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu za crpilišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovčak, a prijedlog III. zone sanitarne zaštite prikazan je na grafičkoj podlozi M 1:25.000.

Tijekom 2007. godine načinjene su zone sanitarne zaštite za crpilišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija, a određene su prema tada važećem Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite (NN 55/02) (Bačani & Posavec, 2008).

Tijekom 2011. godine stupio je na snagu novi Pravilnik (NN 66/11) o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta kojim se mijenjaju odredbe o III. zoni zaštite, te je tijekom 2012/2013 godine načinjena novelacija zaštitnih zona crpilišta (Bačani & Posavec, 2014). U

tom cilju načinjena je novelacija numeričkog modela strujanja podzemne vode na očekivanom priljevnom području izvorišta s određivanjem granice područja napajanja za minimalno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju u trajanju od 25 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu za izvorište Nedelišće, 25 i 15 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu za izvorište Prelog, te 15 i 5 godina horizontalnog toka, prije ulaza u vodozahvatnu građevinu za izvorište Sveta Marija. Također je načinjena i novelacija prikaza kakvoće podzemne vode, katastra onečišćivača, te prijedloga mjera zaštite izvorišta te načelnog prijedloga sanacijskih zahvata na postojećim objektima unutar zona zaštite izvorišta, a prijedlog Odluke o zaštiti izvorišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija izrađen je na grafičkoj podlozi M 1:25.000.

2.4. Strateške zalihe podzemne vode četvrte razine

Prva jasno osmišljena hidrogeološka istraživanja na području **CPV Neretva** izvedena su u sklopu Hidrogeološke studije područja Metković-Dubrovnik-Konavle (Bojanić & Ivičić, 1984). Autori su na hidrogeološkoj karti mjerila 1:100.000 izdvojili slivove i prikazali hidrogeološke značajke naslaga i njihovu hidrogeološku funkciju u strukturnom sklopu. Svrha istraživanja je bila utvrđivanje mogućnosti rješavanja vodoopskrbe za lokalne potrebe, ali i za šire priobalno Dubrovačko područje koje oskudijeva vodom.

1987. godine još jednom su pokrenuta detaljna hidrogeološka istraživanja u cilju rješavanja plavljenja Konavoskog polja (Goatti, 1987.). U radu je predložen i kasnije izgrađen hidrotehnički tunel kojim se odvodi voda u more. Tim zahvatom je znatno smanjena površina, a i vremensko razdoblje plavljenja jugozapadnog dijela Konavoskog polja.

Na području sliva izvora Ljuta, u cilju utvrđivanja zona sanitarne zaštite izvorišta provedena su hidrogeološka istraživanja (Dukarić i dr., 2007). Obuhvaćeno krško područje sliva izvorišta Ljute pripada morfološki veoma raščlanjenom brdsko-planinskom dijelu općine Konavala, koje seže na istoku do granice s R. Crnom Gorom, a na sjeveru do granice s R. Bosnom i Hercegovinom. Istraživanja su uključila geološku i hidrogeološku obradu, te trasiranje podzemnih tokova, a na temelju detaljnog kartiranja neposrednog zaleđa izvorišta Ljute i rekognosciranja priljevnih područja sliva, kao i korištenja postojećih geoloških podloga i podataka, te rezultata regionalnih hidrogeoloških istraživanja, koja su u razmatranom području izvedena za različite namjene. Provedenim istraživanjima nadopunjene su dosadašnje spoznaje o vodnom sustavu koji se drenira na zahvaćenom izvorištu pitke vode Ljute na vodnom području općine Konavle. Priljevna područja sliva koja se dijelom nalaze u jugoistočnoj Hercegovini, obilježava tipični krški režim toka i istjecanja, te uskladištenja i obnavljanja podzemne vode. Obzirom da gotovo i nema hidrodinamičkih podataka o brzini i smjeru toka podzemne vode granice sliva nisu pouzdane. Razvodnice sliva su najvećim dijelom smještene unutar propusnog krškog područja, te su uvjetovane i mijenjaju se s visinom vodostaja, odnosno stanjem zasićenosti podzemlja vodom. Zbog toga je geometrija sliva prostorno i vremenski podložna brzim i naglim promjenama, što istodobno utječe i na promjene njegovog površinskog i podzemnog hidrodinamičkog režima. Sve to, također, stvara i najveće poteškoće pri određivanju površine i vodne bilance sliva izvorišta Ljute.

Krška voda izvorišta Ljute istječe na površinu u podnožju Konavoskih brda u dnu jaruge, gdje i započinje istoimeni stalni vodotok, koji se nastavlja prema jugozapadnom ponornom dijelu Konavoskog polja. Pri tome, valja ukazati, da se izvorište Ljute nalazi na nadmorskoj visini približno 100 m, što je vrlo značajno za dugoročno ekonomsko vrednovanje vodnog bogatstva na vodnom području općine Konavle, Dubrovačko-neretvanske županije.

Trasiranje podzemnih tokova vode izvršeno je iz jame Kunak 11. siječnja 2007. godine u 12 sati sa 16 kg Na-fluoresceina i 8 kg natrijevog hidroksida. Ukupno je opažano šest (6) vodnih pojava, od izvora Lovorno, pa sve do izvora Vodovađe na jugoistočnom rubu Konavoskog polja. U vrijeme trasiranja i tijekom opažanja izvori su imali različitu izdašnost, odnosno izdašnost im je postupno opadala. Opažanje pojave istjecanja trasera i uzorkovanje na izvorima trajalo je 79 dana. Na temelju rezultata analiza uzoraka vode ni u jednom od opažanih izvora nije utvrđena prisutnost trasera.

Temeljem provedenih geoloških i hidrogeoloških istraživanja, kao i raspoloživih podataka u suglasju s važećim Pravilnikom o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta, (NN br. 55/2002) načinjen je "prijedlog zona sanitarne zaštite izvorišta Ljute" na vodnom području općine Konavle, Dubrovačko-neretvanske županije.

Za praktično djelovanje i provođenje preventivnih mjera i postupaka zaštite, prema stupnju opasnosti i riziku od mogućeg realnog onečišćenja podzemne vode, određene su Ia zona sanitarno-tehničke zaštite (zona strogog režima), Ib zona sanitarno-tehničke zaštite (zona neposredne zaštite) i vodoopskrbni rezervati. Zaštitni prostori zona sanitarno-tehničke zaštite prikazani su na topografskim podlogama mjerila 1:1.000, 1:5.000 i 1:25.000.

Slivno područje izvorišta Ljute prelazi granice općine Konavle, odnosno sjeverna granica sliva nalazi se u jugoistočnoj Hercegovini. Zbog toga očuvanje i zaštitu kakvoće vode izvorišta Ljute ovog dijela sliva trebale bi zajednički riješiti institucije R. Hrvatske i R. Bosne i Hercegovine.

U cilju utvrđivanja mogućnosti vodoopskrbe **područja Gornjih sela iznad Orašca**, unutar **CPV Neretva**, zahvaćanjem podzemne vode na hidrogeološki povoljnim lokacijama, provedeni su istražni radovi (Estavela, 2006.). Hidrogeološki istražni radovi obuhvatili su terensko kartiranje, fotogeološku, strukturno-tektonsku i litološku analizu šireg područja površine oko 20 km², te izradu hidrogeološke karte šireg područja površine M 1:25 000. Temeljem rezultata istraživanja na hidrogeološkoj karti izdvojena su perspektivna područja Ljubač, Gromača i Kliševo za daljnja istraživanja. Za izdvojena perspektivna područja izrađene su detaljne hidrogeološke karte M 1:5000, te su određene lokacije i prognozni parametri istražnih bušotina.

Na području općine Zažablje, u **CPV Neretva**, provedeni su vodoistražni radovi u svrhu zahvata vode u zaleđu izvorišta Bijeli vir, Mlinište, Mislina i Nebušnik (Šimunić i dr., 2011.). Ranija istraživanja pokazala su da se voda koja izvire u navedenim izvorima nakuplja na prostranom krškom području između Popovog polja i doline Neretve, te se na svom putu onečišćuje, možda i zaslanjuje, pa se stoga mora zahvatiti prije nego li dođe do toga.

U svrhu pronalaska podzemnih tokova provedena su geološka i hidrogeološka istraživanja, fotogeološka obrada, geofizičko istraživanje i istražno bušenje. Tijekom sušnog razdoblja 2011. godine, uzvodno od izvorišta Bijeli Vir, na području Bobovišta, izbušena je istražno-pijezometarska bušotina (ZP-1). Rezultati bušenja potvrdili su hidrogeološki model za istraživano područje što bi se trebalo iskoristiti kod bušenja istražno-eksploatacijskog zdenca.

Na istraživanom području postoje četiri velika izvorišta koja se sastoje od jednog do tri velika stalna, nekoliko srednjih te puno malih i povremenih izvora. Među velike spadaju Bijeli vir, Mlinište i Mislina, a manje je izvorište Nebušnik. Zbog velike izdašnosti izvora može se zaključiti da njihova voda pritječe po prostranim podzemnim kanalima koje bi trebalo speleološki istražiti.

Na području **općine Dubrovačko primorje**, u naselju Doli, u razdoblju od 2006. do 2009. godine, u cilju zahvaćanja podzemne vode za vodoopskrbu, izvedeni su vodoistražni radovi (Libertas, 2009.). Tijekom ožujka 2006. godine izbušena je istražna bušotina D-1, dubine 121 m, a u razdoblju od studenog 2007. do konca veljače 2008. godine bušotina D-2, dubine 180 m. U ožujku 2008. godine provedeno je trodnevno pokusno crpljenje obje bušotine pojedinačno. Rezultati istraživanja ukazali su na postojanje krškog vodonosnika u podzemlju Dola, te da na nepostojanje hidrogeološke barijere prema moru, u pogledu zaslanjenosti, negativno utječe na kakvoću podzemne vode. Tijekom srpnja 2009. godine provedeno je specifično dugotrajno, sedmodnevno crpljenje istovremeno iz dvije bušotine D-1 i D-2. Tijekom crpljenja kontinuirano je mjerena dinamička razina podzemne vode, elektrovodljivost i temperatura podzemne vode. Podaci dobiveni tijekom sedmodnevnog kontinuiranog crpljenja ukazali su na postojanje vodonosnika na području Doli koji je pod utjecajem mora. Svaka bušotina pojedinačno, u sušnom razdoblju može ostvariti kapacitet od preko 4 l/s. Ukupno ostvaren kapacitet sa obje bušotine je 8,9 l/s. Utjecaj mora na vodonosnik sa udaljavanjem od mora se značajno smanjuje.

3. PRIJEDLOG DALJNJIH AKTIVNOSTI NA ISTRAŽIVANJU, UTVRĐIVANJU I ZAŠTITI STRATEŠKIH ZALIHA PODZEMNIH VODA

Potrebe za primjenom novog načina gospodarenja vodama, koji se bazira na integralnom gospodarenju u okvirima održivog razvoja, neprekidni zahtjevi za novim količinama podzemne vode, sve složeniji uvjeti u kojima treba očuvati kakvoću podzemnih voda, te zahtjevi za razinom spoznaja o podzemnim vodama koji proizlaze iz Okvirne direktive o vodama EU, pokazuju da stupanj istraženosti podzemnih voda, a ujedno i strateških zaliha podzemnih voda nije dostatan za iznalaženje pojedinih rješenja koja nas očekuju u skoroj budućnosti.

