

## HIDROGEOLOŠKA OSNOVA ZAŠTITE PODZEMNIH VODA U KARSTU NA PRIMERU BELJANICE

Saša MILANOVIĆ, Ljiljana VASIĆ

Centar za hidrogeologiju karsta, Departman za hidrogeologiju,  
Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Đušina 7, Beograd

### REZIME

Zaštita podzemnih voda karstnih terena koji sadrže važan resurs voda za budućnost, sve više dobija na značaju kao jedan od ključnih parametara regionalnog planiranja i razvoja karstnih regiona. Karstna sredina je poznata kao izuzetno osetljiva na bilo kakvu promenu prirodnih karakteristika, a njena reakcija na poremećaj je brza i često veoma drastična. Upravo zbog toga ona mora da bude pod striktnom zaštitom. Međutim, kriterijumi za definisanje zona sanitarne zaštite u karstu su bitno različiti od aktuelnih kriterijuma koji se primenjuju u nekarstnim terenima, pogotovo kada se radi o velikim masivima koji se dreniraju na samo par koncentrisanih punktova. Jedan od osnovnih preduslova za kvalitetnu strategiju zaštite jednog karstnog masiva, odnosno karstne izdani, je određivanje zona sanitarne zaštite, i to kroz izradu modela i karte ugroženosti podzemnih voda karstne izdani. Samo takvim "strogim" principima i merama zaštite karstnih izdanih voda moguće je sačuvati ove izdani za buduća lokalna, pa i regionalna vodosnabdevanja. Jedan od dobrih primera je Beljanička karstna izdan, čije su rezerve oko 3 m<sup>3</sup>/s u minimum, i kao takva čini dobru osnovu za potrebe regionalnog vodosnabdevanja.

**Ključne reči:** karst, ugroženost podzemnih voda, zone sanitarne zaštite

### UVOD

Zbog velike osetljivosti karstne izdani na zagađivanje, a u funkciji iskorišćavanja njenih kvalitetnih podzemnih voda, ona često mora da bude pod striktnom zaštitom. Međutim, kriterijumi za definisanje zona zaštite u karstu su bitno različiti od aktuelnih kriterijuma koji se primenjuju u nekarstnim terenima. Glavna razlika

između izdani u karstu i izdani u intergranularnim i slabo propusnim stenama je vrlo brza cirkulacija, samim tim je daleko kraći kontakt zagađivača sa stenskim matriksom, kao i vreme za autopurifikacioni proces. Predhodno navedene karakteristike ukazuju na kompleksnost problema i osetljivost karsta, kao i na neophodnost interdisciplinarnog pristupa. Takav pristup se ogleda kroz izradu dobre hidrogeološke karte, kao i kvalitetno urađene karte ugroženosti podzemnih voda, izradu kvalitetnog modela karstnih kanala, odnosno definisanje pravca i brzina kretanja podzemnih voda. Sve to zajedno predstavlja nezaobilaznu osnovu za odgovorno definisanje zona sanitarne zaštite budućih izvorišta u karstu.

### KARTE UGROŽENOSTI, KAO BITNA PODLOGA ZA ZAŠTITU PODZEMNIH VODA OD ZAGAĐENJA

Sve veći uticaj ljudskog faktora na životnu sredinu u velikoj meri je doprineo da u mnogim regionima dođe do promene ekosistema karstnih izdani. Nijedna sredina nije toliko podložna zagađenju, kao što je to slučaj sa karstnom izdani. Karte ugroženosti podzemnih voda predstavljaju osnovno oruđe za njihovu zaštitu i podlogu koju koriste ne samo hidrogeolozi, nego i prostorni planeri u cilju donošenja odluke o pravilnom planiranju razvoja određenog područja.

Koncept ugroženosti podzemnih voda baziran je na pretpostavci da fizičko okruženje obezbeđuje određen stepen zaštite podzemnih voda u odnosu na prodor zagađivača u sredinu (Vrba, Zaporozec, 1994). Sposobnost samoprečišćavanja, odnosno autopurifikaciona svojstva izdani predstavljaju sveukupni uticaj fizičkih, hemijskih i bioloških procesa koji se odvijaju na relaciji voda-vazduh-stena.

Poslednjih decenija razvijen je veliki broj metoda koje se koriste za izradu karata ugroženosti – DRASTIC, GLA, SINACS, GOD, EPIK, PI, COP, IZDAN i druge. Navedene metode se primenjuju u zavisnosti od različitih hidrogeoloških uslova, a razlikuju se i prema nameni i nivou ulaznih podataka. Određene metode koriste se za procenu ugroženosti celog sistema (eng. *Resource vulnerability*), dok se druge primenjuju u oceni ugroženosti i zaštiti zona isticanja ili izvorišta (eng. *Source vulnerability*).

Uvažavajući specifičnosti karstnog hidrogeološkog sistema, razvijene su metode koje uzimaju u obzir njihovu specifičnu strukturu, a najširu primenu našle su EPIK (Doerfliger N., et al, 1995), PI (Goldscheider N., 2005) i COP.

