

Српско геолошко друштво

**Зборник радова
XVI Конгреса геолога Србије**



**Proceedings
of the XVI Serbian Geological Congress**

**ОПТИМАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ И ОДРЖИВО
КОРИШЋЕЊЕ ГЕОЛОШКИХ РЕСУРСА**

**OPTIMAL RESEARCH AND SUSTAINABLE USAGE OF
THE GEOLOGICAL RESOURCES**

Donji Milanovac, 22-25.05.2014.



XVI Конгрес геолога Србије: Зборник радова
(Национални конгрес с међународним учешћем)

XVI Serbian Geological Congress: Proceedings
(National Congress with International Participation)

Donji Milanovac, 22-25.05.2014.

За издавача / For the Publisher

Zoran Stevanović,

Председник Српског геолошког друштва / President of the Serbian Geological Society

Главни уредник / Editor-in-Chief

Vladica Cvetković

Уређивачки одбор / Editorial Board

Biljana Abolmasov, Katarina Bogičević, Meri Ganić, Rade Jelenković, Aleksandra Maran Stevanović, Vesna Matović, Vesna Ristić Vakanjac, Aleksandar Ristović, Ljupko Rundić

Техничка припрема / Technical Preparation

Veljko Marinović, Ognjen Jevtić, Milan Vukićević, Nemanja Krstekanić, Jelena Krstajić, Nikola Vojvodić, Bojan Kostić, Kristina Šarić

Издавач / Publisher

Српско геолошко друштво / Serbian Geological Society

Каменичка 6, Р. Бок 227, 11001 Belgrade, Serbia

<http://www.sgd.rs>; e-mail: office@sgd.rs

Тираж: 300 примерака / Circulation: 300 copies

Штампа / Printing

Šprint, Alekse Nenadovića 28, Beograd, Serbia

ISBN 978-86-86053-14-5

Напомена: Аутори су одговорни за садржај и квалитет својих саопштења
Note: The authors are responsible for the content and quality of their contributions



XVI КОНГРЕС ГЕОЛОГА СРБИЈЕ

Чланови одбора XVI SERBIAN GEOLOGICAL CONGRESS Committee Members

Почасни одбор / Honorary Committee

Zoran Maksimović, Stevan Karamata, Vidojko Jović, Aleksandar Grubić, Jelena Obradović, Ivan Antonijević, Rajka Radojčić, Zora Sučić-Protić, Branislav Ćirić, Radule Popović, Jovanka Mitrović, Nadežda Krstić, Mihajlo Kalenić, Ivan Filipović

Почасни одбор (институције) / Representatives of the Institutions

Adam Dangić (Društvo geoloških inženjera i tehničara Srbije), Ivan Obradović (Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet), Dragoman Rabrenović (Geološki zavod Srbije), Milutin Ignjatović (CIP, Beograd), Srđan Stefanović (NP Đerdap), Vlastimir Trujić (Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor), Milan Dimkić (Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi), Dragan Mitrović (Geološki zavod Republike Srpske), Vashkevich Aleksey Alexandrovich (Gazprom Neft), Alexander Rodionov (NIS)

Организациони одбор / Organizing Committee

Zoran Stevanović (predsednik), Nenad Banjac (potpredsednik), Ljupko Rundić (potpredsednik), Tivadar Gaudenyi (tehnički sekretar), Boško Jevtović (tehnički sekretar), Milovan Rakijaš (blagajnik), Petar Stejić, Nenad Grubin, Mile Bugarin, Dejan Koželj, Aleksandra Maran Stevanović, Vesna Lesić, Marija Kukavica

Научни одбор / Scientific Committee

Vladica Cvetković (predsednik), Milan Sudar, Dragan Milovanović, Radmila Pavlović, Vladan Radulović, Vesna Poharc-Logar, Aleksandar Đorđević, Rade Jelenković, Veselin Dragišić, Nebojša Vasić, Slobodan Knežević, Divna Jovanović, Dragutin Jevremović, Slobodan Vujasinović, Aleksandar Kostić, Spomenko Mihajlović, Ljiljana Karanović, Ivan Dulić, Dejan Prelević, Milenko Burazer