Tako primjerice, u području panonskog bazena to se prije svega odnosi na nedovoljnu istraženost eksploatacijskih zaliha podzemnih voda na većini postojećih i potencijalnih vodocrpilišta, te ugroženost podzemnih voda od raspršenih izvora onečišćenja.

U krškim područjima se pak uočava nedovoljna istraženost granica pojedinih slivova, za što je potrebno provesti hidrogeokemijska istraživanja, te dodatna trasiranja tokova podzemnih voda u različitim hidrološkim uvjetima. Također sve veća ugroženost postojećih izvorišta od urbanog razvoja u njihovom neposrednom zaleđu, te njihove ugroženosti od prodora mora u kopno kao posljedice nekontrolirane eksploatacije prvenstveno za druge namjene, zahtijevaju dodatna istraživanja kojim bi se, uz određivanje zaliha na postojećim crpilištima, definirale i mogućnosti optimalnog režima crpljenja te njihova zaštita.

Zbog uočenih nedostataka u stanju sustava monitoringa (ne postoji sustavno praćenje stanja kakvoće podzemnih voda prema programima Hrvatskih voda, osim na priljevnom području grada Zagreba i pojedinim izvorima), kako bi se postojeći sustav praćenja kakvoće podzemnih voda poboljšao, s ciljem dobivanja što kvalitetnije informacije o stanju voda, postojeći monitoring treba ujednačiti te proširiti na ostala područja.

Daljnje aktivnosti na istraživanju i utvrđivanju strateških zaliha podzemne vode mogu se razlučiti na regionalna i lokalna (detaljna) istraživanja. Regionalna istraživanja trebaju obuhvatiti detaljna hidrogeološka istraživanja, hidrogeokemijska ispitivanja, trasiranja podzemnih tokova, uspostavu monitoringa količine i kakvoće podzemne vode, te u konačnici utvrđivanje količina obnovljivih strateških zaliha podzemne vode. Za izvorišta potrebno je odrediti zone sanitarne zaštite, odnosno načiniti novelaciju u skladu sa važećim pravilnikom. Detaljna odnosno lokalna istraživanja trebaju obuhvatiti nastavak već započetih istraživanja na područjima strateških zaliha podzemne vode.

3.1. Regionalna istraživanja strateških zaliha podzemne vode prve razine

U svrhu kvalitetnog pomaka u vodnogospodarskom planiranju i upravljanju strateškim zalihama podzemne vode nužno je saznanje o raspoloživim količinama i kakvoći podzemne vode, te utvrđivanje mogućnosti povećanja korištenja raspoloživih zaliha podzemnih voda odgovarajuće kakvoće.

Za postizanje navedenoga cilja, temeljem prikupljanja, sređivanja i interpretacije podataka o sustavima podzemnih voda, potrebno je stvoriti podlogu za utvrđivanje i zaštitu količina podzemnih voda te čuvanje njihove kakvoće, a ona uključuje:

- određivanje stanja sustava podzemnih voda
- ocjenu mogućnost korištenja podzemnih voda za vodoopskrbu
- osiguranje stručne podloge za definiranje zaštitnih zona
- osiguranje primjerene mjere zaštite kakvoća tih voda.

Cjeline podzemnih voda svrstane u kategorije "vjerojatno značajnog rizika" i "vjerojatno bez rizika" zahtijevaju točnije definiranje rizika u budućnosti nakon što se prikupi dovoljno informacija potrebnih za njegovu procjenu. Stoga je potrebno izraditi optimalan program monitoringa podzemnih voda za daljnje definiranje i praćenje njihovog kvantitativnog i kvalitativnog stanja. Pri odabiru mjesta monitoringa potrebno je odabrati karakteristična mjesta opažanja. Sustav monitoringa količina i kakvoće podzemnih voda potrebno je koncentrirati na najnižvodnijim točkama cjelina i najvećim izvorima u cjelinama i/ili grupama cjelina podzemnih voda, od kojih se mnogi već nalazi u sustavu monitoringa, a veliki dio je zahvaćen i za potrebe vodoopskrbe.

Na području starteških rezervi podzemne vode, a koje se nalaze **u slivu rijeke Kupe**, te pripadaju prekograničnim vodonosnicima dodatna istraživanja trebala bi biti usmjerena na sama izvorišta, definiranje slivnih područja u Hrvatskoj i Sloveniji i mogućih prekograničnih utjecaja. To uključuje:

1. Uzorkovanje podzemne vode za kemijske analize vode na izvoru Mlake i kaptaži Trbuhovica u slivu izvora u Prezidu, u slivu izvorišta rijeke Čabranke na glavnim izvorima, te na izvoru Kupe, Maloj Belici, izvoru Kupice i Zelenom Viru na području ekosustava Kupa. Potrebno je analizirati:
 - osnovne anione i katione (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl);
 - pokazatelje standarda kakvoće podzemnih voda prema Dodatku I Direktive o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006) (NO₃ i ukupni pesticidi);
 - pokazatelje za koje je prema Dodatku II iste Direktive potrebno razmotriti određivanje graničnih vrijednosti u skladu s čl. 3. ove Direktive (As, Cd, Pb, Hg, NH₄, trikloretilen i tetrakloretilen).

Uzorkovanje podzemne vode za kemijske analize potrebno je vršiti u mjesečnim intervalima, osim za ukupne pesticide, te za trikloretilen i tetrakloretilen za koje bi se uzimali svaka tri mjeseca, a potrebno je i mjesečno mjerenje "in situ" (terensko) električne vodljivosti, temperature, pH i sadržaja otopljenog kisika.

2. Za utvrđivanje poznavanja kretanja i porijekla podzemne vode, razdoblja i područja prihranjivanja izvorišta potrebno je na izvoru Mlake i kaptaži Trbuhovica u Prezidu, u slivu Čabranke kao i na izvorima Kupa, Mala Belica, Kupica i Zeleni Vir analizirati

izotopni sastav vode (^{18}O , D) - stabilni izotop kisika (^{18}O) i vodika (D) u mjesečnim intervalima u razdoblju od najmanje jedne godine (preporučeno dvije godine).

3. U mjesečnim intervalima uzorkovati i analizirati izotopni sastav oborina (^{18}O , D na kišomjernoj postaji u Prezidu, meteorološkoj postaji Parg i kišomjernoj postaji Lokve.
4. Na lokacijama izvora Mlake i Trbuhovica, uz kaptažni zahvat na rijeci Čabranki potrebno je postaviti automatske mjerače razine, temperature i električne vodljivosti izvorske vode.
5. Na vodotoku u Prezidu predlaže se uspostava vodomjerenja u sklopu mreže DHMZ-a. Predviđena lokacija vodomjerenja je kod vatrogasnog doma, jer nizvodno od te lokacije već započinje zona poniranja. Također, predlaže se uspostava mjerenja količina istjecanja na izvorima Mlake i Trbuhovica čemu će svakako doprinijeti i mjerenja razine vode pomoću prethodno spomenutih mjerača. Na cijelom području sliva rijeke Čabranke s hrvatske strane mjeri se samo vodomjerni profil kod Zamosta, što je nedovoljno za hidrološke analize sliva. S hrvatske strane rijeke Čabranke uspostaviti hidrološka mjerenja na samoj izvorišnoj zoni, nizvodno od crpne stanice u Čabru.
6. Ponoviti trasiranje podzemnih tokova iz ponora u Prezidu u vrijeme hidrološki velikih voda kako bi se dobile vrijednosti brzina prividnih tokova predviđene za određivanje zona sanitarne zaštite u skladu s Pravilnikom (NN 66/11). Potrebno je opažati izvor Obrh u Sloveniji, a ostale izvore koje je potrebno opažati treba definirati zajedničkim istraživanjima sa slovenskim kolegama.
7. Određivanje lokacije i izvođenje trasiranja iz područja Slovenije radi određivanja brzina podzemnih tokova u funkciji dimenzioniranja zona sanitarne zaštite izvorišta Čabranke. Točnu lokaciju je moguće utvrditi zajedničkim istraživanjima sa slovenskim kolegama, a u sustav praćenja pojave trasera treba uključiti oba velika izvora izvorišne zone rijeke Čabranke. Dodatne točke opažanje je potrebno definirati na zajedničkim sastancima.
8. Usklađenje i izrada zajedničke hidrogeološke karte prekograničnih vodonosnika i ekosustava Kupa, pri čemu je potrebno detaljno utvrditi litološku građu i strukturno-tektonske odnose.
9. Izrada karte hazarda i baze podataka o potencijalnim izvorima onečišćenja za podzemne vode za područje prekograničnih vodonosnika ekosustava Kupa.
10. Kao podlogu za usklađivanje planova upravljanja za prekogranične vodne cjeline potrebno je usuglasiti granica cjelina podzemnih voda s obje strane granice.
11. Izraditi karte zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode na obje strane granice s prijedlozima eventualnih novih vodozaštitnih područja na prostoru prekograničnih vodonosnika u susjednoj državi. Vodozaštita na tim prostorima trebala bi se temeljiti na usklađenim, obostrano prihvatljivim mjerama s usklađenjem zaštitnih mjera s obje strane granice.

12. Izraditi usuglašeni prijedlog trajnog monitoringa podzemne vode sa točno utvrđenim mjestom uzorkovanja, dinamikom i pokazateljima.

13. Izraditi GIS projekt.

U slivu gornjeg toka rijeke Kupe potrebno je provesti opća hidrogeološka istraživanja za definiranje sliva, odrediti i pratiti zalihe podzemnih voda, istraživati i kaptirati nove količine podzemnih voda, obaviti trasiranja tokova podzemne vode, te gospodariti poznatim zalihama. Na izvorima je potrebno uspostaviti monitoring količine i kakvoće vode. Ujedno je potrebno pozornost posvetiti zaštiti kakvoće vode i energetsom iskorištenju sliva.

Od trasiranja tokova podzemnih voda potrebno je:

1. Izvesti odnosno ponoviti trasiranje tokova podzemnih voda iz ponornih zona sa srednje stepenice (Ravna gora, Zalesina,...) kako bi se mogli odvojiti slivovi odnosno cjeline podzemnih voda izvora Kupice i Zelenog Vira.
2. Obaviti trasiranje tokova podzemne vode iz visoke zone sliva (područje oko Lividrage) zbog definiranja razvodnice Jadranskog i Crnomorskog sliva.
3. Ponoviti trasiranje sa područja Crnoga Luga u cilju razdvajanja podslivova izvora Kupe, Kupice i izvora u Skradu.
4. Ponoviti trasiranje iz Tršća iz 1977 godine kojim je dokazana podzemna veza sa izvorom Čabranke (14,66 cm/s).
5. Ponoviti trasiranje rađeno 1965 godine sa dokazanim vezama prema izvorima u Sloveniji (Obrh, Studenac).