Svi podaci za potrebe izrade jedne karte ugroženosti od zagađenja se skladište u okviru GIS sistema i integrišu u okviru formiranog GIS modela. Podaci su sadržani u osnovnim slojevima modela (eng. *Layers*), i to su najčešće geološki i strukturno-geološki, hidrogeološki podaci, vegetacija i pedologija, u koje su integrisani hidrometeorološki podaci, satelitski i aero snimci, morfološki podaci i dr.

#### **Primer primene EPIK metode – Beljanička karstna izdan**

Polazeći od činjenice da je u okviru Beljaničkog masiva sa hidrogeološkog aspekta dominantno rasprostranjenje karstne izdani, a imajući u vidu raspoloživi nivo ulaznih parametara za ocenu ugroženosti podzemnih voda, primena **EPIK** metode predstavlja najlogičniji početni korak u određivanju zona sanitarne zaštite.

Na osnovu uspostavljenog konceptualnog modela karstnog hidrogeološkog sistema, EPIK metoda podrazumeva četiri faktora, odnosno neophodno je formirati četiri glavne podloge (Doerfliger & Zwahlen, 1998):

- E – rasprostranjenje epikarsta
- P – rasprostranjenje zaštitnog sloja
- I – uslovi infiltracije
- K – stepen razvića karsta

Podloge se primarno formiraju na osnovu podataka dobijenih terenskim merenjima, dok se metod daljinske detekcije, odnosno analiza satelitskih snimaka koristi za ažuriranje pojedinih podloga – podataka (npr. vegetacionog pokrivača – ukoliko su terenska istraživanja znatno starija od datuma snimanja), kao i za detaljnija prostorna izdvajanja (u krupnijoj razmeri).

Svaki od četiri faktora Beljaničke karstne izdani (E – epikarst, P – zaštitni pokrivač, I – uslovi infiltracije i K – razviće karsta) je posebno određen i implementiran u GIS okruženje, gde su kasnije izvršene i analize, odnosno proračuni.

Primena parametarskih metoda vezana je i za određen stepen subjektivnosti pri određivanju vrednosti parametara i njihovih težinskih koeficijenata. Stoga, analiza osetljivosti omogućava da se preciznije utvrdi uticaj svakog od razmatranih parametara i njegov težinski koeficijent u primenjenoj metodi. U tom cilju, primenjena je analiza **procena efektivnih težinskih faktora** (*Effective Weighting Factors*).

Efektivni težinski faktor predstavlja uticaj svakog parametra za neko podpodručje pri proračunu konačnog indeksa ugroženosti. Proračun efektivnog uticaja je izveden korišćenjem sledeće relacije:

$$W_{Xi} = \frac{X_{Ri} \cdot X_{Wi}}{V_i} \cdot 100$$

gde su  $X_{Ri}$  i  $X_{Wi}$  vrednosti parametra i težinski koeficijent za podpodručje i, a  $V_i$  je indeks ugroženosti za isto podpodručje.

Za proračun srednjeg efektivnog težinskog faktora korišćena je sledeća jednačina:

$$W_{AXi} = \sum \frac{W_{Xi} \cdot P_i}{P}$$

gde je  $P_i$  površina podpodručja i, a  $P$  površina istražnog područja

Epikarst je određen na osnovu terenskih podataka, topografskih i geoloških karata istražnog područja, kao i vizuelnom korelacijom sa podacima dobijenim klasifikacijom na satelitskom snimku. Klasifikacija je izvršena primenom nenadgledane (unsupervised) klasifikacije, odnosno metode ISODATA, pri čemu je izdvojeno niz klasa koje su kasnije podeljene u tri kategorije: E1 – visoko razvijen epikarst (ponori, doline, karstna polja), E2 – srednje razvijen epikarst i E3 – nepostojeći epikarst.

Za procenu faktora P korišćeni su pedološka karta sitne razmere 1 : 25 000. Izdvojene su 4 kategorije (P1, P2, P3, P4), a kao kriterijum za izdvajanje uzeti su debljina zaštitnog pokrivača i sastav vegetacije.

Za određivanje I parametra formiran je digitalni elevacioni model terena DEM, rezolucije 20 m sa

pomoćnim izohipsama na 5 m u zonama morfološki zahtevnih zona (klisure, useci, vrtače, slepe doline i dr). Na osnovu navedenih podataka urađena je analiza nagiba terena (*Slope analysis*), što je neophodan uslov za definisanje parametra I.

Za analizu faktora K korišćene su geološka karta, hidrogeološka karta i terenska istraživanja. Izdvojene su 3 kategorije: K1 – dobro razvijene karstne mreže terena; K2 – srednje razvijene karstne mreže kanala i K3 – ostatak područja.