Студенти волонтери / Students Congress volunteers

Jelena Krstajić, Marina Prodanović, Veljko Marinović, Milan Vukićević, Ognjen Jevtić, Nemanja Krstekanić, Bojan Kostić, Marina Zečević

HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE, REŽIM ISTICANJA I BILANS VODA BELOG VRELA (VRELO TOLIŠNICE, SRBIJA)

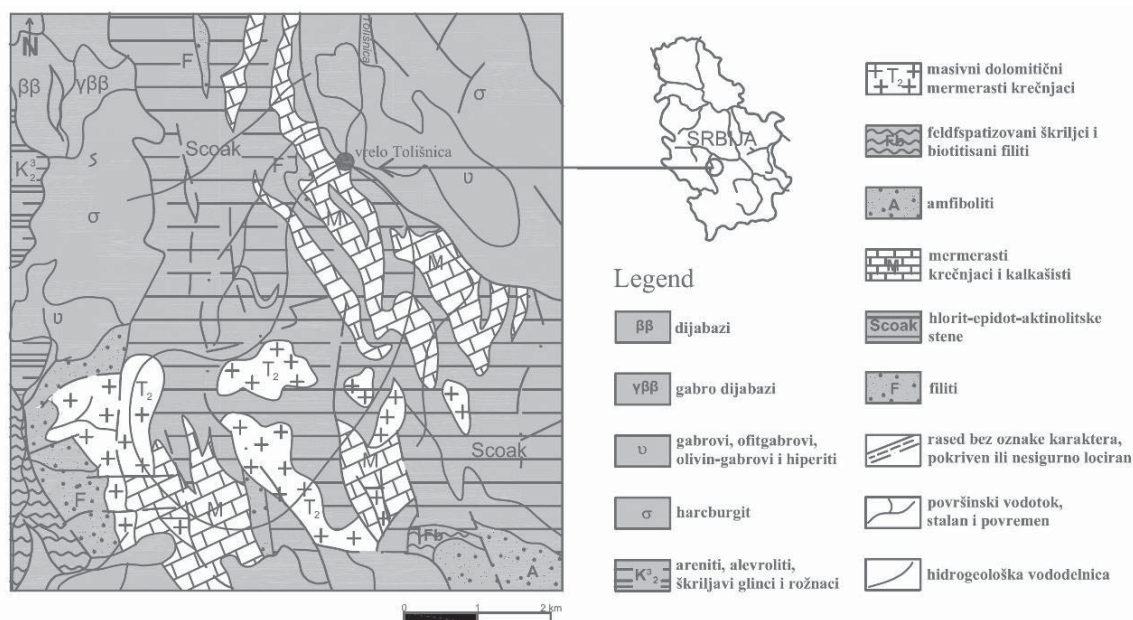
Marina Čokorilo Ilić^{1*}, Vesna Ristić Vakanjac¹, Sibela Oudech², Dušan Polomčić¹, Dragoljub Bajić¹

¹⁾ Rudarsko-geoloski fakultet, Departman za hidrogeologiju, * e-mail: marina.cokorilo@rgf.bg.ac.rs

²⁾ Geco-inženjering, Beograd

Ključne reči: slivna površina, bilans voda, režim podzemnih voda, vrelo Tolišnice

Jedan od glavnih preduslova za racionalno korišćenje podzemnih voda u bilo koje svrhe je poznavanje hidrogeoloških karakteristika datog područja, zatim kvalitativne i kvantitativne karakteristike podzemnih voda, kao i promene ovih parametara u toku vremena. Režim izdani uslovljen je nizom faktora, a pre svega geološkom građom, geomorfološkim, hidrogeološkim i klimatskim karakteristikama datog područja. Vrelo Tolišnice nije kaptirano i nalazi se u centralnom delu Srbije i teritorijalno pripada opštini Ivanjice (slika 1). Istražno područje pripada slivu Lopatnice koja se formira na padinama planine Čemerno. U gornjim delovima sliva Lopatnice prisutno je više vrela, od kojih su najznačajnija ona sa najvećom izdašnošću: Tolišničko vrelo, Konjsko vrelo i razbijeno izvorište Mala Sokolina (slika 1). Najveći deo sliva je na nadmorskoj visini od 600-1000 mnm, a obodni delovi na jugu sliva idu do maksimalnih 1581 mnm (vrh Smrdljuš na planini Čemerno) (Lisinac, 2007).