U slivu rijeke Mrežnice i Dobre istraživanja strateških rezervi podzemne vode je potrebno usmjeriti na opća hidrogeološka istraživanja radi definiranja slivova, na utvrđivanje i praćenje zaliha podzemne vode, istraživanja i kaptiranja novih eksploatacijskih količina, te obaviti trasiranja tokova podzemne vode. Na izvorima je potrebno uspostaviti monitoring količine i kakvoće vode, a pozornost je potrebno posvetiti i zaštiti kakvoće vode i energetsom iskorištenju voda.

Od trasiranja tokova podzemnih voda potrebno je:

1. Ponoviti trasiranje Jasenačkog ponora zbog ispitivanja podzemne veze prema izvoru Vitunjčice i Kamačniku u slivu gornje Dobre, odnosno dokazivanje veze prema izvoru Zagorske Mrežnice.
2. Ponoviti trasiranje ponora Dretulje kako bi se dokazala veza prema izvoru Zvečajske Mrežnice.
3. Ponoviti trasiranje iz ponorne zone Lokvarke.

Na području sliva rijeke Une na području Republike Hrvatske potrebno je provesti opća hidrogeološka istraživanja jer je sliv rijeke Une na području Republike Hrvatske dosta slabo

istražen. Postoje podaci hidrogeoloških studija rađenih u sklopu znanstvenih projekata i to su najbolji podaci, a trasiranja su izvedena od strane različitih istraživača, i u različitim uvjetima, pa rezultati nisu jednoznačni. Zaštita kakvoće podzemne vode je najveći problem u slivu rijeke Une, jer se radi o dvije države, a postojeći izvori su relativno slabo zaštićeni. Stoga je potrebno povećati stupanj poznavanja hidrogeoloških odnosa i kroz to provesti zaštitu prostora, a također na izvorima uspostaviti monitoring količine i kakvoće vode.

Na području sliva gornjeg toka Krke potrebno je provesti trasiranje podzemnih voda za određivanje sliva i brzina podzemne vode (Grahovo), te provesti istraživanja potrebna za zaštitu podzemnih voda i izradu podloga za prijedlog zona sanitarne zaštite crpilišta. Također je nužno provoditi monitoring količine i kakvoće vode. Također je potrebno ponoviti trasiranje s ponora Čulina mlinica kod velikih voda, jer je pri malim vodama utvrđena samo veza s izvorima Torak i Jaruga.

Na području sliva Zrmanje (starteške rezerve podzemne vode prve razine), zbog što boljeg definiranja hidrogeoloških slivova i dobivanja hidrogeoloških podataka o podzemnom tečenju vode, prvenstveno za potrebe zaštite podzemnih voda i određivanje zona sanitarne zaštite, potrebno je izvesti nekoliko trasiranja podzemnih voda, te uspostaviti organizaciju monitoringa količine i kakvoće vode.

Od trasiranja tokova podzemnih voda potrebno je:

1. Izvesti trasiranje ponornih voda u području Velike Popine na Jelića ponoru kako bi se definirao sliv gornjeg toka Zrmanje i razvodnica između crnomorskog i jadranskog sliva. Trasiranje će pokazati da li dio sliva Velike Popine i njenog zaleđa pripada rijeci Zrmanji, ili Uni.
2. Izvesti trasiranje ponora Jelačin trn kako bi se utvrdila razvodnica između izvora Zrmanje i Une.
3. Izvesti trasiranje u području Klapavice ubacivanjem trasera u neki od povremenih tokova u području Opčuv kako bi se točno definirala granica podsliva Ričice koja je ujedno granica jadranskog i crnomorskog sliva na potezu od Udbine do Bruvna.
4. Trasiranje vodotoka u depresijama zapadno od Krbavskog polja (Podlapača), radi definiranja hidrogeološke razvodnice u ovom području, odakle je moguće da vode otječu prema Uni, ali se ne isključuje mogućnost otjecanja prema izvorištu Gacke, odnosno prema Jadovi (Lika).
5. Obnoviti trasiranje vodotoka Opsenica na ponoru Vrkljan (Vrkljanski ponor), kako bi se točnije definirala zapadna granica podsliva Ričice jer dobiveni podaci prije izvedenim bojanjem (Turner, 1955) kada je registrirana pojava boje osim u Modrič uvali još samo na jednom izvoru u Muškovcima (u tragovima) izaziva sumnju u vjerodostojnost (determinacija boje vizualno pomoću kvarc lampe).

Za definiranje **granice sliva Novljanske Žrnovnice**, te ujedno za rješavanje problema pripadnosti područja Brinjskog polja IV zoni sanitarne zaštite izvorišta Novljanska Žrnovnica,

odnosno za definiranje razvodnice Jadranskog i Crnomorskog sliva na području Brinjskog i Letinačkog polja potrebno je provesti **dva regionalna trasiranja**.

Za definiranje granica zone zaštite i sliva na području Brinjskog polja predlaže se stalni ponor kod mjesta Kosovci, sjeverozapadno od Brinja, pri čemu je obavezno uzorkovati izvor Čardak u Novljanskoj Žrnovnici u trajanju od minimalno 50 dana, a na ostalim odabranim priobalnim izvorima oko 25 dana. Ukoliko se analitički ne utvrdi pojava trasera u navedenom vremenu, predlaže se nastavak uzorkovanja vode za analitičku analizu i/ili postavljanje aktivnog ugljena na izvoru Čardak.

Za određivanje položaja razvodnice Jadranskog i Crnomorskog sliva i moguće zone sanitarne zaštite na području Letinačkog polja predlaže se provođenje regionalnog trasiranja iz ponora kod Fumića.

Radi optimizacije troškova, opisana trasiranja trebala bi se izvoditi istovremeno, korištenjem dva trasera, npr. Na-fluoresceinom i Naftionatom neškodljivim sa stanovišta javne vodoopskrbe.

Ukoliko rezultati predloženih trasiranja pokažu da područje Brinjskog polja i/ili Leteničkog polja nije u slivu izvorišta Novljanske Žrnovnice potrebno je provesti novelaciju zona sanitarne zaštite u širem području Brinja i Letinca.

Radi sveobuhvatne zaštite voda **rijeke Gacke**, koja predstavlja najznačajnije zalihe kvalitetne vode u ovom dijelu Hrvatske, a na kojima se planira buduća vodoopskrba najvećeg dijela Like, Primorja i otoka, potrebno je nastaviti istražne radove i praćenje kakvoće vode. To uključuje:

1. Hidrogeološka istraživanja sliva čitavog toka rijeke Gacke, a posebice na dio rijeke s otvorenim tokom, gdje su mogući direktni štetni utjecaji.
2. Izrada karte ugroženosti podzemnih i površinskih voda za cijeli sliv rijeke Gacke mjerila M 1:50.000, pri čemu *osjetljive površine* obuhvatiti detaljnijom kartom M 1:5.000.
3. Izrada strukturno tektonske karte za cijelo područje sliva u M 1: 50.000.
4. Trasiranje tokova podzemnih voda radi definiranja tečenja unutar sliva (mehanizma dotjecanja voda), dobivanja stvarnih brzina podzemnih tokova u svrhu zaštite izvorišne zone rijeke Gacke i točnijeg definiranja zona sanitarne zaštite, uz ponavljanje pojedinih ranije izvedenih trasiranja.
 - 4.1. Trasiranje iz ponora u istočnom dijelu Perušićkog polja, jame Pavkuša u Janjačkoj kosi.
 - 4.2. Trasiranje ponora u Čanku. Područje Čanka izdvojeno je u III. zonu zaštite obzirom na položaj u slivu i postojanje povremenog toka koji ponire u zapadnom dijelu polja. Sa tog područja do sada nisu izvođena trasiranja podzemnih tokova.
 - 4.3. Ponovljeno trasiranje iz Kozjana i ponornih zona Vrhovinskog polja iz 1975. godine.
5. Nastavak hidrokemijskih istraživanja kroz praćenje hidrokemijskog facijesa i međusobnih odnosa krških vodonosnika. U ovoj sredini relativno sličnih sastava podzemne vode pojedinih izvora, potrebno je hidrokemijska mjerenja kombinirati s

određivanjem sastava prirodnih izotopa, posebno stoga što to može poslužiti kao prirodni traser. Hidrokemijskim mjerenjima treba obuhvatiti i vode izvora uz zapadni rub Gackog polja.

6. Nastavak praćenja kakvoće izvorskih voda, gdje osim izvora Gacke (Tonkovića vrela) i Majerovog vrela, treba pratiti i kakvoću vode izvora Knapovac i Pucirep te rijeke Gacke u izvorišnom dijelu, prvenstveno s obzirom na mogući štetni utjecaj potencijalnih onečišćivača, a posebno utjecaj tvornice kalcitnih proizvoda na vode Gacke.

Ukupne količine podzemnih voda u **zagrebačkom vodonosniku** su relativno velike, međutim prisutnost negativnog trenda razina podzemnih voda i precrpljivanje vodonosnika zahtijevaju oprez što podrazumijeva **kvalitetan monitoring**, ali i sustavnu analizu i interpretaciju rezultata monitoringa, čime se osiguravaju aktualne podloge za optimalno upravljanje tim strateškim resursom Hrvatske.

S obzirom na važnost određivanja geokemijskih baznih vrijednosti i graničnih vrijednosti za implementaciju Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC) kao i Direktive o podzemnim vodama (2006/118/EC), potrebna su daljnja istraživanja na zagrebačkom i samoborskom području (CPV Zagreb), a koja bi prvenstveno bila usmjerena **na identifikaciju dijelova vodonosnika sličnih hidrogeoloških i geokemijskih karakteristika**. Koristeći metode poput klaster analize ili multivarijatne statistike, podaci o kakvoći podzemne vode bi se grupirali i objedinjavali te bi se na tako objedinjenim podacima određivale geokemijske bazne vrijednosti i granične vrijednosti. Stoga je iznimno važno da regulatori prepoznaju geokemijske bazne vrijednosti kao vrijednosti koje nisu univerzalne u trodimenzionalnom prostoru i koje mogu biti karakteristične samo za određeno područje vodonosnika.

Očekuje se da će rezultati ocjene kemijskog stanja podzemne vode, nakon predloženih korekcija postojeće zakonske regulative R. Hrvatske te nakon određivanja graničnih vrijednosti koristeći predložena dodatna istraživanja kao i metodologije iz CIS (Common Implementation Strategy) vodiča, dati realniju i još pouzdaniju sliku kemijskoga stanja tijela podzemne vode na području zagrebačkog i samoborskog vodonosnika. Granične vrijednosti tvari izrazito su bitne ne samo radi određivanja kemijskoga stanja, već i radi ekonomske analize pa i načina i stupnja provedbe mjera koje su potrebne za postizanje okolišnih ciljeva Okvirne direktive o vodama (2000/60/EC) i Direktive o podzemnim vodama (2006/118/EC).

