

KOMPLEKSAN PRISTUP OCENI POTENCIJALA KARSTNIH IZDANI ZA VODOSNABDEVANJE (NA PRIMERU IZ ISTOČNE SRBIJE)

Petar DOKMANOVIĆ, Igor JEMCOV
Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Đušina 7, Beograd

REZIME

Najveći broj karstnih vrela u Srbiji odlikuje se godišnjim režimom isticanja sa ekstremno izraženom recesijom tokom letnjih meseci, kao i izrazito visokim proticajima tokom nekoliko prolećnih i jesenjih meseci. Regulacija/poboljšanje recesionog režima isticanja je moguća, ali je treba proveriti i potvrditi kroz rezultate kompleksnih istražnih radova.

Geološka predispozicija pojave karstnog vrela „Sveta Petka“ (kontakt karsta i nekarsta) i preliminarna analiza vodnog bilansa ukazuju da se karstna izdan pored isticanja na vrelu, drenira i delom u rečni tok kao i nekarstne akvifere u zoni kontakta. Indikacija je potvrđena rezultatima kompleksnih geofizičkih ispitivanja terena u široj zoni vrela. Postojanje karstne akumulacije podzemnih voda ispod tačke isticanja (vrela) obezbeđuje zahvatanje i korišćenje dopunskih količina raspoloživih podzemnih voda tokom recesionog perioda. Ovakva postavka regulacije režima isticanja karstne izdani omogućava obezbeđivanje značajno većih količina voda i dugoročnost rešenja.

Ključne reči: karstno vrelo, recesija, vodni bilans, geofizička ispitivanja, regulacija isticanja

UVOD

Karstne izdani u Srbiji formirane su u okviru geosinklinalnog tipa karsta. Sa praktičnog aspekta, izdvajaju se dve osnovne karakteristike ovih izdani:

1/ Relativno brz proces vodozamene u odnosu na druge tipove izdani sa izraženim sezonskim oscilacijama režima isticanja. Tako, tokom perioda topljenja snega ili intenzivnih padavina (proleće, jesen) dolazi do osetnog porasta proticaja na vrelima, dok tokom sušnog (recesionog) perioda, izdašnost vrela značajno opada

kao posledica malog uticaja padavina na karstni hidrogeološki sistem.

2/ Pojave vrela najčešće su vezane za zone kontakta karsta i nekarsta, tj. za kontakt karstne izdani i slabije vodopropusne geološke formacije, koja najčešće predstavlja delimičnu hidrogeološku barijeru za podzemni tok karstne izdani.

Kaptiranje prirodno isteklih voda karstnih vrela nije dugoročno održivo rešenje za vodosnabdevanje zbog činjenice da recesija onemogućava pouzdano snabdevanje vodom upravo tokom perioda kada je potrošnja vode najveća. Međutim, u velikom broju slučajeva, prostorni i strukturni kontaktni odnosi (hidro)geoloških jedinica u zoni vrela nagoveštavaju rasprostranjenje karstne izdani (akumulacije) i ispod prirodnog drenažnog punkta, a time i mogućnost regulacije isticanja (dopunskog zahvatanja - precrpljivanjem) karstnih podzemnih voda tokom recesionog perioda. Realizaciji ovakvog, regulacionog zahvata prethode kompleksna istraživanja za ocenu vodnog potencijala karstnih izdanih voda:

1/ Analiza bilansa sliva karstne izdani, čiji rezultati treba da ukažu na postojanje i količinu podzemnog oticaja nizvodno od vrela, odnosno, njenog „skrivenog“ dreniranja u površinski tok ili slabije propusne izdani u široj zoni kontakta.

2/ Adekvatno koncipirana geofizička ispitivanja terena, čiji rezultati treba da pokažu postojanje i veličinu rasprostranjenja dela karstne izdani koji je hipsometrijski niži od vidljivog prirodnog punkta isticanja.

Rezultati istraživanja i njihova interpretacija prikazani su na primeru vrela Sveta Petka, u istočnoj Srbiji.