Sl. 1. Prostorni položaj i hidrogeološka karta slivnog područja vrela Tolišnice
Fig 1. Location and hydrogeological map of Tolišnica spring catchment area

Najveći deo ove oblasti čine sedimenti paleozojske starosti u kojima je formiran pukotinski tip izdani. Predstavljene su filitima, metamorfovanim kvarcnim konglomeratima, gnajsevima, škriljcima kao i za ovaj rad značajnim mermerisastim krečnjacima. Pored paleozojskih sedimentata prisutni su u manjem obimu masivni dolomitični i mermerisani krečnjaci srednjeg trijasa. Javljuju se u vidu erozionih ostataka - krpa veličine oko 1,5 km² i čine neznatan ogranak velikog trijaskog pojasa planine Jelice sa kojima su u kontaktu. Prisutni su i alevroliti i škriljvi glinci gornje krede (senon), navučeni preko senonsko gornjekrednog fliša (krečnjaci, laporci, peščari, glinci). Rasedne zone, od

kojih je najbolje izražena zona Rudno-Propljenica, približno su paralelne sa površi navlačenja, a grubo imaju pravac pružanja SSZ-JJI. U središnjem delu ove zone, gde su razvijeni trijaski sedimenti, ima i kraljuštanja. Mladi poprečni rasedi intenzivno su razvijeni u svim područjima ove zone.

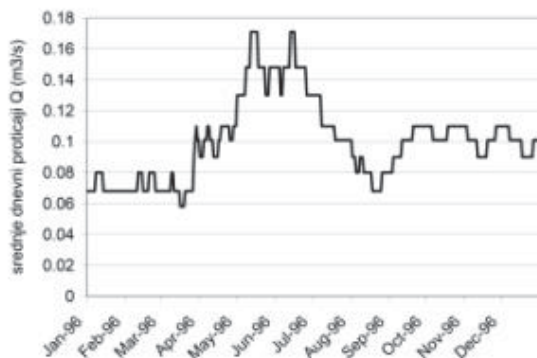
Krečnjaci, mermerisani krečnjaci i dolomiti imaju veliki hidrogeološki značaj na ispitivanom terenu jer imaju značajnu pukotinsku poroznost nastalu na prvom mestu kao posledica lokalnih tektonskih pokreta. U okviru ove izdani formiraju se značajnije količine podzemnih voda. Ove stene u površinskim delovima predstavljaju hidrogeološke kolektore - sprovodnike, dok u dubljim delovima predstavljaju kolektore - rezervoare iz kojih se na kontaktu sa slabo vodonosnim i nevodonosnim stenama vrši njihovo pražnjenje putem vrela koja su formirana u zonama lokalnih raseda, što je slučaj i sa vrelom Tolišnice. Pri određivanju hidrogeoloških svojstava ovih terena korišćena je analiza izdašnosti vrela, čiji je odnos minimalne i maksimalne izdašnosti manji od 10, kao i broj karstnih pojava koji je manji od jedne po km².

Prihranjivanje se vrši na račun padavina kao i poniranjem manjih površinskih tokova. Kod pukotinskog tipa poroznosti, pravci kretanja podzemnih voda posledica su geološke građe terena, stepena ispugalosti stenske mase i lokalnih hidrogeoloških uslova. Cirkulacija izdanskih voda vrela Tolišnice odvija se u okviru formiranih rasednih struktura, prslina i pukotina. Dreniranje, odnosno isticanje podzemnih voda vrši se uglavnom gravitaciono, preko izvora i vrela različite izdašnosti, koji su otkriveni na površini terena. Vrelo Tolišnica (Belo vrelo) je pojava sa najvećom izdašnošću. Najmanja ikad izmerena izdašnost je 40 l/s u decembru 1978. godine. A maksimalna merena izdašnost prelazi i 300 l/s. Konjsko vrelo je izdašnosti oko 5 l/s a vrelo Mala Sokolina je izdašnosti nekih 2 do 3 l/s (Malbaša 2011). Vrelo Tolišnice izvire na površini terena ispod Tisovskog prevoja, na 770 mnm na severnim padinama planine Čemerno. Udaljeno je nekih 3 km od sela Tolišnica. Ističe iz strmog odseka na kontaktu mermerisanih krečnjaka i vodnepropusnih stena. Na prostoru samog vrela mogu se videti blokovi mermerisanih krečnjaka bele boje, širine 3-5 m, koji ukazuju na postojanje pretpostavljenog raseda, koji ima pravac nagiba terena (pod uglom od oko 30°).