Na području **Istre** (CPV Sjeverna i Središnja Istra), naglasak daljnjih istraživanja treba u prvom redu staviti na monitoring. Da bi se mogla izraditi bilanca voda za cijelovito sagledavanje strateških zaliha podzemne vode istarskog poluotoka, a koja bi omogućila definiranje optimalnog režima crpljenja na postojećim crpilištima te utvrđivanje mogućnosti izgradnje novih crpilišta kojima bi se zahvatile dodatne količine podzemne vode potrebno je proširiti postojeći monitoring na sve značajnije izvore i to izvore Bolobani, Sušnica, Sv. Anton, Grdak, Česuni i Blaz uz desnu obalu Raše, izvore Šumber, Mutvica, Beka i Bubić jama uz lijevu obalu Raše, zatim u slivu Mirne na izvore Tombazin i Pivka (izvorišna zona Sv. Ivana), izvorište Mlini, Male Gradole i Očjak, te izvore Gabrijeli i Bužini u dolini Dragonje.

Na temelju bilance voda, u korelaciji sa podacima monitoringa razina podzemne vode i državnog monitoringa kakvoće voda, treba načiniti prijedlog generalnog, monitoringa kakvoće vode koji bi se razvio na odabranim objektima uključenim u monitoring razina vode i objektima uključenim u aktivne mjere zaštite pojedinih crpilišta. Uspostava ovog monitoringa prvenstveno bi imala za cilj generalno sagledavanje promjena kakvoće podzemne vode na slivu rijeke Mirne, što je uz poznavanje količina osnovni preduvjet za uspješno gospodarenje podzemnim vodama.

Isto tako, postojeći geografski informacijski sustav Istre treba kontinuirano ažurirati sa svim novim podacima dodatnih istraživanja, te podacima monitoringa različitog tipa kako bi se imao pravovremeni pregled promjena stanja podzemnih voda na cijelom području sliva.

U cilju zaštite strateških zaliha podzemne vode na području Istre potrebno je načiniti dodatna istraživanja.

Dodatna istraživanja u cilju zaštite izvorišta **Gradole** trebaju obuhvatiti:

1. Trasiranje tokova podzemne vode s područja između Kaštelira i Vižinade za utvrđivanje druge zone sanitarne zaštite izvora Gradole, te trasiranje tokova podzemne vode s područja jugoistočno od Višnjana s ciljem definiranja granice treće zone.
2. Izrada dvije istražno pijezometarske bušotine u drugoj i trećoj zoni, lociranih na temelju izvedenih trasiranja, u kojima treba uspostaviti monitoring razina i kakvoće podzemne vode.
3. Ažuriranje katastra onečišćivača.

Dodatna istraživanja u cilju zaštite izvorišta **Sveti Ivan** trebaju obuhvatiti:

1. Trasiranje tokova podzemne vode s područja Lupoglava s ciljem definiranja granice treće zone. Na temelju dosadašnjih spoznaja najpogodnije mjesto za ubacivanje trasera su jame kod mjesta Semić, ali lokacije treba provjeriti.
2. Izrada dvije istražno pijezometarske bušotine, u drugoj i trećoj zoni sanitarne zaštite, locirane na temelju trasiranja i rezultata ostalih istraživanja, koje treba uključiti u monitoring razina i kakvoće podzemne vode.
3. Granicu četvrte zone na području Slovenije treba definirati kroz zajedničke istražne radove sa Slovenijom.
4. Ažuriranje katastra onečišćivača.

Dodatna istraživanja u cilju zaštite izvorišta **Bužini i Gabrijeli** trebaju obuhvatiti:

1. Trasiranje tokova podzemne vode s područja zapadno od Svete Marije na Krasu s ciljem definiranja granice treće zone sanitarne zaštite. Na temelju dosadašnjih spoznaja najpogodnije mjesto za ubacivanje trasera je jama blizu mjesta Kmeti, ali lokacije treba provjeriti, odnosno promijeniti, nakon prethodnih istraživanja
2. Izrada dvije istražno pijezometarske bušotine unutar druge i treće zone sanitarne zaštite, locirane na temelju trasiranja i rezultata ostalih istraživanja, koje treba uključiti u monitoring razina i kakvoće podzemne vode.

3. Granicu četvrte zone na području Slovenije treba definirati kroz zajedničke istražne radove sa Slovenijom.
4. Ažuriranje katastra onečišćivača.

Dodatna istraživanja u cilju zaštite izvorišta **Bulaž** trebaju obuhvatiti:

1. Izrada dvije istražno pijezometarske bušotine unutar druge i treće zone sanitarne zaštite u kojima treba uspostaviti monitoring razina i kakvoće podzemne vode. U trećoj zoni lokacija treba biti na području karbonatnog grebena.
2. Granicu četvrte zone na području Slovenije treba definirati kroz zajedničke istražne radove sa Slovenijom.
3. Ažuriranje katastra onečišćivača.

Dodatna istraživanja u cilju zaštite izvorišta **Fonte Gajo, Kokoti i Mutvica** trebaju obuhvatiti:

1. Izradu jedne istražno pijezometarske bušotine unutar treće zone, određene na temelju rezultata prethodnih istraživanja koju treba uključiti u monitoring razina i kakvoće podzemne vode
2. Ažuriranje katastra onečišćivača.

Dodatna istraživanja u cilju zaštite izvorišta **Rakonek, Grdak, Sveti Anton i Bolobani** trebaju obuhvatiti:

1. Izradu jedne istražno pijezometarske bušotine unutar treće zone, određene na temelju rezultata prethodnih istraživanja, koju treba uključiti u monitoring razina i kakvoće podzemne vode. Lokacija bušotine bi trebala biti što bliže ponoru u Pazinu.
2. Izradu dvije istražno pijezometarske bušotine, od kojih bi jedna trebala biti locirana na području Žminja, a druga oko Svetvinčenta. Obje bušotine bi trebalo uključiti u monitoring razine i kakvoće vode.
3. Ažuriranje katastra onečišćivača.

U **dolini Raše** potrebno je provesti hidrološka i hidrogeološka istraživanja. Hidrološka istraživanja trebala bi obuhvatiti uspostavu u prvom redu hidroloških mjerenja na rijeci Raši. Uz današnji limnigraf na mostu preko rijeke Raše kod izvora Mutnica trebalo bi uspostaviti mjernu postaju na ulasku rijeke Raše u kanjon kod Podpična radi ocjene količine izviranja na dijelu izvora u dolini. Nizvodno od izvora Mutnica rijeka Raša je pod utjecajem mora. Hidrološka mjerenja potrebno je uspostaviti i na izvorima Bolobani, Šumber, Sv. Antun i Grdak - preljevi iz izvorskih oka. Hidrogeološka istraživanja trebala bi obuhvatiti noveliranje hidrogeološke karte krškog vodonosnika u centralnom dijelu poluotoka uz korištenje OGK, postojećih hidrogeoloških podloga, obrade satelitskih i ortofoto snimaka, hidrogeokemijska istraživanja izvorišta Bolobani, Šumber, Sv. Antun, Grdak, Rakonek i Blaž, istraživanje sadržaja mikroelemenata, posebice važno za razdvajanje utjecaja rudničkih voda, istraživanja stabilnih izotopa vodika δD i kisika $\delta^{18}O$ – uzorkovanje svaka dva mjeseca, te uzorkovanje padalina na relevantnoj meteorološkoj stanici u trajanju od najmanje godinu dana.

Sliv Rječine i Bakarskih izvora (CPV Rijeka – Bakar) pripada trećoj razini strateških rezervi podzemne vode. Usprkos velikom broju provedenih istraživanja dio slivnog prostora ostao je nedovoljno istražen za optimalnu zaštitu vrijednog resursa podzemnih voda riječkih izvorišta. Dio rezultata istraživanja, radi metodologije, ne odgovaraju realnom sagledavanju stanja i dinamike podzemnih voda a situaciju dodatno komplicira ubrzani razvoj aglomeracija na širem riječkom prostoru i razvoj industrije koji prati otežana zaštita kakvoće i količine raspoloživih podzemnih voda za javnu vodoopskrbu.

Istovremeno, dio granica zona sanitarne zaštite nije moglo biti novelirano prema uvjetima. Stoga kako bi se dobili relevantni podaci koji bi omogućili optimalno određivanje kategorije zone sanitarne zaštite za pojedina izvorišta, te novelacija granica zona zaštite svrsishodno odredila, neophodno je provesti dodatna istraživanja, a koja se prvenstveno odnose na trasiranja tokova podzemne vode. Za novelaciju granica zona sanitarne zaštite **riječkog vodoopskbnog sustava** za koje nisu utvrđeni relevantni podaci hidrogeoloških istraživanja, predlažu se dodatni radovi.

1. Trasiranje na širem prostoru Klane i to prirodnog objekta, ponora sjeverno-sjeveroistočno od Klane ili trasiranje jedne od bušotine-zdenca koji više nisu uključeni u sustav javne vodoopskrbe ili trasiranje ponora u Ponikvama jugoistočno od Studene kako bi se utvrdila pripadnost toga prostora slivu izvorišta Zvir i/ili priobalnim izvorima na širem području grada Rijeke, odnosno na temelju utvrđenih prividnih brzina omogućiti novelaciju granica zaštitnih zona za područje Klane, a time i svrha i/ili kategorija zona zaštite.
2. Trasiranje na širem području gospodarske zone Kukuljanovo odnosno na karbonatnom dijelu prostora sjeverozapadno od gospodarske zone Kukuljanovo, zapadno od Škrljeva i sjeveroistočno od fliške grede kojom prolazi razvodnica sliva izvorišta Martinšćice i sliva izvorišta Bakarskog zaljeva kako bi se utvrdila dinamika podzemnih voda na širem prostoru gospodarske zone kao i položaj razvodnice između sliva izvorišta Martinšćica i izvorišta Perilo-galerija.
3. U svrhu novelacije granica zona zaštite sliva izvora Rječine predlaže se izvođenje jednog do dva trasiranja u sjeveroistočnom prostoru sliva između razvodnice Crnomorskog i Jadranskog sliva i državne granice sa Slovenijom. Opisani prostor je izgrađen od jako okršenih karbonatnih stijena s brojnim spiljskim objektima. Predlaže se da se izvedu dodatni radovi trasiranja ponora Rečice sjeveroistočno od izvora i/ili prirodnih objekata na širem prostoru Brestica, odnosno Praprotna draga u sjevernom dijelu sliva Rječine.
4. Pokusno crpljenje bušenih zdenca uz sjeverozapadni rub uvale Martinšćica (MB-1 i MB-2) u uvjetima suše i rada preostalih zdenaca, a sa ciljem utvrđivanja ukupne izdašnosti crpilišta. Tijekom pokusnog crpljenja potrebno je izvoditi kontinuirano praćenje zasljenjenosti crpljene vode na pojedinim zdencima, a na temelju rezultata, utvrditi optimalan režim rada pojedinih zdenaca izvorišta Martinšćica u ljetnom, sušnom hidrološkom razdoblju godine.
5. Mjerenje pojedinačne i ukupne izdašnosti izvorišta Zvir I, Zvir II i zdenca Marganovo u Tvornici papira, uz praćenje osnovnih fizikalno - kemijskih parametara u cilju, a u određivanja međusobnog utjecaja bliskih izvorišta na njihovu pojedinačnu izdašnost u vrijeme eksploatacije. Poznavanjem međusobnog utjecaja crpljenja pojedinih izvorišta omogućilo bi planiranje rada pojedinih crpilišta. Optimalnim režimom rada

pojedinih izvorišta smanjila bi se opasnost od hidrauličkih udara u podzemlju, a što bi dovelo do sigurnije vodoopskrbe zdravstveno ispravnom vodom.