VRELO SVETA PETKA

Nalazi se u selu Izvor (SO Paraćin), a javlja se na kontaktu karstifikovanih jurskih krečnjaka, u okviru kojih je formirana karstna izdan i slabije vodopropusnih neogenih basenskih sedimenata (slika 1). Sliv ovog vrela zahvata površinu od nepunih 30 km² i karakterišu ga dobro razvijeni površinski i podzemni karstni morfološki oblici, što ukazuje na dobru razvijenost sistema podzemnih vodoprovodnih karstnih kanala. Prosečna višegodišnja veličina isticanja na vrelu je oko 400 l/s, dok je veličina modula oticaja 15 l/s/km². Godišnje kolebanje veličine isticanja kreće se od oko 100 l/s, tokom recesije, do oko 3 m³/s tokom prolećnog maksimuma. Prihranjivanje karstne izdani odvija se na račun atmosferskih padavina, čija prosečna godišnja suma iznosi oko 700 mm. Vrelo je kaptirano za vodosnabdevanje susednih gradova Paraćina i Čuprije.

Sama pojava vrela, na kontaktu starije formacije jurskih krečnjaka i mlađjih neogenih sedimenata, koji

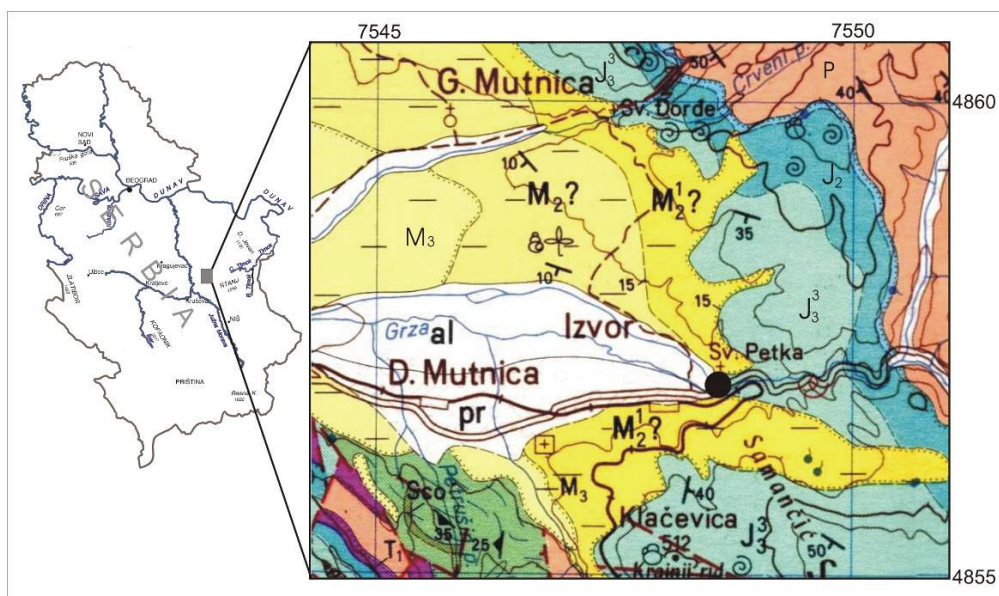
zaplavljaju (leže preko) krečnjake, veoma je indikativna u pogledu rasprostranjenja krečnjaka (karstne izdani) i u podini neogena, odnosno, ispod kote isticanja vrela.

GEOFIZIČKA ISPITIVANJA U ZONI VRELA

Geofizička ispitivanja obuhvatila su površinu terena od oko 25 km², a realizovane su sledeće metode (Dokmanović, Vučković, 2005.):

1. Daljinska detekcija i formiranje DMR (Digitalnog Modela Reljefa). Na osnovu DMR-a, generisane su karta sintetičkog reljefa u zoni Sv.Petke i karta dominantnih sistema raseda.

2. Gravimetrijska analiza je obuhvatila izradu karte Bugeovih anomalija i karte horizontalnih gradijenata gravitacionog ubrzanja, a na osnovu raspoložive baze podataka ranijih gravimetrijskih merenja.