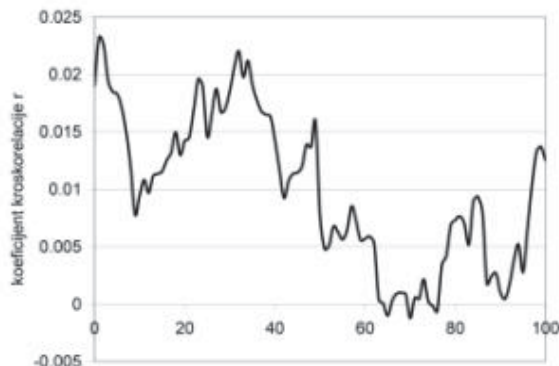
Tokom 1994. godine RHMZ je uspostavio hidrološke stanice na više karstnih vrela među kojima je bilo i vrelo Tolišnice. Za potrebe definisanja proticaja otpočelo se sa hidrometrijskim merenjima i osmatranjima vodostaja prvog januara 1995. godine. Ova merenja su trajala do kraja 2002. godine. Na osnovu dobijenih dnevnih vrednosti proticaja vrela Tolišnice može se konstatovati da je srednji višegodišnji proticaj za period od 1995-2002. godine iznosio 0.127 m³/s. Maksimalni srednje mesečni proticaj se javio tokom novembra 2002. godine i iznosio je 0.330 m³/s. Minimalni srednje mesečni proticaj registrovan je u oktobru 1995. godine i iznosio je 0.070 m³/s. Što se tiče apsolutnih dnevnih proticaja, maksimalni dnevni proticaj javio se 24. odnosno 25. decembra 2002. godine i iznosio je 410 l/s, dok je apsolutno minimalni proticaj u iznosu od svega 67 l/s registrovan više puta tokom 1995., 1996., i 2001. godine. Odnos registrovanih maksimalnih i minimalnih proticaja za osmatrački period 1995-2002. godine je 1 : 6 što ukazuje na relativno ujednačen režim isticanja vrela Tolišnice. Na slici 2 prikazan je hidrogram vrela Tolišnice za 1996. godinu. Dijagram ukazuje da je izražen jedan prolećni maksimum dužeg trajanja (eventualno dva) kao i jedan minimum. Prolećni maksimumi su generalno rezultat zimskog otapanja snega kao i prolećnih kiša. Ukoliko se otapanje snega javi istovremeno sa prolećnim kišama na hidrogramu je prisutan jedan dužeg trajanja izraženi maksimum. Ukoliko se koicidencija ove dve pojave ne dešava u isto vreme na hidrogramu se tokom prve polovine godine mogu izdvojiti dva ili više manjih pikova. Nasuprot ovome tokom letnjih meseci kada su padavine minimalne, imamo minimalna isticanja.

Radi potvrđivanja gornje konstatacije, odnosno radi potvrđivanja postojeće veze padavine – isticanje urađene su korelacione analize uticaja godišnjih suma padavina na isticanje vrela Tolišnice. Ukoliko se razmatra ova veza na kalendarском nivou koeficijenti korelacije su izuzetno niski ($r=0.275$ – k.s. Ivanjica, $r=-0.073$ – m.s. Kraljevo). Sa druge strane ako se analizira veza padavine – proticaj vrela na nivou hidrološke godine, koeficijenti korelacije su znatno značajniji i iznose za k.s. Ivanjica $r=0.465$ i za m.s. Kraljevo čak $r=0.667$. Ovo je posledica činjenice da padavine u toku zimskih meseci (novembar i decembar) se zadržavaju u slivu i izazivaju oticaj/isticanje u narednoj godini kada dolazi do njihovog otapanja. Tako da pri ovoj vrsti analiza neophodno je vršiti osrednjavanje parametara na nivou hidrološke godine (1. oktobar – 30. septembar). Za potrebe analize dnevnih suma padavina na isticanje Tolišnice urađena je kroskorelaciona analiza. Na slici 3 dat je kroskorelogram za vremenski pomeraj do 100 dana. Sa korelograma se vidi da je najčvršća veza