Karta ugroženosti podzemnih voda dobijena je kombinacijom sva četiri parametra formulom:

$$F = \alpha E_i + \beta P_j + \gamma I_k + \delta K_l,$$

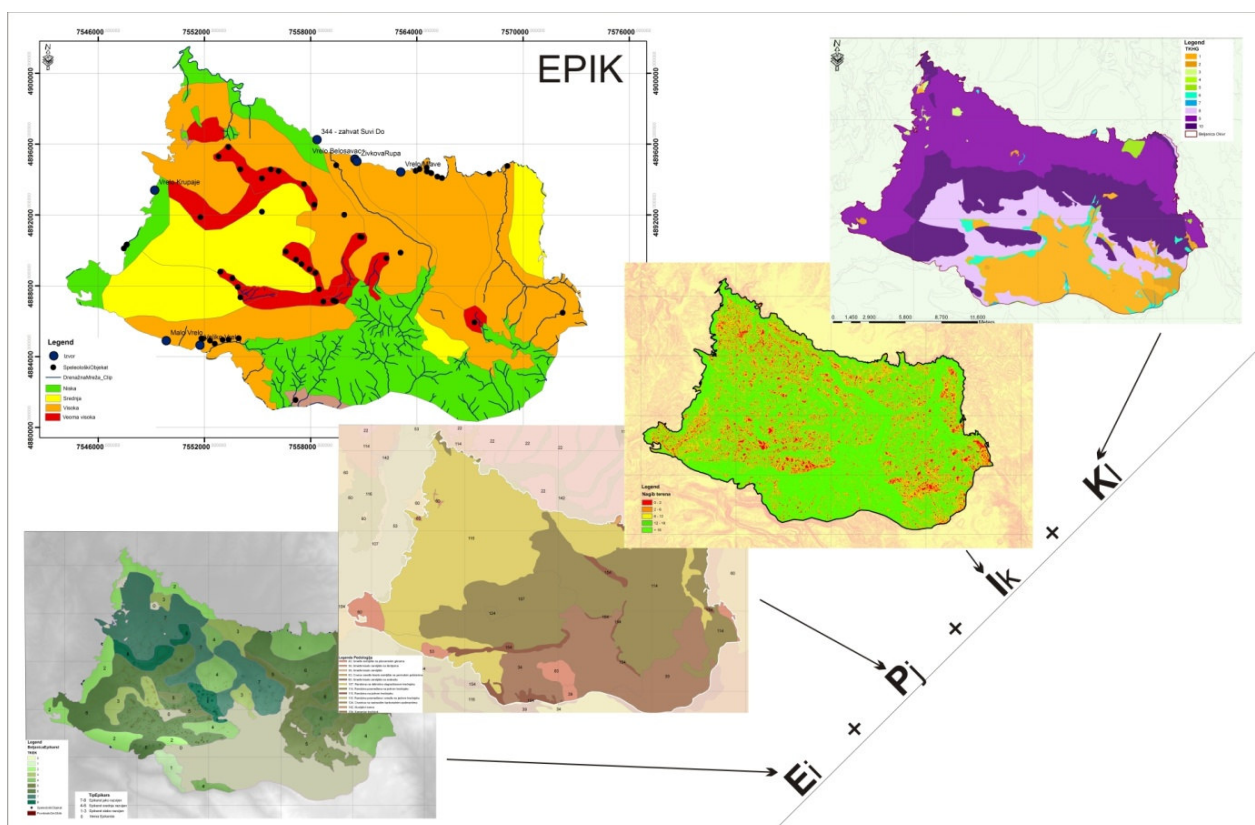
pri čemu su za težinske koeficijente  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\delta$  uzete vrednosti 3, 1, 3 i 2 (Doerfliger, Zwahlen, 1995). Proračun je izvršen u GIS okruženju, gde je i dobijena finalna karta ugroženosti podzemnih voda (Slika 1.).

Na osnovu dobijenih podloga i primenom EPIK metode na primeru Beljanice, dobijena je karta u okviru koje su

izdvojena sva 4 nivoa ugroženosti podzemnih voda. Najznačajnije „zone visoke ugroženosti“ generalno su vezana za prostore sa dobrim razvićem karsta, koje karakteriše visok stepen zastupljenosti karstnih pojava, kao i odsustvo „zaštitnog“ pokrivača, što uslovljava rapidnu infiltraciju. Drugim rečima, to su zone okarakterisane kao najugroženije, gde prirodna sredina ne može da spreči/ublaži stepen zagađenja podzemnih voda, ukoliko dođe do prodora nekog zagađivača sa površine terena.