Na području istočne Slavonije, odnosno utjecajnom području crpilišta Sikirevci, koje pripada **zalihama podzemne vode druge razine** nalazi se i višenamjenski kanal Dunav-Sava čija je izgradnja u tijeku. S obzirom da je crpilište već u pogonu nužno je načiniti novu analizu utjecaja kanala na stanje podzemnih voda i to svakako prije nego li se započne s radovima na izgradnji punog profila kanala kojima bi se u potpunosti realizirala njegova plovna funkcija.

U tu svrhu je potrebno načiniti model pronosa mogućeg onečišćenja iz kanala u vodonosnik, uz prethodno dobro kalibriran matematički model strujanja podzemne vode na bazi prethodnog režima rada crpilišta. Stoga je nužno provesti dodatne istražne radove krovinskih naslaga, kako uz trasu kanala, tako i na širem području crpilišta. Ti istražni radovi trebaju se sastojati od izvedbe strukturno-piezometarskih bušotina uz detaljnu analizu krovinskih naslaga. Mjerenje razina podzemne vode u piezometrima potrebno je provoditi minimalno jednu godinu prije izrade novog matematičkog modela strujanja podzemne vode i pronosa onečišćenja. Istraživanja trebaju uključiti i analizu parametara transporta.

Pošto je crpilište Regionalnog vodovoda istočne Slavonije, s obzirom na količinu i kakvoću podzemne vode, od iznimne važnosti za cijelu istočnu Hrvatsku, istraživanja na ovom području ne bi se smjela zaustaviti puštanjem crpilišta u pogon. Kao što su pokazali i rezultati istraživanja provedeni za potrebe definiranja zona sanitrane zaštite crpilišta još uvijek postoji niz nepoznanica koje onemogućavaju točnije definiranje dinamike podzemne vode na ovom području. Rezultati istraživanja nedvojbeno su pokazali da kod velikih crpnih količina podzemna voda dobiva „prekogranično“ obilježje. Zbog svega navedenog važno je bolje definiranje kontakta rijeke Save i vodonosnika. U tu svrhu nužno je proširiti mrežu strukturno-piezometarskih bušotina i načiniti nove u neposrednoj blizini rijeke Save i to na potezu od naselja Prnjavor i Novi Grad (zapadno od Jaruga) pa do Babine Grede. Također se kod velikih crpnih količina utjecaj crpljenja širi i prema sjeverozapadnom dijelu modela na kojem ne postoje opažački piezometri, te je i na tom dijelu potrebno izvesti barem jednu strukturno-piezometarsku bušotinu u kojoj bi se provodio monitoring razina podzemne vode.

Na području od Legrada do Slatine (srednja Podravina) koje obuhvaća strateške zalihe druge razine potrebno je uspostaviti cjeloviti monitoring količine i kakvoće podzemne vode. Kako na dijelu područja nedostaju piezometri potrebni za monitoring, iste je potrebno načiniti.

U **CPV Neretva**, koja najvećim dijelom pripada strateškim rezervama četvrte razine, u cilju utvrđivanja tokova i brzina podzemnih voda potrebno je provesti nekoliko trasiranja podzemnih tokova. To se prije svega odnosi na ponor na Vrlici uzvodno od Kamen mosta, iz područja Zagvozda ili Poljice, iz ponora u Humcu kod Ljubuškog, ponor Sv. Mitar kod Ravnog u dolini Trebišnjice, ponor u Ljubači ili Belenićima, u Donjim Grmljanima, povremeni ponori na sjeveru krške zaravni Dubrava, Poljica, Kozica, Draganje.

U **CPV Cetina** potrebno je izvesti trasiranje u Studencima (Vinica i Aržano).

3.2. Detaljna istraživanja

U cilju daljnjeg istraživanja važnog i osjetljivog krškog vodonosnog sustava u **slivu Krke**, područja **izvora Čikole**, hidrogeološka istraživanja na izvoru Čikole trebaju obuhvatiti pokusno crpljenje, koncem kolovoza, kada se RPV na oko 267-268 mn.m. Intenzivnim crpljenjem treba pretpostaviti da će se intenzivnim crpljenjem kroz 10 dana postići razina od oko 262 mn.m. Crpljenje se treba nastaviti do izjednačavanja crpnih količina i dotoka. Radi kvalitetnije hidrogeološke interpretacije potrebno je pratiti hidrokemijske parametre tijekom dužeg vremenskog razdoblja, primjerice osnovni ionski sastav – duže vremensko razdoblje i veći broj uzoraka (jednom mjesečno) – znatno poboljšanje ukupne hidrogeološke interpretacije funkcioniranja ovog izrazito osjetljivog krškog vodonosnika i izvora.

Na prostoru **općine Lovinac**, **izvor Kozjan** jedan je od najstabilnijih izvora po izdašnosti. Minimalna izdašnost izvora u sušnom razdoblju kreće se od 30,0 do 60,0 l/s što znači da promjena izdašnosti izvora Kozjan ne ukazuje na tipično velike oscilacije izdašnosti karakteristične za krške izvore. Kako do danas, na zadovoljavajući način, nije riješen problem dostatnih količina podzemne vode koje bi osigurale javnu vodoopskrbu općine Lovinac pokrenuti su vodoistražni radovi za iznalaženje dostatnih količina podzemne vode.

Izvedeni radovi detaljnog geološkog i hidrogeološkog kartiranja istražnog prostora, kao i analiza rezultata prethodnih istraživanja, zatim praćenje oscilacija izdašnosti izvora tijekom hidrološkog ciklusa i hidrogeokemijska analiza uzoraka vode imali su za cilj utvrditi perspektivnost prostora, odnosno pojedinih područja, za daljnja istraživanja. Tako je perspektivno područje u smislu rješavanja problema javne vodoopskrbe općine Lovinac određen prostor površine 0,5 km² smješten sjeverno do sjeverozapadno od izvora Kozjan. Prostor obuhvaća dio južno od ceste Gospić-Gračac, između mjesta Jurjevići i Vidakovići, odnosno prostor uz korito vodotoka Opsenica.

Za utvrđivanje opravdanosti daljnjih aktivnosti trebala bi se nastaviti II faza istraživanja koja bi uključila detaljnja geološka i hidrogeološka istraživanja užeg područja (M 1:1.000), geofizička ispitivanja, te izradu istražnih bušotina na kojima bi se u sušnom razdoblju načinilo pokusno crpljenje. U slučaju povoljnih rezultata, pristupilo bi se izvođenju III faze istraživanja koja uključuje izradu pokusno – eksploatacijskih zdenaca.

Geofizičkim ispitivanjima potrebno je obuhvatiti rubni dio prostora, kako bi se definirali tektonski odnosi, a osobito položaj i hidrogeološka uloga rasjeda pravca pružanja Pergino polje – Brdo – Pastuovići – Lipač.

Obzirom na značaj pojave **izvora Kozjan** neophodno je uspostaviti redoviti monitoring kakvoće podzemne vode.

U cilju definiranja perspektivnosti šireg prostora općine Perušić (sliv rijeke Gacke) za zahvaćanje vode, a temeljem do sada provedenih istraživanja, daljnji hidrogeološki istražni

radovi trebali bi biti usmjereni na lokacije koje su ocijenjene vrlo perspektivnima. Kao najperspektivnija lokacija odabrano je **uže područje lokacije Kaniža**. Stoga je na ovom detaljno istraženom lokalitetu potrebno provesti istraživačko bušenje, in situ i laboratorijska hidrokemijska istraživanja, pokusna crpljenja s pripadajućom obradom i monitoring kroz barem jednu hidrološku godinu.

S obzirom na fluktuacije vodnog lica koje u ličkim krškim terenima mogu biti znatne, potrebno je izvesti relativno duboke istraživačke bušotine (minimalna dubina bušotine 50 m). Promjer bušotine mora biti dovoljan da se u njih ugrade cijevi promjera 100 mm, kako bi se osigurala mogućnost spuštanja crpke dovoljne snage za izbacivanje nekoliko (4-5) l/s vode. Nakon izvedbe bušotine moraju biti ispitane dubinskim in situ sondama. Uzorke podzemne vode za laboratorijske kemijske, fizikalne i izotopne analize potrebno je uzeti u više (barem četiri) navrata tijekom jedne hidrološke godine, kako bi se vidjele promjene u odnosu na uvjete u podzemlju.

U svakoj bušotini koja je zahvatila vodonosnik potrebno je napraviti pokusno crpljenje, metodom crpljenja u koracima (step test) s barem tri crpne količine i mjerenjem povrata. Crpljenje treba obaviti u vrijeme hidrološki nižih razina podzemne vode. Na temelju rezultata pokusnog crpljenja potrebno je izračunati parametre vodonosnika i parametre zdenca. Poželjno je da se crpljenje obavi logerima („diverima“) za simultano i gotovo kontinuirano mjerenje (npr. svaku minutu). Također, bilo bi od velike koristi pratiti prirodne promjene razine, temperature i elektrolitičke vodljivosti logerima u bušotini, kontinuirano.

Ukoliko na lokalitetu Kaniže ne bi bilo moguće postići zadovoljavajući vodozahvat, tada bi se daljnji naponi trebali usmjeriti u širem rekognosciranom području na još tri perspektivne zone: područje Malog polja, područje završetka sinklinale Kaniška Draga-Vučijak kod Ličkog Osika i područje ponora i pull-apart strukture.

A) Područje Malog polja. Već provedenim istraživačkim radovima zamijećeno je kako bi ovaj dio terena mogao biti perspektivan jer je stijenska masa razlomljena i okršena. Ovaj dio terena mogao bi biti perspektivan, posebno u zoni prema povremenim krškim izvorima Kulaševo vrilo i Vrillac, sjeverno i istočno od polja u području Mezinovca. I ovu lokaciju trebalo bi ispitati detaljnim hidrogeološkim i geofizičkim istraživanjima.

B) Završni dio sinklinalne strukture Kaniška Draga-Vučijak, u području Ličkog Osika. i ovaj dio terena mogao bi biti perspektivan jer je moguće pretpostaviti kako se dio podzemnog tečenja pruža paralelno sa strukturom, praktički uzduž spomenute sinklinale. Istjecanje iz takve sinklinale u području u blizini Ličkog Osika trebalo bi ispitati detaljnim hidrogeološkim i geofizičkim istraživanjima.