uticaja padavina na isticanje vrela nakon jednog dana, stim da je izražen pik i nakon 32 dana što je svakako posledica otapanja snega.



Sl. 2. Hidrogram vrela Tolišnice – 1996 godina
Fig. 2. Hydrograph of Tolišnica spring - 1996. year



Sl. 3 Kroskorelogram
Fig. 3. Cross-correlogram

Za potrebe definisanja parametara bilansne jednačine a na prvom mestu slivne površine vrela Tolišnice korišćen je model razvijen na Rudarsko-geološkom fakultetu, Departmanu za hidrogeologiju. Primenjen model se sastoji iz više nivoa:

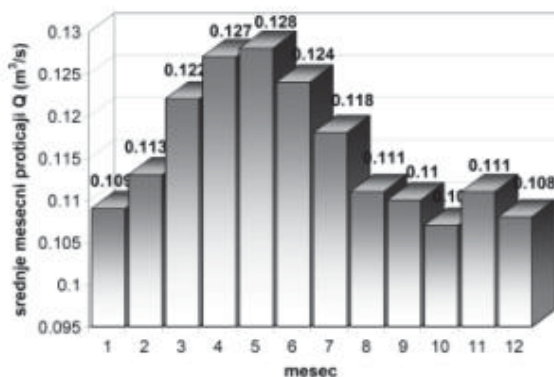
1. formiranje višegodišnjeg niza proticaja vrela Tolišnice korišćenem matematičkog modela višestruke nelinearne korelacije (VNC) koji se koristi za prostorno prenošenje hidrometeoroloških podataka i koji je razvijen u Institutu za vodoprivredu "Jaroslav Černi". U konkretnom slučaju model VNC je korišćen za produžavanje serija srednje mesečnih proticaja vrela Tolišnice za period 1960-2009. godine a na slici 4 data je unutargodišnja raspodela na ovaj način dobijenih srednje mesečnih protoka vrela Tolišnice za pomenuti računski period (Prohaska et al., 1977, Prohaska et al., 1979, Prohaska et al., 1995)
2. definisanje merodavnog računskog perioda korišćenjem integralne krive modulnih odstupanja (Ristić, 2007)
3. određivanje potencijalne evapotranspiracije primenom modifikovane jednačine Thornthwait-a (Ristić, 2007)
4. definisanje realne evapotransporacije, površine sliva i bilansiranje u razmatranoj izdani na sledeći način: za vrednosti parametra $\Theta = 0, 0.1, 0.2, \dots, 0.8, 0.9$ i 0.95 uspostavljena je bilansna jednačina tariranjem potencijalne slivne površine i to tako da bude zadovoljen uslov $V_o \cong V_K$. Nakon toga formira se funkcionalna zavisnost $\Theta = f(F)$ gde temena tačka ove funkcije predstavlja realnu površinu sliva (Ristić, 2007) (slika 5).

Na ovaj način definisanu površinu sliva možemo iskoristiti za proračun parametara bilansne jednačine (tabela 1).

