

# Hidrološki i hidraulički mehanizam isticanja vrela Rijeka Crnojevića

Golub Ćulafić, Veljko Marinović, Branislav Petrović, Jelena Krstajić



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

**[ДР РГФ]**

Hidrološki i hidraulički mehanizam isticanja vrela Rijeka Crnojevića | Golub Ćulafić, Veljko Marinović, Branislav Petrović, Jelena Krstajić | KRAS - VEKOVNA NAUČNA INSPIRACIJA, naučni skup posvećen dr Dušanu Gavriloviću profesoru Geografskog fakulteta | 2022 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006705>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

Univerzitet u Beogradu  
Geografski fakultet



Zbornik radova sa naučnog skupa

## **KRAS - VEKOVNA NAUČNA INSPIRACIJA**

Beograd  
2022.



Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet

Zbornik radova sa naučnog skupa

# KRAS - VEKOVNA NAUČNA INSPIRACIJA

– posvećen dr Dušanu Gavriloviću profesoru Geografskog fakulteta –



1934 - 2020

Urednici:

Predrag Djurović

Aleksandar S. Petrović



Универзитет у Београду  
**ГЕОГРАФСКИ**  
ФАКУЛТЕТ

# KRAS - VEKOVNA NAUČNA INSPIRACIJA

**Izdavač:**

Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet

**Za izdavača:**

Velimir Šećerov

**Urednici:**

Predrag Djurović

Aleksandar S. Petrović

**Tehnička priprema i dizajn:**

Ratomir Veselinović

**Štampa:**

**Tiraž:**

**ISBN**

**Beograd, septembar 2022.**

Napomena: Referati su štampani u obliku autorskih originala. Stavovi izneti u objavljenim radovima ne izražavaju stavove urednika Zbornika i Organizatora skupa. Autori preuzimaju pravnu i moralnu odgovornost za ideje iznete u svojim radovima. Izdavač neće snositi nikakvu odgovornost u slučaju ispostavljanja bilo kakvih zahteva za naknadu štete. Prvopotpisani autori predavanja po pozivu odgovorni su za formiranje koautorskih timova.

## POČASNI ODBOR SKUPA

Dr Radenko Lazarević

Dr Ljubomir Menković

Dr Stevan Stanković

Dr Milutin Lješević

Dr Ljupče Miljković

Dr Predrag Manojlović

Dr Milutin Tadić

Dr Srđan Belij

## NAUČNI ODBOR SKUPA

Dr Predrag Djurović, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, predsednik

Dr Velimir Šećerov, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, dekan

Dr Slavoljub Dragičević, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet,  
rukovodilac Odseka za geografiju

Dr Slobodan Marković, Univerzitet u Novom Sadu, PMF,  
dopisni član Srpske akademije nauka i umetnosti

Dr Nataša Ravbar, Karst Research Institute, ZRC SAZU, Slovenija

Dr Matija Zorn, Anton Melik Geographical Institute, ZRC SAZU, direktor instituta, Slovenija

Dr Emil Gachev, South-West University "Neot Rilski",  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Bugarska

Dr Marijan Temovski, Institute for Nuclear Research, Debrecen, Mađarska

Dr Aleksandar S. Petrović, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Srbija

## ORGANIZACIONI ODBOR SKUPA

Dr Aleksandar S. Petrović, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, predsednik

Dr Danica Šantić, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, prodekanka za nauku

Dr Sanja Manojlović, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet,  
rukovodilac Laboratorije za fizičku geografiju

MSc Marko Langović, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Katedra za fizičku geografiju

MSc Natalija Batocanin, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet,  
Katedra za fizičku geografiju

MSc Tijana Jakovljević, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Katedra za fizičku geografiju

Dr Mirela Djurović, Univerzitet u Beogradu, Filozofski fakultet

Dušica Trnavac, Mladi istraživači Srbije, doktorandkinja

MSc Ratomir Veselinović, geograf, XIV beogradska gimnazija



# SADRŽAJ

Reč urednika.....	11
-------------------	----

## PREDAVANJA PO POZIVU

Библиографија Јована Цвијића посвећена карсту .....	15
Стеван М. Станковић	

Groundwater flow mechanism in karst hydrogeological systems – An overview of historical and actual conceptions .....	23
Zoran Stevanović	