C) Ponorska zona u Perušićkom polju, odnosno dio „pull-apart“ strukture, sve do rubnog dijela polja i estavelskog područja. Takva struktura u određenim uvjetima mogla bi biti povoljna za akumulaciju određene količine podzemne vode. Ispitivanje ove strukture u pokrivenom dijelu terena. potrebno je obaviti opsežnim programom geofizičkih istraživanja s dovoljno dubokim zahvatom. Treba napomenuti kako bi i u slučaju pozitivnog rezultata u smislu vodozahvata ovo područje i dalje bilo upitno zbog vrlo teško rješivog problema zaštite.

Na području srednje Podravine, u cilju interpretacije hidrogeoloških odnosa i pridobivanja novih količina podzemne vode potrebno je provesti slijedeće radove:

1. **Na crpilištu Bikana**, smještenom u sjevernom dijelu grada Virovitice kao glavnom izvorištu virovitičkoga vodoopskrbnog sustava izvesti 2 zamjenska zdenca, dubine 90 m.
2. Dosadašnja istraživanja i interpretacije hidrogeoloških odnosa širega područja Virovitice i analize izbora mjesta novog regionalnog crpilišta ukazale su da je područje između naselja Korija i Bušetina najprikladnije za položaj novog regionalnog crpilišta Virovitica. Za razliku od prethodnih studijskih istraživanja koja su bila preliminarnog karaktera, a usmjerena na samo promišljanje regionalnog crpilišta, slijedeća istraživanja trebala bi se odnositi na točno određenu makrolokaciju, tj. na izabrano područje regionalnog **crpilišta Korija**. Prva faza istraživanja trebala bi imati za cilj definiranje onih hidrogeoloških parametara koji su nužni za idejni projekt crpilišta, vodeći posebice računa o onim značajkama i rješenja o kojima ovisi izbor optimalnog razvoja crpilišta.

U tom cilju potrebno je izvesti dva piezometarska gnijezda na lokacijama zdenaca, dubine 120+40 m, te uspostaviti monitoring, a potom provesti modeliranje i načiniti konačni projekt razvitka crpilišta. U nastavku radova treba načiniti dva eksploatacijska zdenca, dubine 90 m. Također je potrebno provesti dugotrajnije pokusno crpljenje uz opažanje svih piezometara kako bi se načinila hidrogeološka analiza hidrauličkih karakteristika vodonosnika.

3. **Na crpilištu Medinci** izvesti jedan zamjenski zdenac, dubine 80 m, te tri piezometarska gnijezda, dubine 120+30 m, a potom uspostaviti monitoring podzemnih voda, te provjeriti ranije postavljeni matematički model.
4. **Na crpilištu Lipovec** napraviti još minimalno jedan zdenac u drugoj, južnoj bateriji zdenaca, dva piezometarska gnijezda (gornji i donji vodonosnik) na pozicijama zdenaca, te uspostaviti monitoring podzemnih voda i načiniti model dubljeg, donjeg vodonosnika.

Na planiranom **vodocrpilištu Črnkovec** potrebno je nastaviti istražne radove. Nastavak istražnih radova obuhvaća izradu istražno-eksploatacijskih zdenaca, izradu zona sanitarne zaštite planiranog vodocrpilišta Črnkovec te uspostavljanje kontinuiranog praćenja kakvoće podzemne vode na cjelokupnom području potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec). U skladu s dosadašnjim provedenim istraživanjima na planiranom vodocrpilištu Črnkovec, u svrhu postupnog privođenja planiranog vodocrpilišta Črnkovec eksploataciji potrebno je provesti:

1. **Izrada istražno-eksploatacijskog zdenca ZČ-3 na planiranom vodocrpilištu Črnkovec – uža lokacija i tri dodatne strukturno-piezometarske bušotine** za potrebe određivanja parametara vodonosnog sloja, parametara zdenca i optimalnog eksploatacijskog kapaciteta zdenca. Makrolokacija istražno eksploatacijskog zdenca ZČ-3 nalazi se na k.č.

116/1 k.o. Črnkovec. Mikrolokaciju istražno-eksploatacijskog zdenca potrebno je odrediti primjenom geofizičkih istraživanja (električna tomografija), a trase profila odrediti u sklopu geofizičkih istražnih radova s obzirom na preporuke izvođača radova kao i situaciju na terenu. Geofizičkim istraživanjima osigurat će se da, s obzirom na izrazitu heterogenost i učestale lateralne te uspravne izmjene sitnozrnatih i krupnozrnatih naslaga zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika, istražno - eksploatacijski zdenac ZČ-3 bude pozicioniran u najpropusnijim dijelovima vodonosnog sloja. Time će se osigurati pouzdanost i reprezentativnost rezultata pokusnog crpljenja te dobivenog optimalnog eksploatacijskog kapaciteta zdenca ZČ-3. Preporuča se također uzimanje uzoraka podzemne vode iz zdenca ZČ-3 za potrebe određivanja zdravstvene ispravnosti odnosno kakvoće podzemne vode nakon provedenog pokusnog crpljenja.

- 2. Izrada zona sanitarne zaštite planiranog vodocrpilišta Črnkovec:** izrada zona sanitarne zaštite planiranog vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza, Kosnica– Istok i Črnkovec – uža lokacija nakon provedenih radova izrade istražno-eksploatacijskog zdenca ZČ-3. Projektirane kapacitete na koje će se dimenzionirati zone sanitarne zaštite potrebno je utvrditi temeljem provedenih radova pokusnog crpljenja. Projektirani kapacitet planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija utvrdit će se temeljem rezultata provedenog pokusnog crpljenja na zdencu ZČ-3 i određivanja optimalnog eksploatacijskog kapaciteta zdenca. Projektirani kapaciteti planiranih vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza i Kosnica – Istok mogu se utvrditi temeljem provedenih pokusnih crpljenja na vodocrpilištu Kosnica I. faza, s obzirom da se zbog blizine samih vodocrpilišta može opravdano pretpostaviti da će optimalni eksploatacijski kapaciteti biti slični onima utvrđenima za zdence vodocrpilišta Kosnica I. faza. Utvrđene zone sanitarne zaštite vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza te Kosnica – Istok potrebno je novelirati nakon radova izrade istražno-eksploatacijskih zdenaca na tim vodocrpilištima, ukoliko se za to ukaže potreba.

U sklopu projekta izrade zona sanitarne zaštite planiranog vodocrpilišta Črnkovec potrebno je također provesti i analizu lokacija zdenaca s preporukama za promjenu lokacija ako se pokaže da s postojećim predloženim lokacijama jedan dio naselja Črnkovec, Lekнено, Ščitarjevo, Novaki Ščitarjevski ili Sasi ulazi u II. zonu sanitarne zaštite vodocrpilišta. Nastavno na radove izrade zona sanitarne zaštite planiranog vodocrpilišta Črnkovec predlaže se izrada i donošenje Programa mjera za zaštitu i sanaciju u zonama sanitarne zaštite vodocrpilišta te plansko provođenje zaštite i sanacije od svih identificiranih postojećih i potencijalnih objekata/zahvata izvora onečišćenja.

- 3. Uspostavljanje kontinuiranog praćenja kakvoće podzemne vode na cjelokupnom području potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec** – u tom cilju potrebno je 5 piezometara iz postojeće opažačke mreže razina podzemne vode na tri lokacije prenamijeniti te 5 novo izbušenih piezometara na dvije lokacije na području planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija u sustav kontinuiranog praćenja kakvoće podzemne vode. U nastavku radova na projektiranju opažačke mreže za kakvoću podzemne vode, a koji bi trebali obuhvatiti preostala nepokrivena područja Potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec, predlaže se prenamjena postojećih i izrada novih piezometara kao i njihovo uvođenje u sustav kontinuiranog praćenja kakvoće podzemne vode, primarno na području između planiranog vodocrpilišta Črnkovec – uža lokacija i vojnog kompleksa

Pleso odnosno Zračne luke Pleso te na području istočno od planiranog vodocrpilišta Kosnica I. i II. faza sukladno rezultatima prognoznih numeričkih modela transporta potencijalnog onečišćenja.

4. **Izrada istražno-eksploatacijskih zdenaca i dodatnih strukturno-piezometarskih bušotina na planiranim vodocrpilištima Kosnica II. faza i Kosnica – Istok** za potrebe određivanja parametara vodonosnog sloja, parametara zdenaca i mogućeg eksploatacijskog kapaciteta zdenaca. Mikrolokacije istražno-eksploatacijskih zdenaca potrebno je odrediti primjenom geofizičkih istraživanja (električna tomografija), a trase profila u sklopu geofizičkih istražnih radova s obzirom na preporuke izvođača radova kao i situaciju na terenu. Preporuča se također uzimanje uzoraka podzemne vode iz zdenaca za potrebe određivanja zdravstvene ispravnosti odnosno kakvoće podzemne vode nakon provedenih pokusnih crpljenja. U cilju širenja opažačke mreže za kakvoću podzemne vode, također se predlaže i izrada novih piezometara na samom području vojnog kompleksa Pleso i Zračne luke Pleso s obzirom da su to područja koja su u potpunosti nepokrivena piezometrima za praćenje razina i kakvoće podzemne vode, a predstavljaju prostor na kojem se sukladno rezultatima prognoznih numeričkih modela pronosa očekuje značajan dio potencijalnog oblaka onečišćenja.

Pojave ekstremnih mutnoća u Istri (reda veličine i preko 2000 mg SiO₂/l) javljaju se **na izvoru Sv. Ivan** praktički svake godine. Radi se o za vodoopskrbu Istre značajnom izvoru srednje godišnje protoke oko 0,83 m³s⁻¹, kod kojega se za vodoopskrbu prosječno godišnje koristi oko 0,17 m³s⁻¹, a tijekom ljetnih mjeseci i gotovo dvostruko više. Dodatni mogući uzrok pojavama ekstremnih mutnoća moglo biti i pokretanje nataloženog recentnog nanosa u samome izvorištu u uvjetima pojava velikih voda. Zbog toga je potrebno analizirati pojave ekstremnih koncentracija nanosa u izvorištu Sv. Ivan s dva aspekta:

1. Hidrološka analiza raspoloživih podataka o značajkama pojava velikih mutnoća voda i vjerojatnosti njihove pojave obzirom na hidrološke prilike.
2. Premjer i geokemijske analize nataloženog nanosa u izvorištu značajki nanosa, te uzorkovanje i analiza značajki nanosa u uvjetima ekstremnih hidroloških prilika.

Geokemijske analize suspendiranih tvari tijekom pojava ekstremnih mutnoća te blažih замуćenja i nanosa obuhvaća analizu pedesetak kemijskih elemenata, analizu stabilnih izotopa olova, te mineraloške analize na frakciji manjoj od 2µm, također predviđaju se hidrogeokemijske analize voda filtriranih na 0,45/0,2 µm. Granulometrijske analize suspendirane tvari, i nanosa u samom izvorištu obaviti će se na ukupnim uzorcima.