Tabela 1. Pregled proračuna bilansa voda u izdani vrela Tolišnica za višegodišnji period 1960-2009. godine
 Table 1. Tolišnica spring aquifer: summary of water budget for the period 1960-2009

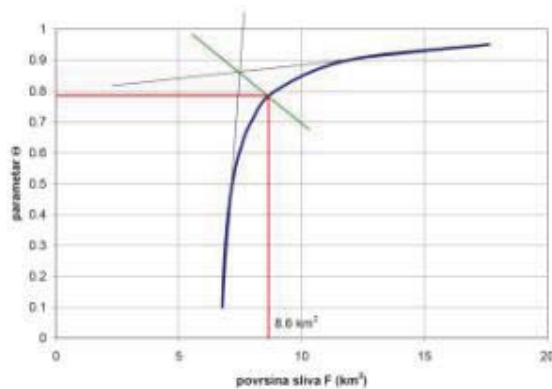
F	P	E	h	Qsr	q	W	ϕ
km ²	mm	mm	mm	m ³ /s	l/s/km ²	10 ⁶ m ³	
8.6	866.5	445.6	421.0	0.116	13.5	3.62	0.48

gde su: F - površina sliva (catchment size), P - padavine (precipitation), E - evapotranspiracija (evapotranspiration), h - sloj oticaja (runoff layer), Q_{sr} - srednje višegodišnji proticaj (mean annual discharge rate), q - specifični oticaj (run-off modulus), W - zapremina otekle vode tokom hidrološke godine (volume of water discharged during an average hydrological year), ϕ - koeficijent oticaja (runoff coefficient)



Sl. 4. Unutargodišnja raspodela proticaja vrela Tolišnice

Fig 4 Intra-annual distribution of spring Tolišnica discharge



Sl. 5. Zavisnost $\Theta = f(F)$ za sliv vrela Tolišnica

Fig. 5. Spring Tolišnica - function $\Theta = f(F)$

Generalno može se zaključiti da sa slivnog područja vrela Tolišnica prosečno godišnje istekne ukupno $Q = 0.116 \text{ m}^3/\text{s}$. Kako slivna površina vrela Tolišnica iznosi 8.6 km^2 , srednje višegodišnji sloj isticanja za računski period iznosi $h=421.0 \text{ mm}$. Sa gledišta vodnosti područja, može se konstatovati da specifična izdašnost sliva vrela Tolišnica iznosi 13.5 l/s/km^2 , dok na osnovu sračunatog koeficijenta oticaja može se zaključiti da se 48% od ukupno pale vode (padavina) infiltrira i kasnije ističe kroz vrela. Ova bakteriološki čista voda i izuzetnog kvaliteta može se koristiti za potrebe vodosnabdevanja lokalnih domaćinstava, za potrebe poljoprivrede ili pak za potrebe ribogojstva.

ZAHVALNOST

Zahvalnost dugujemo Republičkom hidrometeorološkom zavodu koji nam je za potrebe izrade ovog rada omogućio pristup hidrološkim i meteorološkim podacima kao i projektu 37005 koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i prosvetu.

LITERATURA / REFERENCES:

- Lisinac, D., (2007): Višenamensko iskorišćavanje podzemnih voda u slivu reke Lopatnice, Diplomski rad, fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd
- Malbaša, M., (2011): Bilans izdanih voda vrela Tolišnice (Belo vrela) Diplomski rad, fond stručne dokumentacije Rudarsko-geološkog fakulteta, Beograd
- Prohaska, S., Petković, T., Simonović, S., (1977): Application of multiple nonlinear standardized correlation in calculating correlations relation. *Proceedings of Institute for the Development of Water Resources*, No 58, pp 25-34, Belgrade
- Prohaska, S., Petković, T., Simonović, S., (1979): Mathematical model for spatial transfer and interpolation of hydro-meteorological data, *Proceedings of Institute for the Development of Water Resources*, No 64
- Prohaska, S., Ristić, V., Srna, P., Marčetić I., (1995): The use of Mathematical VMC Model in Defining Karst Spring Flows Over the Years, *XV Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association*, 4/3, str. 915-919, Atina.
- Ristić, V., (2007): Razvoj simulacionog modela za proračun dnevnih isticanja iz karstnih vrela, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND DISCHARGE REGIME OF WHITE SPRING (SOURCE OF THE TOLISNICA RIVER, SERBIA)

Marina Čokorilo Ilić^{1*}, Vesna Ristić Vakanjac¹, Sibela Oudech², Dušan Polomčić¹, Dragoljub Bajić¹