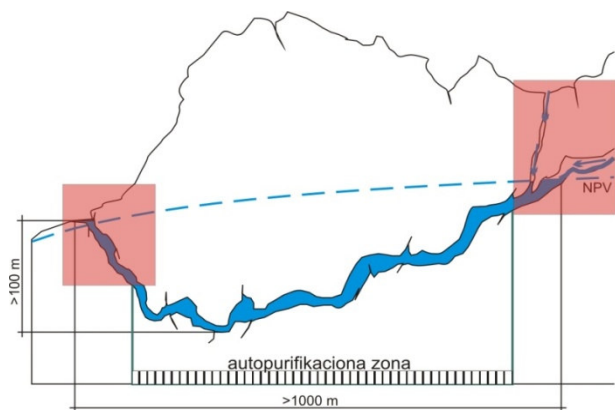
### FORMIRANJE MODELA RASPROSTRANJENJA KARSTNIH KANALA U FUNKCIJI ZAŠTITE PODZEMNIH VODA

Karstni sistemi generalno imaju dve jasno izražene tačke uticaja zagađenja bez mogućnosti prečišćavanja: prva – zona infiltracije kroz ponore, ponorske zone ili pukotinske sisteme do zone potpune saturacije, tj. Zone nivoa podzemnih voda; druga – zona dreniranja, tj. Zona gde na veoma malom rastojanju dolazi do mešanja podzemnih i površinskih voda neposredno pre isticanja (Milanović S., 2007).



Slika1. Izrada karta ugroženosti podzemnih voda Beljaničkog masiva

Na slici 2. su shematski prikazane zone uticaja površinskih agenasa na podzemne vode i ograničenu autopurifikacionu zonu karstne izdani. Generalno, autopurifikaciona sposobnost karsta je veoma slaba (Milanović S., 2004).



Slika 2. Shematski prikaz zona uticaja površinskog faktora kod duboke sifonske cirkulacije (Milanović S., 2004).

Na slici je prikazan deo izdani koji se uglavnom kaptira, a koji je daleko izloženiji zagađenju od dubljih delova karstne izdani. Samim tim, zahvatanje dubljih horizonata može da obezbedi i veću sigurnost u pogledu kvaliteta podzemnih voda.

Upravo za određivanje potencijalno značajnih zona privilegovanih pravaca kretanja podzemnih voda, kao i zona podložnijih zagađenju na Beljaničkom masivu, iskorišćen je 3D model karstne izdani i rasprostranjenja karstnih kanala.

Formiranje 3D mreže karstnih kanala se odnosi na definisanje položaja svih karstnih provodnika dobijenih kroz modeliranje karstne izdani. Ukupna mreža karstnih kanala, koju je bilo moguće i orjentaciono prikazati na primeru Beljaničke izdani, iznosi 647,191 km. U prvu kategoriju, koju definišu dva generalna podatka, pouzdanost određivanja i veličina glavnih provodnika, spada 84,813 km kanala. U drugu kategoriju spadaju proporcionalno manji kanali sa slabijim faktorom pouzdanosti, i to 106,901 km kanala, dok u treću kategoriju kanala spadaju kanali koji predstavljaju vezu zone prihranjivanja (površine) sa provodnicima u dubljim delovima karstnog sistema. Njihova pouzdanost je svakako jako velika, dok su njihove veličine znatno manje u odnosu na dužinu ovih kanala, odnosno na njihovu hidrogeološku ulogu (Milanović S. i dr., 2010).

Iz gore navedenih dužina karstnih provodnika dobijenih kroz model karstne izdani, jasno se uviđa da glavni provodnici čine tek nešto više od 13 % kanala koji se mogu smatrati za glavne provodnike, odnosno najpodložnije zone zagađivanja jednog karstnog sistema, što je i na kraju logički rezultat u samom posmatranju funkcionisanja karstne izdani. Radi bolje ilustracije odnosa položaja zona prihranjivanja – jame, vrtače i sistemi vrtača, kao najmarkantnijih površinskih ulaza u karstni sistem preko mreže kanala do povremeno, i kasnije stalno aktivne zone, dat je prikaz detalja zona isticanja sa 3D mrežom i njenim vertikalnim rasprostranjenjem. 3D prikaz kanala u zoni isticanja Krupajskog vrela, prikazan je na slici 3.

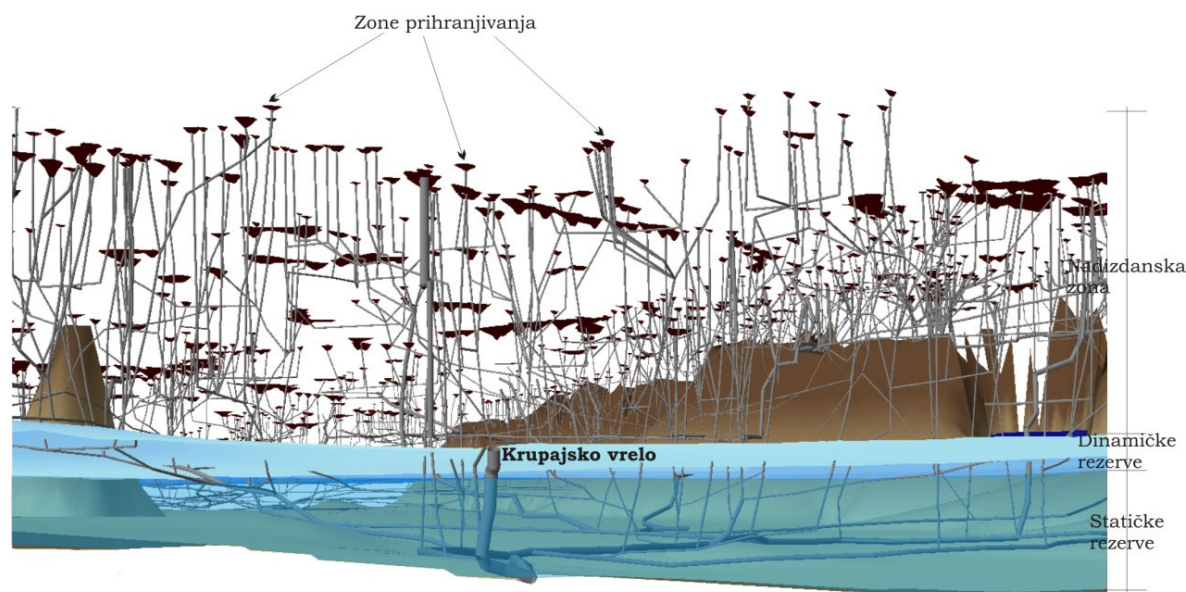
### DEFINISANJE AUTOPURIFIKACIONIH SVOJSTAVA KARSTNE IZDANI U CILJU ODREĐIVANJA ZONA SANITARNE ZAŠTITE