Теорије спелеогенеze – два века развоја.....	39
Aleksandar S. Petrović	

Morfo-hidrološke karakteristike većih speleoloških objekata Srbije .....	53
Predrag Djurović	

Primena speleoroničких истраживања u hidrogeologiji karsta.....	69
Saša Milanović	

Карстна изворска зона Врело на Старој планини – реткост карста Србије.....	83
Зоран Никић, Вукашин Милчановић, Ненад Марић	

Kvantitativna analiza karstnih hidrogeoloških sistema u inženjerskoj praksi .....	97
Igor Jemcov	

Intenzitet hemijske erozija kraških terena u Srbiji .....	113
Sanja Manojlović	

Dating of cave deposits in Macedonian caves using various geochronological methods .....	129
Marjan Temovski	

Глациокрас - један од полигенетских типова краса централног дела Црне Горе.....	133
Мирела Ђуровић	



<b>Krš / Karst / Kras u sistemu obrazovanja u Srbiji .....</b>	<b>147</b>
Jelena Čalić, Marko V. Milošević, Jelena Kovačević-Majkić	
<b>Diverzitet pećinske faune u Srbiji .....</b>	<b>163</b>
Slobodan E. Makarov, Dalibor Stojanović	
<b>Fauna slepih miševa karstnih predela i pećinskih skloništa u Srbiji .....</b>	<b>177</b>
Milan Paunović, Branko Karapandža	
<b>Fosilni ostaci sitnih kičmenjaka u pećinskim naslagama Srbije .....</b>	<b>189</b>
Katarina Bogičević, Dragana Đurić, Draženko Nenadić	
<b>Metodologija izrade inventara objekata geonasleđa kraških terena i problemi vrednovanja geoobjekata .....</b>	<b>213</b>
Dušan Mijović	
<b>Evaluacija objekata geonasleđa kraških terena – studija slučaja Homolje (Istočna Srbija) .....</b>	<b>225</b>
Đurđa Miljković, Ljupče Miljković	
<b>Геотуризм крашких терена .....</b>	<b>241</b>
Немања Томић	
<b>Палеогеографија квартара на територији Војводине .....</b>	<b>259</b>
Слободан Б. Марковић, Милица Г. Радаковић, Миливој Б. Гаврилов, Тин Лукић, Немања Томић, Растко С. Марковић	

## SAOPŠTENJA

<b>Preliminary results of the frost weathering rate of subglacial carbonate deposits .....</b>	<b>277</b>
Matija Zorn, Matej Lipar, Mateja Ferik, Klemen Cof, Janko Čretnik	
<b>The geological setting of the Jama v Dovčku Cave, eastern Slovenia, and its significance in the context of palaeoclimate research: preliminary research results.....</b>	<b>279</b>
Jure Tičar, Mauro Hrvatin, Mateja Ferik, Matija Zorn, Sonja Lojen, Matej Lipar	
<b>Preliminary results of water tracing from the Triglav Glacier, NW Slovenia.....</b>	<b>281</b>
Mauro Hrvatin, Miha Pavšek, Metka Petrič, Nataša Ravbar, Matjaž Geršič, Matej Blatnik, Manca Volk Bahun, Matija Zorn	

<b>Hidrološki i hidraulički mehanizam isticanja vrela Rijeka Crnojevića .....</b>	<b>283</b>
Golub Čulafić, Veljko Marinović, Branislav Petrović, Jelena Krstajić	
<b>Neke zanimljivosti na kršu Podveleži.....</b>	<b>295</b>
Jasminko Mulaomerović, Miralem Husanović, Mirnes Hasanspahić	
<b>Kamenice planine Devce (Istočna Srbija).....</b>	<b>303</b>
Dragan Nešić	
<b>Prostorna distribucija vrtača na Beljanici .....</b>	<b>313</b>
Marko V. Milošević, Jelena Čalić, Milovan Milivojević	
<b>Karst Geotourism and Geosite Assessment within the Đerdap Geopark (Eastern Serbia) .....</b>	<b>327</b>
Natalija Nikolić, Aleksandar Antić	
<b>Пећина Градац код Баточине.....</b>	<b>347</b>
Зорица Вуловић	