¹) Faculty of Mining and Geology, Department of Hydrogeology, * e-mail:

marina.cokorilo@rgf.bg.ac.rs

²) Geco-inženjering, Belgrade

Key words: catchment area, water balance, groundwater regime, spring Tolisnica

One of the key prerequisites for efficient groundwater use for any purpose is knowledge of the hydrogeological characteristics of the area, the qualitative and quantitative characteristics of the groundwater, and the variations in these parameters over time. The aquifer regime is governed by a series of factors, primarily the geological setting and the geomorphological, hydrogeological and climate conditions. The source of the Tolišnica River has not yet been tapped. It is situated in central Serbia, in Ivanjica Municipality (Fig. 1). The drainage area of the spring belongs to the catchment of the Lopatnica River, rising on the slopes of Mt. Čemerno. The upper catchment area of the Lopatnica features several springs, the largest being Tolišnica Spring, Konjsko Vrelo (Horse's Spring) and Mala Sokolina cluster of springs (Fig. 1). The altitude of most of the catchment area varies from 600 to 1000 m, while the edges of the catchment in the south are as high as 1581 m a.s.l. (at Smrdljuč Summit of Mt. Čemerno). (Lisinac 2007).

The area is largely made up of Paleozoic sediments that hold the fractured type of aquifer. The sediments include phyllites, metamorphic quartz conglomerates, gneisses and schists, as well as marbleized limestones which are highly relevant to this research. In addition to Paleozoic sediments, there are also massive Middle Triassic dolomitic and marbleized limestones, but to a lesser extent. They occur as erosion remnants—peneplains, whose size is about 1.5 km². They constitute the margin of a large Triassic belt of Mt. Jelica, with which they are in contact. There are also Upper Cretaceous (Senonian) siltstones and schistose mudstones, overthrust on Senonian-Upper Cretaceous flysch (limestones, marls, sandstones and mudstones). The faults (the most pronounced of which are found in the Rudno-Propljenica zone) are nearly parallel to the plane of overthrust, roughly running in the NNW-SSE direction. Flaking is also evident in the middle of this zone, where Triassic sediments are developed. Young transverse faults are quite common throughout the area.

Limestones, marbleized limestones and dolomites determine to a large extent the hydrogeology of the study area because of their fracture porosity resulting primarily from local tectonic movements. The aquifer stores a considerable amount of groundwater. Towards the surface, these rocks act as hydrogeological collector-conduits, while in the deeper reaches they serve as collector-reservoirs, discharged at the point of contact with semi-permeable and impermeable rocks via springs formed in places where local faults occur, like in the case of Tolišnica Spring. The study of the hydrogeological characteristics of the terrain included an analysis of spring discharges, whose minimum-to-maximum ratio was less than 10 and the number of karst features less than one per km².

Recharge comes from precipitation and sinking of small surface streams. In the case of fracture porosity, groundwater pathways are determined by the geological formation, the extent of fracturing and local hydrogeological conditions. At Tolišnica Spring, groundwater circulates within faults, fractures and fissures. Groundwater drainage, or discharge, is gravity-driven and takes place via springs exposed on the ground surface, whose discharge rates vary. Tolišnica Spring (also called White Spring) features the highest discharge rate; its lowest rate ever recorded was 40 l/s in December 1978, while the highest rate was more than 300 l/s. Konjsko Vrelo (Horse's Spring) discharges some 5 l/s and Mala Sokolina Spring 2 to 3 l/s. (Malbaša, 2011). Tolišnica Spring emerges on the ground surface below a bend called Tisovski Prevoj, on the northern slopes of Mt. Čemerno, at an altitude of 770 m. It is located at a distance of about 3 km from the Village of Tolišnica. The spring discharges through a steep cut slope at the point of contact between marbleized limestones and impermeable

rocks. In the spring area, visible blocks of white marbled limestones, 3-5 m wide, suggest the existence of a fault that follows the gradient of the terrain (about 30°).

In 1994, the National Hydrogeological Service established hydrological stations at several karst springs, including Tolišnica Spring. Hydrometric surveys and water level monitoring began on 1 January 1995 and continued through the end of 2002. Based on recorded daily discharges of Tolišnica Spring, the long-term average discharge for the period 1995-2002 was 0.127 m³/s. The maximum mean monthly discharge rate was 0.330 m³/s, registered in November 2002. The minimum mean monthly discharge was 0.070 m³/s, in October 1995.