Pored predhodno prikazane karte ugroženosti podzemnih voda od zagađenja i izrade kvalitetnog modela rasprostranjenja karstnih kanala unutar jedne karstne izdani, faktori koje je neophodno uzeti u razmatranje pri definisanju zona zaštite su:

- vreme koje voda provede u podzemlju
- rastojanje koje podzemna voda treba pređe od mesta infiltracije do vodozahvatnog objekta
- tipovi i lokacije koncentrisanih mesta poniranja površinskih voda (što je veoma bitno u karstu Beljanice).

Kao što je već pomenuto, autopurifikaciona svojstva izdani predstavljaju njenu sposobnost da se zagađena voda dospela u podzemlje u toku njene cirkulacije više ili manje prečisti određenim fizičko-hemijskim ili biološkim procesima, koji nastaju u kontaktu vode sa karbonatnom sredinom. Fizički (razblaživanje i taloženje) i hemijski (oksidacija, redukcija i hidroliza) procesi, zajedno sa biološkim procesima, znatno utiču na kvalitet infiltrirane vode i u zavisnosti od vremena zadržavanja vode u podzemlju mogu delimično ili u potpunosti otkloniti zagađujuću materiju.

Sredina kroz koju se zagađena voda kreće predstavlja jedan od najbitnijih uslova za razvoj autopurifikacije. U intergranularnoj sredini filtracija vode predstavlja dugotrajan proces, samim tim je i samoprečišćavanje tih voda izraženije, za razliku od karstne izdani, koja se karakteriše rasprostranjenjem mreže karstnih kanala, gde je cirkulacija često veoma brza, te je proces samoprečišćavanja smanjen ili čak u određenim karstnim sredinama izostaje.



Slika 3. 3D prikaz kanala posmatrano iz pravca zone isticanja Krupajskog vrela – Beljanica, (Milanović S., 2010)

U karstoj sredini, proces samoprečišćavanja zavisi i, pored veličine i rasprostranjenja kanala, od tipa cirkulacije odnosno isticanja podzemnih voda (gravitaciona ili sifonalna cirkulacija). Gravitaciona cirkulacija se odlikuje brzim i turbulentnim tečenjem podzemne vode od zona infiltracije do zona dreniranja, odnosno vreme zadržavanja vode u podzemlju je često nedovoljno za razvoj fizičkih, hemijskih ili bioloških procesa, tokom kojih bi se kvalitet vode poboljšao. Suprotno od njih, kretanje vode kroz sifonalni sistem karstnih kanala koji zaležu mnogo dublje od zona isticanja, karakterišu se često znatno usporenom cirkulacijom podzemne vode, pa je samim tim i mogućnost razvoja procesa samoprečišćavanja veća.

Vreme zadržavanja vode u podzemlju (*mean residence time*), predstavlja jedan od značajnijih faktora koji bitno utiče na proces autopurifikacije. Za određivanje vremena i brzine cirkulacije najčešće su korišćene traserske metode, odnosno metode obeležavanja podzemnih voda. Jedan od savremenijih pristupa određivanja vremena potrebnog da voda prođe od svoje tačke poniranja do tačke izviranja vrši se kroz primenu izotopskih analiza, koje nalaze sve veću primenu u hidrogeologiji. Izotopske analize predstavljaju značajano sredstvo pomoću kojih se pored određivanja porekla podzemnih voda, uslova cirkulacije i mešanja

podzemnih voda, kao i određivanja putanje kretanja podzemnih voda, jasno može odrediti i vreme zadržavanja vode u sistemu, odnosno vreme koje je potrebno molekulu vode da pređe od tačke A do tačke B. Procesi koji se dešavaju u atmosferi (meteorski procesi), menjaju prirodni sadržaj stabilnih izotopa vode, tako da voda koja se sa površine terena infiltrira u podzemlje ima određeno obeležje u pogledu izotopskog sastava. Ovo obeležje, odnosno karakteristike i sadržaj stabilnih izotopa služe kao prirodni traser kojim se može odrediti poreklo podzemnih voda, a na osnovu raspada izotopa, može se utvrditi starost podzemnih voda, kao i vreme zadržavanja voda u sistemu. Izotopi životne sredine koji se najčešće koriste u ove svrhe su izotopi zastupljeni u vodi, a to su vodonikovi izotopi deuterijum i tricijum, kao i izotop kiseonika  $^{18}\text{O}$ .