Izotopi olova zajedno s odabranim elementima u tragovima u sedimentima mogu se upotrijebiti kao efikasni prirodni traseri za određivanje porijekla suspendiranih tvari i nanosa. Kemijski element Pb sastoji se od 4 stabilnih izotopa: ²⁰⁸Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁶Pb i ²⁰⁴Pb. Od njih četiri samo ²⁰⁴Pb nije radiogen. Omjeri izotopa ²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb i ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb imaju različite omjere u različitim geološkim materijalima, a zbog antropogenih ujecaja, njihov omjer se mijenja tijekom vremena, na temelju razlika ili sličnosti isotopnih omjera moguće je načiniti modele miješanja i utvrditi udjele materijala različitog porijekla ako su izmjereni u ciljanim materijalima (nanosa u izvorištu i suspendirane tvari tokom pojave mutnoća). Zajedno s

geokemijskim analizama nanosa u izvorištu i suspendirane tvari biti će moguće definirati i eventualne redistribucije elemenata u nataloženim sedimentima, što će omogućiti interpretaciju u smislu postojanja većih poremećaja/pokretanja sedimenta u izvorištu. Mineraloške i granulometrijske analize omogućit će bolje definiranje dinamika u sustavu. Geokemijske analize nanosa u izvorištu i suspendirane tvari te vode ujedno će dati i sveobuhvatni pregled donosa teških kovina i drugih potencijalno toksičnih elemenata u sustav putem suspendirane tvari i nanosa. Geokemijske analize obuhvatiti će 50 tak kemijskih elemenata .

Rezultat provedenih hidroloških i geokemijskih analiza trebala bi biti podloga za donošenje odluke o eventualnom čišćenju dosad nataloženog nanosa u izvorištu Sv.Ivan, kao i saznanja o pojavama nanosa koja bi se koristila u operativne upravljačke svrhe. S obzirom na karakter planiranih istraživanja, za očekivati je da će planirani radovi imati i znanstveni doprinos izučavanju naših krških fenomena.

U cilju pridobivanja novih količina podzemne vode, **u slivu Raše** potrebno je provesti dodatna detaljna istraživanja na izvoru Sv. Antun, Bolobani, Šumber i Grdak.

Na **izvoru Sv. Antun**, analizom postojeće dokumentacije i ranijih rezultata istraživanja, a u cilju definiranja crpilišta, potrebno je provesti slijedeće radove:

1. Probno crpljenje svakog pojedinog i svih 5 postojećih zdenaca zajedno (poseban program).
2. Sanitarna analiza vode tijekom probnog crpljenja u tri navrata (na početku, tijekom i pri kraju probnog crpljenja (najmanje 10 uzoraka).
3. Organizacija mjerenja na očišćenim piezometarskim bušotinama, posebice detaljno tijekom probnog crpljenja zdenaca (automatski mjerači) u dijelu bušotina s mjerenja dubinskim sondama (T, pH, CND, O).
4. Interpretacija podataka s prijedlogom količina i režima crpljenja.

Izvorište Bolobani smješteno je uz desnu obalu rijeke Raše, ali nije sigurno da je tijekom ljetnih sušnih razdoblja dio zone istjecanja centralno istarskog vodonosnika, već je najvjerojatnije vezano za dotoke u podlozi rubnog dijela fliškog bazena i da je pod utjecajem voda, koje protječu bivšim rudnikom Podpićan. To bi trebala pokazati predložena regionalna hidrogeokemijska istraživanja. Dodatni program istraživanja u funkciji zahvata vode na izvorištu Bolobani trebao bi uključiti:

1. Izradu detaljne hidrogeološke podloge M 1:1.000 šire lokacije izvorišta Bolobani radi ocjene lokacija ranije izvedenih istražnih bušotina i istražno-eksploatacijskih zdenaca.
2. Geofizička istraživanja neposrednog zaleđa izvorišta (3 izvorska oka) uz korištenje kombinacije metoda geoelektričnih (tomografija dubinskog zahvata 70 m) i plike seizmike – 1 profil.
3. Kontrolu i čišćenje 2 piezometarske bušotine i 2 istražno-eksploatacijska zdenca komprimiranim zrakom.
4. Organizaciju mjerenja razina podzemne vode i svaka dva mjeseca mjerenja dubinskim sondama (pH, CND, O).

5. Probno crpljenje zdenca EB-2 u trajanju od 168 sati kontinuirano tijekom ljetnog sušnog razdoblja.
6. Interpretaciju podataka i izradu izvješća kao podloge za ocjenu podobnosti izvora za zahvat vode s definiranom očekivanom količinom tijekom sušnih razdoblja.

Na **izvoru Šumber** temeljem ranijih rezultata istraživanja predlažu se slijedeći dodatni radovi:

1. Izrada detaljne hidrogeološke karte neposrednog zaleđa izvorišta.
2. Hidrološka mjerenja ranije aktivnog vodomjera na vodotoku Šumber – preljevne količine izvora.
3. Probno crpljenje izvorskog oka, koje nije izvedeno 1981. Godine.
4. Geofizička istraživanja zone potencijalnih dotoka prema izvoru (tomografija i seizmička refleksija).
5. Izvođenje dodatnih istražnih bušotina s ugradnjom piezometarskih cijevi (lokacija i dubina bušotina ovisi o rezultatima geofizičkih istraživanja).
6. Mjerenja dubinskim sondama u osposobljenim i novim piezometarskim bušotinama jednom mjesečno u trajanju od godinu dana – ugradnja jednog automatskog mjerača razina podzemnih voda.
7. Interpretacija podataka s prijedlogom zahvata vode ukoliko se probnim crpljenjem izvora utvrde zadovoljavajuće količina.

Temeljem ranijih rezultata istraživanja u zaleđu **izvora Grdak** predlažu se slijedeća dodatna istraživanja:

1. Izrada detaljne hidrogeološke karte neposrednog zaleđa izvora Grdak i područja prema zoni povremenog istjecanja prema izvoru Rakonek.
2. Geofizička istraživanja neposrednog zaleđa izvora Grdak (tomografija, plitka refleksija).
3. Hidrološka mjerenja preljevnih količina izvora Grdak.
4. Izvođenje dodatnih piezometarskih bušotina i čišćenje postojećih.
5. Ugradnja automatskih mjerača u 2 piezometarske bušotine i mjerenje dubinskim sondama jedan puta mjesečno (pH, CND, T, O).
6. Interpretacija podataka i izvješće s prijedlogom zahvata vode obzirom na relativno plitke podzemne vode.

Za izradu konačnog elaborata **zona sanitarne zaštite izvorišta Ljute, CPV Neretva** nužna su dodatna istraživanja:

Utvrđiti podzemne veze trasiranjem iz viših sjeverozapadnih područja Konavoskih brda (ukoliko takovi uvjeti postoje) i/ili iz krških polja u jugoistočnoj Hercegovini, što zahtjeva sporazum sa susjednom državom.

Hidrološka terenska opažanja i mjerenja izdašnosti izvorišta Ljute za određivanje bilance podzemne vode sliva, odnosno promjenljivosti vodnih količina u prostoru i vremenu. To

omogućuje obradu dinamike punjenja i pražnjenja ukupnih vodnih zaliha pripadajućih priljevnih područja izvorišta Ljute.

Hidrogeokemijska i izotopna istraživanja podzemne vode koja istječe na izvorištu Ljute. Osnovni pokazatelji koji se trebaju mjeriti su: temperatura, pH, elektrolitička vodljivost, osnovni ionski sastav, te neki prirodni traseri (izotopi vodika, kisika i ugljika). Hidrogeokemijski pokazatelji i posebno odredba izotopa u podzemnoj vodi kao prirodnih trasera, poslužiti će u svrhu boljeg poznavanja dinamike vode u krškim vodonosnicima i drenažnih zona, te vremenu zadržavanja vode u podzemlju, kao i porijekla i područja napajanja izvorišta. Neophodno je četiri (4) puta godišnje obaviti uzorkovanje i analitičku obradu uzoraka vode, odnosno u hidrološkom ciklusu.

Uvažavanjem hidrogeoloških značajka priljevnih područja sliva, kao i preporuka i prijedloga u velikoj mjeri može doprinijeti smanjivanju ekoloških posljedica po vodni okoliš, odnosno rizika onečišćenja podzemne vode, što je nužno za njezinu zaštitu i održivo upravljanje prostorom.

Korištena dokumentacija:

- Bačani, A., Parlov, J., Posavec, K., Perković, D., Diković, S., Rubinić, J. (2003): Istraživanja u cilju zaštite izvorišta vodoopskrbe na području Istarskog poluotoka. Arh. RGN fakultet.
- Bačani, A., Parlov, J., Posavec, K., Perković, D., Bazijanec, M. (2005): Definiranje zalih podzemnih voda na području Istre. Arh. RGN fakultet.
- Bačani, A. & Posavec, K. (2009): Vodoistražni radovi za potrebe implementacije Okvirne direktive o vodama u dijelu koji se odnosi na kvantitativno stanje voda na zagrebačkom i samoborskom području. Arh. RGN fakultet.
- Bačani, A. & Posavec, K. (2011): Implementacija okvirne direktive o vodama EU u dijelu koji se odnosi na kvalitativno stanje voda na zagrebačkom i samoborskom području
- Bačani, A. & Posavec, K. (2013): Elaborat o zaštitnim zonama izvorišta Varaždin, Bartolovec i Vinokovščak (pročišćeni tekst). Arh. Varkom d.o.o. Varaždin.
- Posavec, K. & Bačani, A. (2014): Elaborat o zonama zaštite izvorišta Nedelišće, Prelog i Sveta Marija (pročišćeni tekst). Arh. Međimurske vode, Čakovec.
- Biondić, B. i Goatti, V., (1976): Regionalna hidrogeološka istraživanja Like i Hrvatskog Primorja. Arhiva HGI, Zagreb.
- Biondić, B., Biondić, R., Kapelj, S., Marković, T., Singer, D. & Dolić, S. (2002a): Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva. Izvješće o stanju radova nakon I. faze istraživanja.- Arhiv Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Biondić, R., Kapelj, S. & Rubinić, J. (2004): Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva. A Izvješće II. faze istraživanja. Fond. stru. dok. Hrvatskog geološkog instituta, br. 27/04, Zagreb.
- Biondić, B. & Dukarić, F. (1985.): Hidrogeološki radovi. Zaštitne zone izvorišta Novljanska Žrnovnica na području općine Crikvenica. Arh. HGI, Zagreb.
- Biondić, B., Kapelj, S., Biondić, D., Biondić, R. & Novosel, A. (2002): Studija ugroženosti sliva gornje Kupe. Fond. stru. dok. Hrvatskog geološkog instituta, br. 7/02, Zagreb.
- Biondić, R., Marković, T. & Žugaj, R. (2003): Hidrogeološka istraživanja za zaštitu izvorišta pitke vode na području Vrbovskog.- Arhiv Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- Biondić, B., Meaški, H., Kapelj, S. (2009): Novelacija granica zaštitnih zona vodocrpilišta Novljanske Žrnovnice. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Biondić, R., Biondić, B., Meaški, H. (2010): Novelacija granica zona sanitarne zaštite izvorišta Gacke. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Biondić, R., Biondić, B., Rubinić, J., Meaški, H., Kapelj, S., Tepeš, P. (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Biondić, R., Biondić, B., Meaški, H., Posavec, K. (2011): Sistematizacija znanja o litološkim odnosima zagrebačkog i samoborskog vodonosnika. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Biondić, R., Biondić, B., Meaški, H. (2011): Dolina Raše – analiza dosadašnjih istraživanja sa prijedlogom zahvata. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Bojanić, L. & Ivičić, D. (1984): Hidrogeološka studija područja Metković-Dubrovnik-Konavle. Arhiva HGI, Zagreb.
- Brkić i dr. (2003): Hidrogeološka interpretacija hidrogeokemijskih mjerenja u aluvijalnom vodonosniku i kakvoće podzemne vode na širem području Zagreba. Arhiva HGI, Zagreb.