Slika 1: Geološka karta terena u zoni vrela Sv. Petka (prema: OGK Jugoslavije 1: 100000, list „Boljevac“).
 Legenda: ●-Sv. Petka spring, al-aluvijum, pr-proluvijum, M³, M², M²¹-Neogeni (gornji i sredni miocen) sedimenti-gline, peskovi, laporci, peščari, J³³-Masivni krečnjaci gornje jure, J²-peskovito-laporoviti krečnjaci srednje jure, T¹-trijaski krečnjaci, P-permski peščari, Pt-Proterozojski škriljci

3. Geoelektrično sondiranje izvedeno je u 7 tačaka-sondi, sa AB/2max=400m, čiji je raspored optimiziran u skladu sa prethodno dobijenim geofizičkim podlogama. Neposredni cilj ovih ispitivanja bilo je definisanje dubine do krečnjačkog paleoreljefa, u podini neogenog

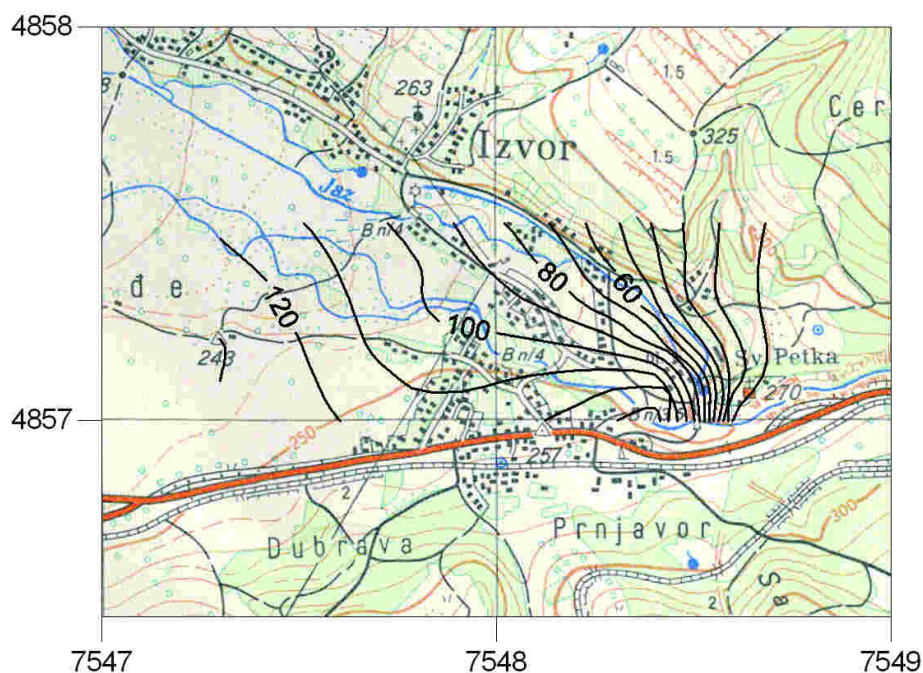
kompleksa. Na osnovu dobijenih rezultata (tabela 1) formirana je karta dubine do paleoreljefa (slika 2) na kojoj je uočljivo i potvrđeno očekivano postepeno tonjenje paleoreljefa od istoka ka zapadu. Ovde posebno treba istaći IV identifikovani sloj, laporce, koji, po

svemu sudeći čine dominantnu litološku komponentu neogenog basenskog kompleksa, a koji je od značaja za finalnu hidrogeološku interpretaciju geofizičkih ispitivanja.

4. Seizmička refraktivna ispitivanja sprovedena su duž jednog profila, dužine 100m, sa ciljem korelacije sa rezultatima geoelektričnih sondiranja. Dobijeni model se sastoji od tri seizmoakustične sredine (tabela 2).