## Hidrološki i hidraulički mehanizam isticanja vrela Rijeka Crnojevića

**Golub Čulafić<sup>1</sup>, Veljko Marinović<sup>2</sup>, Branislav Petrović<sup>2</sup>, Jelena Krstajić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Zavod za hidrometeorologiju i seizmologiju Crne Gore, IV Proleterske 19, 81 000 Podgorica, e-mail: golub.culafic@meteo.co.me*

<sup>2</sup> *Centar za hidrogeologiju karsta, Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Đušina 7, 11000 Beograd*

**Izvod:** Rijeka Crnojevića predstavlja karstno (kraško) vrelo, koje u teritorijalnom pogledu pripada Opštini Cetinje, u geološko-tektonskom pogledu pripada zoni Visokog krša (oblast stare Crne Gore), dok prema hidrogeološkoj rejonizaciji spada u prostor Spoljašnjih Dinarida. Izvire iz Obodske (ili Crnojevića) pećine u selu Obod (81 m.n.m.). Voda koja ističe iz Obodske pećine vodi porijeklo od atmosferskih voda, koje se formiraju na prostoru Cetinjskog polja i Dobrskog sela. Vode na obodu polja poniru i kreću se uglavnom podzemnim kavernama i kanalima, nastalim u gornjotrijaskim karbonatnim stijenama (Cetinjska pećina-Lipska-Obodska pećina, i mnoge druge), gdje ponovo ističu na površinu terena. Od voda koje ističu iz Obodske pećine (i nizvodne zone) formira se riječni tok Crnojevića Rijeke, koji se nakon 13 km toka uliva u Skadarsko jezero. Imajući u vidu sezonsko kolebanje nivoa voda Skadarskog jezera, donji i srednji dio njenog toka, u zimskom i proljećnom dijelu godine, biva potopljen vodama jezera, pa tako ona postaje jedan od njegovih rukavaca. Izvorišni dio i gornji tok, su uvijek iznad maksimalnih nivoa kota jezera. Rijeka Crnojevića je gravitaciono vrelo, koje drenira izdan formiranu u stijenama karstno-pukotinske poroznosti, predstavljene veoma karstifikovanim krečnjacima i dolomitima gornjotrijske starosti. Na osnovu analiziranih vremenskih serija isticanja vrela, u periodu 1991-2020 godina, te shodno hidrauličkim uslovima, ustanovljena je izrazita fluktuacija isticanja, pa tako koeficijent hidrauličke neravnomjernosti iznosi i preko 210. Tokom navedenog perioda, maksimalna izdašnost je iznosila 211 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalna iznosila svega 0,05 m<sup>3</sup>/s. Srednja vrijednost proticaja za analizirani period je iznosila 7,20 m<sup>3</sup>/s, osrednjene maksimalne vrijednosti proticaja iznose 116 m<sup>3</sup>/s a minimalne 0,52 m<sup>3</sup>/s. Analizirajući rezultate autokorelacione funkcije isticanja podzemnih voda na vrelu Rijeka Crnojevića i padavina za kišomernu (meteorološku) stanicu Cetinje, može se zaključiti o memoriji sistema od 6 do 7 dana. Prema unutargodišnjoj raspodjeli i shodno pluviometrijskom režimu sliva, pojavljivanje najvećih vrijednosti isticanja počinje krajem jeseni (novembar) da bi maksimum dostigao tokom zimskih mjeseci (decembar i januar), nakon čega vrijednosti polako opadaju. Recesioni period vrela se u potpunosti poklapa sa sušnim periodima godine (ljetu i početak jeseni).