Na osnovu dobijenih rezultata traserskih ili izotopskih analiza utvrđenog vremena trajanja cirkulacije od zona infiltracije do zona isticanja, može se pretpostaviti koje su autopurifikacione sposobnosti karstne sredine. Sa dužim periodom zadržavanja vode u sistemu kanala, povećanjem autopurifikacionih svojstva, može se zaključiti da i ukoliko dođe do zagađenja podzemnih voda na ulazu u sistem, koncentracija zagađivača će znatno opasti tokom tečenja kroz podzemlje, odnosno biće znatno niža u zoni dreniranja.



## ODREĐIVANJE ZONA ZAŠTITE KARSTNIH PODZEMNIH VODA

Kompleksnost problema zaštite podzemnih voda, kao što je to na primer Beljanička karstna izdan, i osjetljivost ovako dobro razvijenog karsta zahtevaju interdisciplinarni pristup, gde ključna profesionalna odgovornost leži na hidrogeolozima. Dobre hidrogeološke podloge su nezaobilazna osnova za odgovorno definisanje zona zaštite.

Sa ekonomskog aspekta očuvanja izvorišta za budućnost, kao polazne osnove treba postaviti i odrediti zone zaštite sa aspekta garantovane sigurnosti, a pri čemu se koriste najčešći kriterijumi za izdvajanje zona sanitarne zaštite, i to (Milanović P., 1995):

**Prva zona** – Neposredna zona zaštite koja pokriva najuže zone izvorišta ili budućih vodozahvata;

**Druga zona** - Zaštićena zona je područje u kojem je vodi potrebno određeno vreme da bi dospela do vodozahvatnog objekta;

**Treća zona** - Široka zona zaštite, a koja u sebi mora da objedinjuje sve one lokacije sa kojih je direktno utvrđena veza ponorskih sa izvorskim objektima;

**Četvrta zona** – Predstavlja, zapravo, kompletnu zonu prihranjivanja definisanu hidrogeološkim istražnim radovima.

Iako se, generalno, ovakav pristup očuvanja karstnih izdani podrazumeva u najvećem broju slučajeva se njega niko ne pridržava, pa je tako npr. Opštinska deponija čvrstog otpada upravo formirana u karstnoj vrtači, neposredno iznad vrela Mlave (mogućeg budućeg izvorišta za regionalno vodosnabdevanje) sl. 4.



Slika 4. Deponija čvrstog otpada u vrtači iznad vrela Mlave

P. Milanović (1999) definiše IV zone zaštite podzemnih voda u karstu (koje se u potpunosti mogu primeniti na Beljanicu) i to:

### *I ZONA – Područje neposredne zaštite*

Zona zahvata područje izvorišta, odnosno vodozahvata. Granica ove zone mora biti udaljena najmanje 50 m od vodozahvata u smeru dotoka vode i mora da bude ograđena i pod stalnom kontrolom. Podloga za definisanje granica ove zone je hidrogeološka karta razmere 1:1000, karta ugroženosti podzemnih voda od zagađenja kao i model rasprostranjenja karstnih kanala (ukoliko ga je moguće formirati). U ovoj zoni su zabranjene sve aktivnosti koje nisu u funkciji zahvatanja vode. Strogo su zabranjeni javni saobraćaj i poljoprivredne aktivnosti, dok svi prirodni otvori (pećine, jame ili veće otvorene pukotine) moraju da budu zaštićeni.

### *II ZONA – Zona veoma stroge zaštite i strogih ograničenja*

To su delovi sliva u neposrednom zaleđu izvorišta i ponorske zone čije su veze sa izvorištem dokazane traserskim i izotopskim istraživanjima. Voda koja ponire u ovim zonama dospeva do vodozahvatnog objekta za manje od 24 h, tako da su male mogućnosti za blagovremeno preduzimanje interventnih mera zaštite na vodozahvatu. Područje u krugu 20 – 30 m oko otvora ponora treba da bude zaštićeno ogradom. U slučaju formiranja predponorske retenzije zaštitna zona oko ponora se proširuje. Granice II zone se određuju na osnovu hidrogeoloških karata razmere 1: 5.000 i 1: 25.000, karta ugroženosti podzemnih voda od zagađenja kao i model rasprostranjenja karstnih kanala (ukoliko ga je moguće formirati) i traserskih odnosno izotopskih istražnih radova. U granicama II zone strogo je zabranjeno korišćenje jama, pećina i ponora za deponovanje otpada kao i uvođenje otpadnih voda industrije ili gradske kanalizacije. Sve navedene zone moraju biti pod striktnom kontrolom. Takođe je zabranjena upotreba pesticida i drugih hemijskih sredstava koji su štetni za vodu i tlo.