Tabela 1: Interpretacija rezultata geoelektričnog sondiranja

SONDA	Izdvojeni geološki slojevi (debljina u m)				
	I Humificirani pokrivač 40 – 150 Ωm	II Glinovito-laporovita partija 5 – 20 Ωm	III Glinovito-peskovita partija 100 – 300 Ωm	IV Laporac 10 – 30 Ωm	V Krečnjački substratum 1000 Ωm
1	1.7	-	3.1	-	∞
2	2.1	15.7	-	-	∞
3	1.9	4	5	11.8	∞
4	1.4	2.1	2.6	18.2	∞
5	1.4	1.6	4.2	24.1	∞
6	10	29	46	60	∞
7	2	24	22	82	∞



Slika 2: Interpretirane dubine do krečnjačkog paleoreljefa

Tabela 2: Geološki slojevi interpretirani na osnovu seizmičkog refraktivnog sondiranja

Sloj	BRZINA TALASA (m/s)	OPIS	DEBLJINA (m)
1	500	Nevezani humificirani pokrivač	2
2	800	Slabovezani glinoviti paket	3 – 7
3	5000	Čvrsta stena -laporac	min. 30

Podaci dobijeni seizmičkim ispitivanjima ukazuju na prisustvo čvrstih stena blizu površine terena. Brzina prostiranja seizmoakustičnih talasa u njima je u domenu očekivanih brzina za krečnjački substratum.

Slične brzine seizmičkih talasa lapora i krečnjaka zahtevaju pažljivu obradu i interpretaciju podataka.

Naime, u slučaju da su sprovedena i interpretirana samo refraktivna seizmička sondiranja, a ne i geoelektrična, izvesno je da bi se pogrešno zaključilo da sloj 3, u tabeli 2, čine krečnjaci, a ne laporci, na čije su postojanje i poziciju u profilu ukazali rezultati geoelektričnih sondiranja. Stoga je u uslovima složene geološke gradje terena preporučljiv i nužan upravo primenjeni kompleksan metodski pristup ispitivanjima, kako se ne bi došlo do jednostranih pogrešnih interpretacija i zaključaka. Sa praktičnog aspekta, pogrešno interpretirani rezultati bi u konkretnom slučaju doveli do pogrešno projektovanih dubina istražnih bušotina ili bunara, čije bi bušenje bilo završeno u pretežno bezvodnim laporcima, a ne u (očekivanim) vodonosnim krečnjacima.

BILANS VODA KARSTNE IZDANI

Geofizičkim ispitivanjima potvrđena je geološka predispozicija za moguću regulaciju karstne izdani, primenom precrcpljivanja iz dubljih delova karstne izdani, odnosno zahvatanjem dela statičkih rezervi. Drugi nužan korak je kvantifikacija vodnog potencijala karstne izdani, na osnovu analize vodnog bilansa u konkretnom slivu.

Kompleksnost karstnog hidrogeološkog sistema kao i nedostatak raspoloživih podataka usloveli su određivanje efektivne infiltracije korišćenjem stohastičko-konceptualnog modela (Zhang et al. 1996; Jemcov et al. 1998). Sistem je simuliran kao "lumped-parametarski" model.

U okviru karstnog hidrogeološkog sistema, određivanje efektivne infiltracije je vezano za određivanje potencijalne, odnosno stvarne evapotranspiracije. Raspoloživost podataka i jednostavnost primene usloveli su primenu Thornthwaite-ovog metoda za ocenu potencijalne evapotranspiracije. Vrednosti potencijalne evapotranspiracije korišćene su kao prva procena stvarne evapotranspiracije, a kasnije su tarirane kroz postupak dnevnog bilansa (Jemcov 2007). Na osnovu ovog proračuna vrednosti efektivne infiltracije (R) na

godišnjem nivou su varirale u rasponu od 30-60% u odnosu na ukupno prispele padavine.

Na osnovu dobijenih vrednosti ulaza i izlaza (bilansa) karstnog hidrogeološkog sistema, dobijene su vrednosti promene (stanja) zapremine akumuliranih voda u karstnom hidrogeološkom sistemu (ΔV_i). Usvajanjem početne (inicijalne) vrednosti stanja zapremine karstne akumulacije, kroz proces tariranja, dobijene su vrednosti stanja zapremine karstne akumulacije za proračunski period (V_i) (slika 3).