**Ključne reči:** Rijeka Crnojevića, karstno vrelo, mehanizmi isticanja

### Uvod

Karstni sistem Rijeka Crnojevića nalazi se u južnom dijelu Crne Gore, ispod

Cetinjskog karstnog polja, a u neposrednoj blizini naselja Rijeka Crnojevića. Teritorijalno i administrativno naselje pripada Prijestonici Cetinje (nalazi se 18 km jugoistočno od Cetinja), kao jedno od njenih 20 prigradskih naselja, dok je samo vrelo locirano na oko 3,5 km zapadno od naselja Rijeka Crnojevića, po kome i nosi ime. Prema hidrogeološkoj rejonizaciji pripada Spoljašnjim Dinaridima Crne Gore. Nizvodno od vrela formira se površinski tok Rijeke Crnojevića, koja u najuzvodnijem dijelu nosi naziv Obodska rijeka, da bi nakon par stotina metara dobila svoj prepoznatljiv naziv. Površinski tok pripada slivu Skadarskog jezera, u koje se uliva nakon 13 km toka. Vrelo Rijeke Crnojevića drenira Cetinjsko karstno polje, koji se teritorijalno nalazi na prostoru gradskog jezgra Cetinja. Ovaj prostor predstavlja kulturno-istorijsko nasleđe Crne Gore, budući da je naselje formirano kao utvrđenje zetskog vladara Ivana Crnojevića u 15. vijeku, koje je korišćeno u borbama protiv Turaka. Rijeka Crnojevića je kasnijih godina bila jedna od najznačajnijih luka i trgovinskih centara Crne Gore. Đurađ Crnojević je ovdje osnovao i prvu štampariju, u kojoj su štampani Oktoih i Psaltir. Osim izuzetnog kulturno-istorijskog nasleđa, površinski tok Rijeke Crnojevića odlikuje se i značajnim biodiverzitetom. Naime, ova rijeka odlikuje se visokom količinom rastvorenog kiseonika i stabilnom temperaturom tokom godine, što pogoduje ribljoj fauni, prije svega pastrmkama i šaranu (Mrdak et al., 2012). Takođe, Rijeka Crnojevića poznata je i po svom meandriranju na putu ka Skadarskom jezeru, a biološko i prirodno bogatstvo ovog područja pod najvećim je stepenom pravne zaštite, budući da se nalazi u sklopu Nacionalnog parka „Skadarsko jezero“.

## Opšte karakteristike istražnog područja

Južni dio Crne Gore, kome pripada i slivno područje vrela Rijeke Crnojevića, odlikuje se specifičnim *klimatskim* režimom, na koji poseban uticaj ima blizina Jadranskog mora i Skadarskog jezera, te visoke planine koje ga okružuju, što doprinosi da se ovaj prostor odlikuje izrazito intenzivnim hidrološkim režimom. Ovo područje karakteriše velika promjena nadmorskih visina na relativnom malom prostoru (od 80-1600 mnm), što direktno utiče na pluviometrijski i temperaturni režim. Tako, prostor naselja i vrela Rijeke Crnojevića odlikuje se klimom sličnoj prostoru Skadarskog jezera, koje ima najveći uticaj na ovo područje. Budući da je prostor naselja i vrela otvoren ka Skadarskom jezeru, tako da preko rijeke Bojane i jezera dolazi uticaj Jadranskog i Sredozemnog mora, ovaj prostor ima klimatske odlike primorskih oblasti. Takođe, karakteristične su vrlo visoke vrednosti godišnjih suma padavina, koje mogu iznositi i preko 3000 mm/god, odnosno topla ljeta i dosta hladne zime, što uzrokuje i pojavu da su jesenji mjeseci topliji od prolječnih.