### *III ZONA – Zona stroge zaštite*

Ova zona obuhvata sve ponore u slivu (aktivne i povremene) koji se nalaze van II zone, a koji imaju direktnu vezu sa objektima vodozahvata. Vodi je potrebno od nekoliko do deset i više dana da stigne do vodozahvata (što je predhodno neophodno utvrditi traserskim i izotopskim istraživanjima). Veoma često, ova zona se ne graniči sa drugom zonom, već je

izdvojena u vidu zaštićenih enklava unutar zone nižeg reda zaštite. U treću zonu se kategoriju i delovi terena sa indiciranim zonama koncentrisanih podzemnih tokova koje su orijentisane u pravcu vodozahvata. Za definisanje ove zone neophodnu osnovu čine hidrogeološka karta razmere 1: 25.000, karta ugroženosti podzemnih voda od zagađenja kao i model rasprostranjenja karstnih kanala (ukoliko ga je moguće formirati) i rezultati traserskih istraživanja reprezentativnih zona koncentrisane infiltracije. Takođe je zabranjeno korišćenje jama, ponora i pećina za deponovanje otpada bilo koje vrste. Nije dozvoljena izgradnja objekata bazne i hemijske industrije, rezervoara za naftu i naftne derivate, odlagališta radioaktivnih materijala i deponija bilo koje vrste.

#### **IV ZONA – Spoljašnja zona zaštite**

Ova zona zahvata područje između spoljnih granica III zone i vododelnica prema susednim slivovima. U nju su svrstani oni delovi sliva iz kojih nije dokazana direktna podzemna veza sa vodozahvatom koji se štiti, kao i delovi terena bez dokazanih zona koncentrisane podzemne cirkulacije. Tu spadaju i delovi terena sa pokrivenim karstom i sporom infiltracijom. Brzina kretanja podzemne vode je manja od 1 cm/s, a vreme potrebno da dođe do vodozahvata je veće od mesec dana. Za definisanje granica ove zone neophodna podloga je hidrogeološka karta razmere 1:100.000 i karta ugroženosti podzemnih voda od zagađenja. U IV zoni nije dozvoljeno odlaganje radioaktivnog i hemijskog otpada.

#### **ZAKLJUČAK**

Uspešnost određivanja mera zaštite podzemne vode u karstu u velikoj meri zavisi od kvalitetnih ulaznih parametara koji se ogledaju kroz izradu karte ugroženosti podzemnih voda, dobru i kvalitetnu izradu modela karstne izdani i njihovo preklapanje sa svim ostalim postojećim podacima.

Radi što boljeg razumevanja specifičnosti zaštite karstne izdani, neophodno je poznavanje mnogih faktora, od kojih se sledeći mogu izdvojiti kao najznačajniji:

- prihranjivanje izdani koje je veoma brzo i često se odvija kroz zone koncentrisane infiltracije, i to uglavnom preko velikog broja vrtača i jednog broja ponora;
- velike količine vode koje teku kroz karstne provodnike velike propusne moći;

- brzina podzemnog tečenja je velika, a za Beljanicu iznosi i preko 1.5 cm/s, dok u pojedinim slučajevima i znatno više;
- hidrogeološka anizotropija karstne izdani je izuzetno naglašena upravo zbog postojanja glavnih karstnih provodnika velikih dimenzija;
- proces vodozamenje u karstnoj izdani je veoma brz. U vlažnom periodu godine 50% do 100% zapremine izdani biva zamenjen novom vodom.
- i kao posledica svih nabrojanih karakteristika, karst ima veoma ograničenu sposobnost autopurifikacije.

Traserska i izotopska ispitivanja, kao i monitoring kvaliteta i kvantiteta podzemnih voda, pored kabinetskih radova na izradi karte ugroženosti, daju ulazne parametre za izradu preliminarne karte zona zaštite karstnih vrela Beljanice, ocenjenih kao buduća potencijalna izvorišta za regionalno vodosnabdevanje.

Pravci kretanja podzemnih voda su dobijeni kroz analizu mreže karstnih kanala u odnosu na različita stanja nivoa podzemnih voda. Kako je Beljanički masiv veoma komplikovan hidrogeološki sistem, ima za posledicu da pri različitim nivoima podzemnih voda, odnosno saturisanosti karstnih kanala, dolazi i do različite preraspodele voda u okviru slivova, a što se direktno odnosi na uslove definisanja potencijalnih zona veoma podložnih uticaju površinskih zagađivača (Milanović S., 2010). Kroz model i kartu ugroženosti se donekle može rešiti ovo pitanje, koristeći ulazno saznanje da se cirkulacija odvija kroz privilegovane provodnike, odnosno da se glavna cirkulacija odvija kroz niz spojenih kanala većih dimenzija koji se u zavisnosti od njihove saturisanosti preusmeravaju iz jedne u drugu drenažnu zonu i time ukazuje na zone koje je neophodno zaštititi.