Na osnovu dobijenih vrednosti prirodnog stanja akumulirane vode u okviru karstnog hidrogeološkog sistema, dalja analiza eksploatacionog kapaciteta je sprovedena (uz uvažavanje vodoprivrednih limita). Imajući u vidu da je koncept regulacije karstne izdani zasnovan na precrcpljivanju, odnosno "pozajmljivanju" dela voda iz dubljih delova izdani - statičkih rezervi, različite varijante eksploatacionog kapaciteta su primenjene u cilju dobijanja optimalne eksploatacije koja će obezbeđivati brzu kompenzaciju voda tokom sezone velikih voda (slika 3).

Osnovnu pretpostavku za ovakav pristup i koncept regulacije predstavlja postojanje karstifikacije, a time i "statičkih rezervi" karstnih podzemnih voda ispod kote prirodnog isticanja (vrela).

ZAKLJUČCI

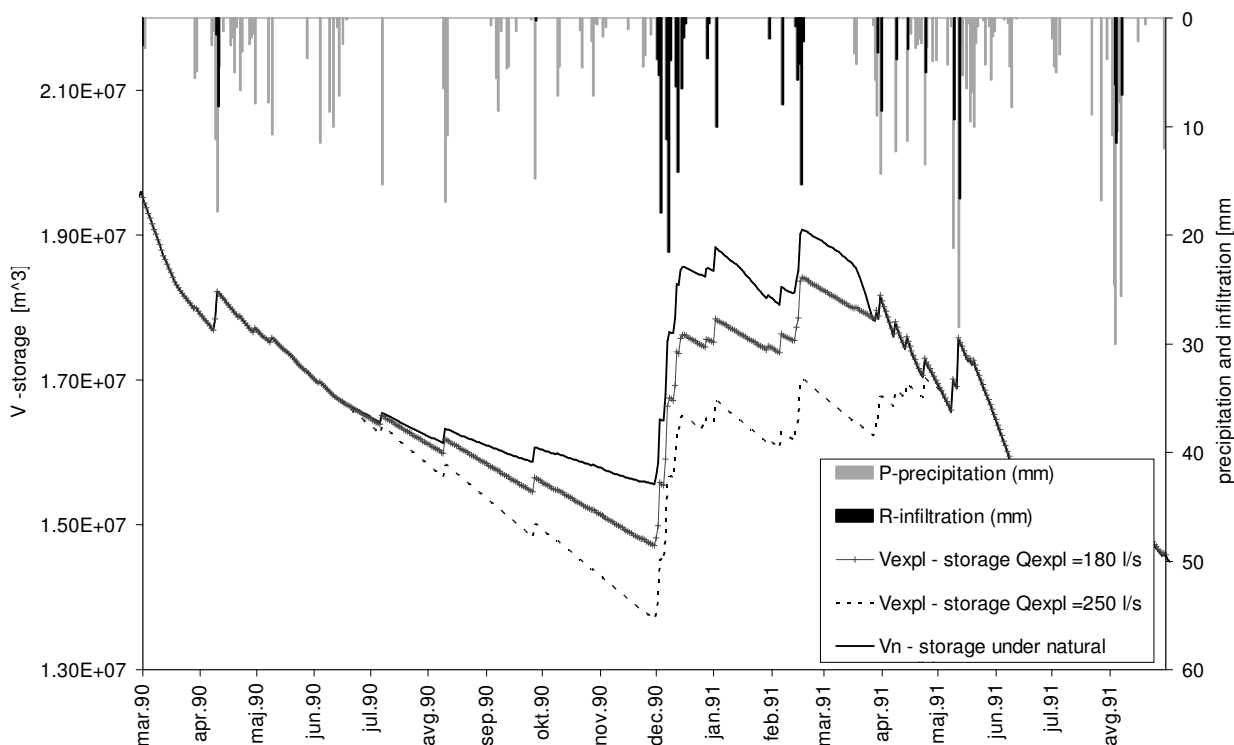
Ispitivanja mogućnosti regulacije isticanja karstne izdani i ocene njenog potencijala za vodosnabdevanje realizovana su kroz kompleksan metodski pristup. Dobijeni rezultati:

- Utvrđeno je značajno rasprostranjenje karstne izdani (akumulacije podzemnih voda) i ispod hipsometrijskog nivoa prirodnog drenažnog punkta (vrela), odnosno u podini hidrogeološke barijere koju, u konkretnom slučaju, čini basenski (neogeni) hidrogeološki kompleks.