Šire istražno područje sliva vrela Rijeke Crnojevića odlikuje se veoma interesantnim *geomorfološkim* karakteristikama terena, čija je geneza uslovljena burnom geološkom istorijom i intenzivnom tektonskom aktivnošću ovog prostora, odnosno povoljnim (paleo)klimatskim uslovima. Prema geomor-

fološkim osobinama slivno područje vrela Rijeke Crnojevića pripada prostoru Starocrnogorske karstne zaravni (Radulović, 2000). Ova orografska cjelina zauzima prostor između primorskog pojasa i doline Zete sa prosječnom nadmorskom visinom od oko 800 mnm, a karakteristična je po tome što je okružena planinskim masivima Orjena, Lovćena, Njeguša, Zle gore i dr. Dominantan geomorfološki proces na ovom području je karstni proces, kome je prethodio fluvijalni proces, tokom geološke historije. Naime, prilikom izdizanja morskog kopna i regresije mora, nataloženi sedimenti bili su podložni uticaju površinskih i atmosferskih voda. Na taj način, glavni geomorfološki agens je voda koja razorno djeluje na slabo ispucale, skoro nerastvorljive i pretežno kompaktne karbonatne sedimente, tako da proces koji zapravo kreira reljef terena je fluvijalni. U navedenim paleogeografskim uslovima, na površini terena je formirana Cetinjska (ili Ceklinska) rijeka, koja je tekla na jugoistok ka Skadarskom jezeru. Intenzivnim rastvaranjem karbonatnih sedimenata, dolazi do dezintegracije rječnog korita pomenute rijeke, te njenog prelaska u podzemlje, formirajući stalno vlažnu zonu, onako kako je još Cvijić (1918) tumači. Proces koji postaje dominantan je karstni geomorfološki proces, koji preuzima primat u formiranju reljefa ovog područja. Idući dalje kroz geološku historiju, sve do savremenog doba, karstni proces napreduje tako da su u podzemlju slivnog područja Rijeke Crnojevića razvijene stalno vlažna, periodično vlažna i suva zona. Na taj način, na primjeru karstnog sistema vrela Rijeke Crnojevića, može se u potpunosti potvrditi teorija Cvijića (1918) o evoluciji karstnog procesa u Dinaridima, odnosno rekonstruisati paleotok Cetinjske rijeke, na osnovu pomenutih zona, odnosno površinskih i podzemnih karstnih geomorfoloških oblika, u vidu nekadašnjih tačaka isticanja podzemnih voda, zatim suvih i slijepih rječnih dolina, vrtača, jama, pećina i ponora. Prostor između Cetinja i Rijeke Crnojevića, iako male površine, odlikuje se postojanjem praktično svih površinskih i podzemnih karstnih geomorfoloških oblika, što je prava rijetkost u svijetu. Među njima ističu se ponori, pećine i jame. Karakteristika ponora ogleda se u tome što često znaju da budu prirodno zaptiveni nanesenim materijalom pri velikim poplavama, dok se istovremeno otvaraju novi ponori (Radulović, 2000). Pećine predstavljaju jako bitan podzemni karstni fenomen, koji ima veliku ulogu u hidrološkom i hidrogeološkom funkcionisanju karstnog sistema vrela Rijeke Crnojevića (Pr. 1). Osnovne karakteristike pećina ovog područja je da su najčešće vezane za fosilne rječne doline, koje su nekada predstavljale površinske tokove kao što je slučaj sa nekadašnjom Cetinjskom rijekom, zatim da imaju prostrani ulaz i znatno veće galerije i dvorane od pećina formirane u krečnjacima, znatno su duže, bogatije pećinskim nakitimima i najčešće su sa vodom (Radulović, 2000). Najpoznatije pećine ovog područja su Cetinjska (dužina 1240 m, Pr. 1), Lipska (3650 m) i Obodska pećina, koje su hidrološki povezane. Osim njih, na istražnom prostoru se nalaze i Strugarska pećina u ataru sela Ceklin, Miloševa pećina na Lovćenu u podnožju Njegoševog mauzoleja, za koju se smatra da je prva pećina u pećinskom sistemu Rijeke Crnojevića, Zapecka i Gradinska pećina u Bokovu, Ilijina pećina u Zagori i Brovska pećina u selu Gornja Brova.