With regard to absolute daily discharge rates, the highest was 410 l/s on 24/25 December 2002 and the lowest only 67 l/s, recorded several times in 1995, 1996 and 2001. The 1995-2002 ratio of minimum-to-maximum discharges was 1:6, indicative of a relatively uniform discharge regime of Tolišnica Spring. Figure 2 shows 1996 hydrograph of this spring. The hydrograph includes one prolonged spring maximum (possibly two), and one minimum. The discharge peaks were generally attributable to snowmelt and spring rains. If snowmelt and spring rains occurred simultaneously, the hydrograph showed a prolonged peak. If the two events did not coincide, there were two or more lower peaks in the first half of the year. Conversely, the lowest discharge rates were noted in the summer months, when the discharge rates of Tolišnica Spring were the lowest.

Correlation analyses of the effect of annual precipitation totals on discharge rates of Tolišnica Spring were undertaken to substantiate the above conclusion, or, in other words, to corroborate the correlation between precipitation and discharge. At a calendar year level, the coefficients of correlation were extremely low ($r=0.275$ for the station at Ivanjica and $r=-0.073$ at Kraljevo). However, when the hydrological year was assessed, the coefficients of correlation were much higher, amounting to $r=0.465$ at Ivanjica and as much as $r=0.667$ at Kraljevo. This was a result of the fact that winter (November and December) precipitation remained in the catchment area and caused runoff/discharge during the next calendar year, after snowmelt. As a result, this type of analysis generally requires parameter averaging with regard to the hydrological year (1 October to 30 September). Then a cross-correlation analysis was undertaken to examine the effect of daily precipitation totals on discharge rates of Tolišnica Spring. Figure 3 shows a cross-correlogram with a 100-day time step. It is apparent that the strongest correlation between precipitation and discharge was noted after one day, but that there was a pronounced peak after 32 days, which was certainly due to snowmelt.

A model developed at the University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Department of Hydrogeology was used to identify the parameters of the water budget equation, primarily the catchment area of Tolišnica Spring. The model comprises several levels; in the present case:

1. Generation of a long-term time series of Tolišnica Spring discharges using a mathematical model of multiple nonlinear correlation (MNC) for spatial transfer of hydrometeorological data, developed by the Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resource. Here the MNC model was used to extend the time series of mean monthly discharges of Tolišnica Spring for the period 1960-2009. Figure 4 shows the intra-annual distribution of derived mean monthly discharges of Tolišnica Spring for the analytical period (Prohaska et al., 1977, Prohaska et al., 1979, Prohaska et al., 1995).
2. Definition of the analytical period using an integral curve of modular variation. (Ristić, 2007)
3. Determination of potential evapotranspiration by means of a modified Thornthwaite equation. (Ristić, 2007)
4. Determination of real evapotranspiration, catchment size and water budget of the considered aquifer as follows: for the parameter values $\Theta = 0, 0.1, 0.2, \dots, 0.8, 0.9$ and 0.95 , the water balance equation was established by calibrating the potential catchment size such that the condition $V_0 \equiv V_K$ was fulfilled. Then the function $\Theta = f(F)$ was constructed, where the vertex represented the real catchment area (Figure 5). (Ristić, 2007)

The resulting catchment size could be used to compute the parameters of the water budget equation (Table 1).

The general conclusion was that the annual average discharge rate of Tolišnica Spring was $Q = 0.116 \text{ m}^3/\text{s}$. Given that the catchment size of this spring is 8.6 km^2 , the long-term average discharge layer during the analytical period was $h=421.0 \text{ mm}$. With regard to water abundance, the specific yield of the Tolišnica Spring drainage area was found to be 13.5 l/s/km^2 , while the derived runoff coefficient suggested that 48% of all precipitation was infiltrated and then discharged via springs. The quality of this bacteriologically safe water is extremely high, such that it can be used for domestic water supply, agriculture and fish farming.

ACKNOWLEDGEMENT

We wish to thank the National Meteorological Service of Serbia for providing access to weather and hydrological data and Project 37005 funded by the Ministry of Science and Education.