- Utvrđeno je da vodni potencijal podzemne karstne akumulacije može da odgovori simuliranim uslovima regulisane eksploatacije u recesionim uslovima. Postojećih, prirodno dreniranih cca. 100 l/s, u recesionim uslovima, regulacijom se može povećati do 250 l/s, a da se pri tome ne vrši dugoročna nadeksplotacija karstne akumulacije, već se deficit voda ostvaren tokom recesionog perioda kompenzuje tokom perioda visokih voda.

Osnovni zaključak je da postoje svi uslovi za regulisanu eksploataciju karstne izdani bušenim bunarima. Efekat povećanja proizvodnje vode je do 150% u odnosu na minimalnu prirodnu izdašnost vrela, čime se značajno poboljšavaju uslovi vodosnabdevanja korisnika voda ovog izvorišta.

Nastavak istraživanja treba da obuhvati istražna bušenja u zoni rasprostranjenja neogenih naslaga, na osnovu kojih će se izvršiti procena i adekvatno projektovanje eksploatacionih bunara.



Slika 3: Promene zapremine karstne akumulacije vrela Sv.Petka u uslovima prirodnog dreniranja i simuliranim uslovima regulisane eksploatacije

LITERATURA

- [1] Dokmanović P. & Vučković D., 2005: *An initial approach to regulation of karst aquifer drainage zone by complex geophysical exploration*, Proceedings of the international conference "Water resources and environmental problems in karst", Belgrade
- [2] Group of authors, 1968: *Basic Geological map of Yugoslavia, 1:100000, section "Boljevac"*, State Geological Survey
- [3] Jemcov I, Ristic V, Stevanovic Z, Prohaska S 1998: *Application of auto-cross regression model to the analysis and discharge simulation of some karst springs*, Theoretical and Applied Karstology. Academia Romana, vol. 11-12. 25-132
- [4] Jemcov I, Stevanovic Z, Prohaska S 2001: *A new mathematical simulation model for predicting the exploitation and regulation of karst water sources*, IHP-V Technical Documents in Hydrology No 49. Vol II. UNESCO. Paris
- [5] Jemcov I. 2007: *Water supply potential and optimal exploitation capacity of karst aquifer systems*, Special Issue: Cvijic Karst 2005: "Water Resources and Environmental Problems in Karst" (pp 673-796) Journal of Environmental Geology. vol.55 No 5 pp.767-773

- [6] Thornthwaite, C.W., 1948: *An Approach Toward a Rational Classification of Climate*, Geographical Review, 38
- [7] Zhang YK, Bai EW, Libra R, Rowden R, Liu H 1996: *Simulation of spring discharge from limestone aquifer in Iowa, USA*, Hydrogeology Journal, vol. 4. No 4. 41-54.
- [8] White WB 1969: Conceptual models for carbonate aquifers, Ground Water Journal vol. 7, 15-21.

COMPLEX APPROACH TO WATER SUPPLY POTENTIAL ASSESMENT OF KARST SPRINGS (EASTERN SRBIJA, CASE EXAMPLE)

by

Petar DOKMANOVIĆ, Igor JEMCOV
Faculty of Mining and Geology Belgrade University

Summary

The majority of karst springs in Serbia are marked by unstable annual outflow regime, with extreme recession in summer and remarkably high outflows during a few spring and autumn months. Regulation/improvement of the summer recession is principally possible, but should be verified by complex research works.

The geological predisposition of the "Sveta Petka" spring located at the contact between karst and non-karst terrains and the preliminary analysis of its water balance indicate that a part of the karstic groundwater is not drained by the spring only, but also partially

through the stream and by underground outflow below the spring level. This indication is verified by the results of complex geophysical exploration in the wider spring zone. The existence of storage below the outlet point (the spring), provides an additional resource which could be mobilized during recession periods. This conjecture of flow regulation could secure a much more efficient water supply and, also respect the principle of sustainable development of the resource.

Key words: karst spring, recession, water budget, geophysical exploration, regulation

Redigovano 16.05.2007.