*Prilog 1 - Cetinjska pećina (novembar, 2021) i Cetinjska pećina u funkciji karstnog vrela pri poplavama februara 1986. godine (izvor: <http://www.speleologija.me>)*

Širi geografski prostor sliva karstnog sistema vrela Rijeke Crnojevića, prema *geološkoj* rejonizaciji pripada Dinaridima i odlikuje se veoma složenom geološkom građom terena. Na osnovu Osnovne geološke karte SFRJ (listovi: Kotor K34-50, Budva K34-62 i Titograd K34-51, TK 1:100000), na širem području istraživanja, najveću prostornu distribuciju imaju mezozojski geološki kompleksi, od donjeg trijasa do gornje krede, uz postojanje prelazne flišne zone ka eocenu i kvartarnih sedimenata, kao najmlađih tvorevina. Sedimenti gornjeg trijasa ( $T_3$ ) imaju najveće rasprostranjenje na istraživanom području, i predstavljaju najviše horizonte karstnog sistema vrela Rijeke Crnojevića. Ova serija je razvijena u faciji dolomita, dolomitičnih krečnjaka i rjeđe čistih krečnjaka, dok su u gornjim horizontima zastupljene i krečnjačko-dolomitske breče. Jurski sedimenti su se na istraživanom prostoru razvijali u Budvansko-barskoj dubokovodnoj sedimentacionoj zoni, dok se u zoni Visokog krša tokom jure javlja sedimentacija u neritskoj faciji. Na širokom prostranstvu donjojurska serija pokazuje facijalne razlike, pri čemu se u njoj uočavaju dva tipa razvića, krečnjačka i dolomitična serija (sa znatnim interkalacijama laporaca i rožnaca -  $^2J_1$ ), odnosno serija predstavljena krečnjacima i dolomitima sa amonitima, posebno u oblasti Lovćena, Njeguša i Rijeke Crnojevića ( $^1J_1$ ). Kredni sedimenti su, takođe, locirani na istražnom području. Na ovom području na osnovu fosila izdvojena je posebna gornjokredna zona koja pripada cenoman-konijaku ( $K_2^{1,3}$ ) koja pored navedenih sedimentnih kompleksa sadrži fosile u vidu rotalipora i preglobotrunkana (Antonijević et al., 1969). Među najmlađim tvorevinama ističu se kvartarni sedimenti u vidu glacijalnih, fluvio-glacijalnih i aluvijalnih sedimenata, kao i crvenice. Glacijalni sedimenti karakteristični su za predjele nanosa morenskog materijala koji se deponovao tokom i nakon otapanja lednika sa visokih planinskih vrhova Lovćena i dr. Takođe, fluvio-glacijalni nanos deponovan je i pod uticajem fluvijalnog procesa, koji je formirao ove

kvartarne nanose nakon deponovanja morenskog materijala. Crvenica je karakteristična za karstifikovane karbonate Visokog krša, gdje su dna vrtača i uvala najčešće pokrivena ovim materijalom, čime su formirane jedine obradive površine na ovom prostoru. Prema tektonskim karakteristikama, već je navedeno da se na istražnom području nalaze dvije geotektonske jedinice: Budvansko-barska zona i zona Visokog krša. Analizirani prostor pripada Starocrnogorskom antiklinorijumu u užem smislu, čija je osnovna karakteristika intenzivna izrasijedanost. U ovoj zoni, rasjedi su pretežno vertikalni i različitih pravaca pružanja, koji su deformisali prethodno stvorene strukture. Tako se na terenu može uočiti regionalni Cetinjski rased, koji je zapravo podijelio širi istražni prostor na dva bloka, od kojih zapadni blok predstavlja višu stepenicu karstnog sistema i erozioni bazis, dok je istočni blok (istočno od Cetinjskog rasjeda, dakle od Cetinjskog polja ka Rijeci Crnojevića i dalje ka Skadarskom jezeru) spušten (Živaljević, 1992). Intenzivna tektonika terena je u geološkoj istoriji dovodila ovaj prostor i na površinu terena, što je uslov bilo za stvaranje boksita.