Na osnovu ovako dobijenih zona zaštite ovog resursa, neophodno je da se uspostavi optimalna osmatračka mreža sa adekvatnim režimom osmatranja, čiji će podaci detaljnije odrediti ili promeniti granice zona zaštite. Mere zaštite podzemnih voda Beljaničkog masiva su zapravo samo početni korak u detaljnom definisanju granica zaštitnih poligona u okviru ovog masiva, a ovakav pristup preventivnog očuvanja prirodnih resursa treba da ima za cilj znatno sigurnije i lakše buduće iskorišćavanje podzemnih voda u svrhe regionalnog vodosnabdevanja.

## LITERATURA

- [1] Barrocu G, Muzzu M, Uras G, 2005: Hydrogeology and Vulnerability Map (EPIK method) of the „Supramonte“ Karstic System, North-Central Sardinia, Proceedings of International Conference „Water Resources and Environmental Problems in Karst – CVIJIĆ“, Stevanović Z and Milanović P. (eds), Beograd-Kotor, p. 55-63
- [2] Doerfliger, N. 1996. Advances in karst groundwater strategy using artificial tracer tests analysis and multiattribute vulnerability mapping (EPIK method). Tesis Univ. Neuchatel, 308 pp.
- [3] Doertliger N., Zwahlen F. 1997. EPIK, méthode de cartographie de la vulnérabilité des aquifères karstiques pour la délimitation des zones de protection. 12<sup>th</sup> International Congress of Speleology, Suisse, 2: 209-212.
- [4] Doerfliger N, Zwahlen F. 1995: EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment, Karst Waters and Environmental Impacts, Gunay and Johnoson (eds), Balkema, Rotterdam.
- [5] García-Barbón L S (ed), 2004: Vulnerability map to groundwater pollution in Allicante; DRASTIC metod, Excelentísima Diputación Provincial de Alicante, Alicante
- [6] Goldscheider N, 2005: Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany, Hydrogeology Journal, volume 13, n° 4, p. 555-565
- [7] Kortelainen N., 2007: Isotopic fingerprints in surficial waters: stable isotope methods applied in hydrogeological studies, Geological Survey of Finland, Academic dissertation, Department of geology, Faculty of science
- [8] Mazor E., 2004: Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Third Edition, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel
- [9] Milanović P., 1979.: Hidrogeologija karsta i metode istraživanja, izd. HE "Trebišnjica", Institut za korišćenje i zaštitu voda na kršu, Trebinje.
- [10] Milanović P, 1995: Predlog kriterijuma za definisanje zona sanitarne zaštite izvorišta i podzemnih voda u karstu, Ecologica, Beograd
- [11] Milanović P, 1999: Geološko inženjerstvo u karstu, Energoprojekt, Beograd
- [12] Milanović S., 2004: Speleoronjenje, značajan metod istraživanja i zaštite podzemnih voda u karstu, Vodoprivreda, 36 211-212, (Originalni naučni rad), str. 427-439, Beograd
- [13] Milanović S. 2005.: Istraživanje podzemne morfologije karsta za potrebe primenjene hidrogeologije, Magistarski rad, RGF, Beograd,
- [14] Milanovic, S., 2010.: Formiranje fizičkog modela karstne izdani na primeru Beljanice (istočna Srbija)., Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- [15] Milanovic S., Stevanovic Z., & Vasic Lj. 2010: Development of karst system model as a result of Beljanica aquifer monitoring, Vodoprivreda (4-6/2010) 246-248, p. 209-222
- [16] Vrba, J. and Zaporozec, A. 1994: Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Verlag Heinz Heise. Vol 16. 131 p.



## ONE POSSIBLE HYDROGEOLOGICAL APPROACH FOR GROUNDWATER PROTECTION IN KARST – CASE STUDY OF BELJANICA KARST MASIF

by

Saša MILANOVIĆ, Ljiljana VASIĆ

Center for Karst Hydrogeology, Department of Hydrogeology  
Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade  
Djusina 7, Belgrade

### Summary

The protection of karst groundwater, which represents an important resource for the future, is gaining in importance as one of the key parameters of regional planning and development of karst regions. Karst is known as an extremely sensitive environment to any change, and reactions that are happening according these changes are usually rapid and drastic. This is why karstic aquifer and groundwater must be under strict protection. However, the criteria for the sanitary protection zones definition in karstic terrains are significantly different from the current criteria applied in nonkarstic terrains, especially when dealing with large massifs draining only on few concentric points.

Determination of the sanitary protection zones and development of groundwater vulnerability maps are the main prerequisites for successful strategy of a karst massif and aquifers protection. Only these “strict” principles and measures to protect karst water are possible to preserve the aquifer for future local and regional water supply. One good example is the Beljanica karst aquifer whose reserves are released (estimated) about 3 m<sup>3</sup>/s minimum. I make a good basis for the use of regional water supply purposes.

Key words: karst, vulnerability, sanitary protection zone

Redigovano 04.10.2011.