- Brkić, Ž., Biondić, R., Kapelj, J., Kapelj, S., Marković, T. (2005): Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU. Arh. HGI, Zagreb.
- Brkić, Ž., Biondić, R., Pavičić, A., Slišković, I., Marković, T., Terzić, J., Dukarić, F., Dolić, M. (2006): Određivanje cjelina podzemnih voda na Jadranskom slivu prema kriterijima Okvirne direktive o vodama EU. Arh. HGI, Zagreb.
- Brkić, Ž., Larva, O., Marković, T. (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske. Arh. HGI, Zagreb.
- Brkić, Ž., Kuhta, M., Frangen, T., Biondić, R., Biondić, B., Meaški, H. (2012): I. faza hidrogeoloških istraživanja prekograničnih vodonosnika Republike Hrvatske i Republike Slovenije na području između V. Snežnika i prisavske ravnice. Arh. HGI, Zagreb.
- Brkić, Ž. & Briški, M. (2014): Izvorište Sikirevci Regionalnog crpilišta Istočne Slavonije – elaborate o zonama sanitarne zaštite. Arh. HGI, Zagreb.
- Dukarić, F., Prtoljan, B., Buljan, R. (2007): Prijedlog zona sanitarne zaštite izvorišta Ljuta na području općine Konavle, Hidrogeološka istraživanja. Arh. HGI, Zagreb.
- Estavela d.o.o. (2006): Vodoistražni radovi na području Grada Dubrovnik - Gornja sela-Orašac.
- Estavela d.o.o. (2011): Hidrogeološki istražni radovi u svrhu poboljšanja vodoopskrbe općine Gračac.
- Filbis (2005): Izvještaj o izvođenju vodoistražnih radova na regionalnom crpilištu Babina Greda – Gundinci. Izrada istražno-eksploatacijskih zdenaca.
- Filbis (2007): Izvještaj o izvođenju vodoistražnih radova na crpilištu regionalnog vodovoda Istočne Slavonije. Izrada istražno-eksploatacijskih zdenaca.
- Geoistraživanje (2005): Vodoistražni radovi na crpilištu regionalnog vodovoda Istočne Slavonije. Izrada istražno-piezometarskih bušotina.
- Geoistraživanje (2006): Vodoistražni radovi na crpilištu regionalnog vodovoda Istočne Slavonije. Izrada istražno-piezometarskih bušotina.
- Hlevnjak, B. & Duić, Ž. (2010): Zahvat izvorske vode na lokalitetu Lipovec u Koprivnici, hidrogeološki elaborat, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Hlevnjak, B. & Duić, Ž. (2012): Vodoopskrbni sustav Virovitice, crpilište Korija, izvedba istraživačko-piezometarskih bušotina, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Hlevnjak, B. & Duić, Ž. (2012): Vodoopskrbni sustav Koprivnice, crpilište Ivanščak, verifikacija rada crpilišta, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Hlevnjak, B. & Duić, Ž. (2013): Studija mogućnosti korištenja s procjenom izdašnosti podzemnih vodonosnika na vodnom području Donje Drave i Dunava. Arh. RGN fakultet.
- Hlevnjak, B. & Duić, Ž. (2013): Vodoopskrbni sustav Virovitice, crpilište Korija, izvedba istraživačkog zdenca Z-1, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Hlevnjak, B. & Duić, Ž. (2013): Vodoopskrbni sustav Slatina, crpilište Medinci, elaborat o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

- Hlevnjak, B. , Posavec, K., Duić, Ž., Ferić, P. (2014): Vodoopskrbni sustav Koprivnice, crpilište Lipovec, dopuna elaborata o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Hlevnjak, B. , Posavec, K., Duić, Ž., Ferić, P. (2014): Vodoopskrbni sustav Koprivnice, crpilište Ivanščak, dopuna elaborata o usklađenju zona sanitarne zaštite izvorišta, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Hrvatski geološki institut (2004.):Vodocrpilište u Martinšćici. Pokusno crpljenje zdenaca MB-1 I MB-2, vodoistražni radovi.
- Hrvatski geološki institut (2005): Hidrogeološka istraživanja u cilju definiranja eksploatacijskih zaliha podzemne vode na potencijalnom regionalnom crpilištu „Gudinci – Sikirevcima“.
- Hrvatski geološki institut (2008): Definiranje eksploatacijskog režima crpljenja na crpilištu regionalnog vodovoda Istočne Slavonije u Sikirevcima.
- Kapelj, S., Kapelj, J., Prelogović, E., Marjanac, T. (2006): Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice. Prva faza studijsko-istraživačkih radova. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Kapelj, S., Kapelj, J., Jukić, D., Denić-Jukić, V. (2008): Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice. Druga faza studijsko-istraživačkih radova. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Kapelj, S., Kapelj, J., Hip, I., Loborec, J., Dogančić, D. (2009): Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice. Treća faza studijsko-istraživačkih radova. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Kapelj, S., Dogančić, D., Loborec, J., Kapelj, J. (2012): Studija upravljanja izvorima Jadra i Žrnovnice. Arh. Geotehnički fakultet, Varaždin.
- Kuhta, M., Frangen, T., Stroj, A. (2009): Trasiranje tokova podzemne vode s Grobničkog polja - Ponor rupa u Donjem Jelenju i Bušotina DB-1. Arhiva HGI, Zagreb.
- Kuhta, M., Frangen, T., Stroj, A. (2010): Vodoistražni radovi u cilju zaštite izvorišta Krbavica II. Faza. Trasiranje ponora na Trnovac polju. Arh. HGI, Zagreb.
- Kuhta, M. & Frangen, T. (2013): Trasiranje na području Grobničkog polja u svrhu određivanja sliva bunara u Martinšćici. Arhiva HGI, Zagreb.
- Libertas U.G.M. (2009): Vodoistražni radovi na području MO Doli, Općina Dubrovačko primorje. Dugotrajno pokusno crpljenje na bušotinama D-1 i D-2.
- Munda, B., Trutin, M., Matić, N., Kotoran Munda, M. (2006): Hidrogeološka istraživanja priljevnog područja izvora Kozjan - općina Lovinac. Arh. Geoqua d.o.o., Zagreb.
- Munda, B., (2009): Vodoistražni radovi za potrebe novelacije granica zaštitnih zona vodocrpilišta riječkog vodoopskrbnog sustava Arh. Geoqua d.o.o., Zagreb.
- Munda, B., Trutin, M., Pribeg, D. (2009): Novelacija granica zaštitnih zona vodocrpilišta riječkog vodoopskrbnog sustava. Arh. Geoqua d.o.o., Zagreb.
- Munda, B., Trutin, M., Pribeg, D., Rogožar, V. (2009): Hidrogeološka istraživanja za novelaciju druge zone sanitarne zaštite izvorišta Gradole i Sveti Ivan. Arh. Geoqua d.o.o., Zagreb.
- Munda, B., Trutin, M., Ljubešić, J. (2010): Hidrogeološka istraživanja za novelaciju druge zone sanitarne zaštite izvorišta Bužin i Gabrijeli. Arh. Geoqua d.o.o., Zagreb.
- Munda, B., Trutin, M., Ljubešić, J. (2011): Trasiranje iz područja Brinja. Hidrogeološki radovi za novelaciju granica zaštitnih zona izvorišta Novljanska Žrnovnica. Arh. Geoqua d.o.o., Zagreb.
- Pavičić, A., Fritz, F. i Bahun, S. (1984): Studija optimalnog korištenja vode slivova Like i Gacke. Knjiga 4. Geologija (Geološke podloge). Arhiva HGI, Zagreb.

- Pavičić, A. & Renić, A. (1993): Hidrogeološka studija graničnog područja Lika-Dalmacija. Arh. HGI, Zagreb.
- Pavičić, A., Prelogović, E., Biondić, D., Kapelj, S. i Hinić, V. (1997): Studija ugroženosti izvorišta Gacke. Arhiva HGI, Zagreb.
- Pavičić, A. i Dolić, S. (2003): Trasiranje ponora Kotao-Reljić draga u Kvartama. Arhiva HGI, Zagreb.
- Pavičić, A., Terzić, J., Stroj, A. (2007): Vodoistražni radovi na području općine Perušić. Arh. HGI, Zagreb.
- Posavec, K. (2013): Mogućnosti eksploatacije podzemne vode iz zagrebačkoga aluvijalnog vodonosnika na postojećim vodocrpilištima Grada Zagreba - analiza današnjeg i prognoza budućeg stanja. Arh. RGN fakultet.
- Posavec, K., Parlov, J., Trutin, M., Vlašić, I., Vukojević, P., Krsnik, M., Kaurić, T., Tolić, S. (2013): Istražni radovi u svrhu određivanja lokacija razvoja vodocrpilišta na području potencijalnog vodozaštitnog područja Črnkovec. Arh. RGN fakultet.
- Stroj, A. (2012): Udbina – Zone sanitarne zaštite izvora Bukovac i Kraljevac. Arh. HGI, Zagreb.
- Šimunić, A., Klanjec, D., Donevski, M. (2011): Vodoistražni radovi i bušenje u općini Zažablje. Arh. Geo-Cad d.o.o., Zagreb.
- Terzić, J. & Frangen, D. (2010): Dugotrajno crpljenje na crpilištu izvora Čikola. Arh. HGI, Zagreb.
- Terzić, J. & Marković, T. (2011): Dodatna istraživanja u sklopu dugotrajnog crpljenja na crpilištu izvora Čikola. Arh. HGI, Zagreb.
- Urumović, K. & Hlevnjak, B. (1997): Izvorište vodoopskrbnog sustava Pitomače. Hidrogeološka istraživanja i izvedba zdenca ZP-1. Fond stručnih dok. RGN fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Urumović, K. & Hlevnjak, B. (1997): Vodoopskrbni sustav Virovitice. Hidrogeološka studija razvitka regionalnog crpilišta Virovitica. Fond dokumenata Hydroexperta, Zagreb.
- Urumović, K. & Hlevnjak, B. (1998): Vodoopskrbni sustav Virovitice. Duboka struktirno-piezometarska bušotina K-3 u Koriji i razvitak regionalnoga crpilišta. Fond dokumenata Hydroexperta, Zagreb.
- Urumović, K., Hlevnjak, B., Duić, Ž. (2005): Koprivnički vodoopskrbni sustav, rezultati istraživanja regionalnoga crpilišta Lipovec i izvedba prvoga istraživačko-eksploatacijskog zdenca ZL-1, Fond stručnih dokumenata Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.