Prema *hidrogeološkim* karakteristikama na cijelom terenu mogu se razlikovati i izdvojiti zbijeni, pukotinski i karstni tip izdani. Zbijeni tip izdani formiran je u okviru morenskih, fluvioglacialnih naslaga Cetinjskog polja i podnožja Lovćena, u plitkom aluvijonu Rijeke Crnojevića, koji se formira od vrela do naselja Rijeka Crnojevića, odnosno u naslagama crvenice koja je istaložena u uvali Dobrskog sela, odnosno u vrtačama šireg istražnog područja. Zbijeni tip izdani je lokalnog karaktera sa manjim brojem plitkih bunara koji su mahom kopani i koriste se za individualno vodosnabdijevanje, najviše u Dobrskom selu, Ceklinu i drugim naseljima koja se nalaze između Cetinja i Rijeke Crnojevića. Takođe, u Cetinjskom polju i uvali Dobrskog sela, nalaze se i izbušeni pijeometri kojima se nekada osmatrao nivo podzemnih voda u karstnoj izdani. Pukotinski tip izdani izdvojen je na jugozapadu u okviru neraščlanjenih jurskih sedimenata. Dominantan i najznačajniji tip izdani na istražnom prostoru je karstni tip izdani. Karstna izdan formirana je u okviru trijaskih, jurskih i krednih karbonatnih sedimenata, budući da se proces taloženja karbonata odvijao tokom cijelog mezozoika. Prema hidrogeološkoj klasifikaciji karstnih terena Crne Gore (Radulović, 2000), karstni tip izdani izdvojen na istraživanom prostoru pripada klasi srednje do dobro skaršćenih stijena kavernozno-pukotinske poroznosti. Takođe, prema istom autoru na ovom prostoru, u okviru Cetinjskog polja formirana je karstna izdan u okviru karstnih polja i njihovih oboda, za koju je karakteristično formiranje u karstnom paleoreliefu, preko koga su nataloženi kvartarni sediment. Ovdje se javljaju velike fluktuacije nivoa karstnih podzemnih voda, zbog čega dolazi do plavljenja Cetinjskog polja i ostalih uvala, kao što je slučaj bio u februaru mjesecu 1986. godine (Pr. 1), zatim veliki gradijent između zone prihranjivanja i isticanja (kao što je slučaj sa Cetinjskim ponorom i vrelom Rijeke Crnojevića) kao i brojnim ponorima i ponorskim zonama na obodima polja.

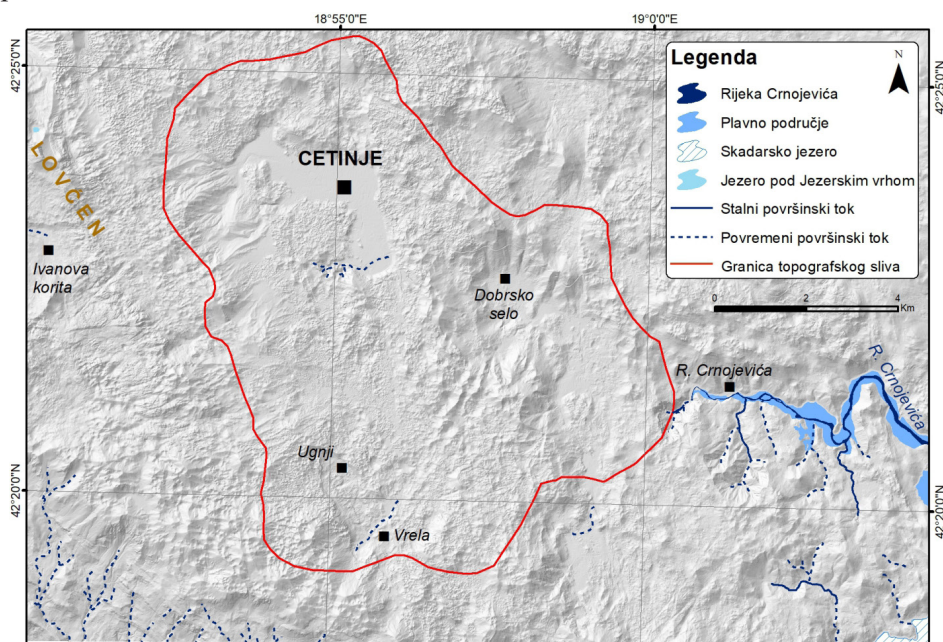
## Primijenjena metodologija

Na geografskom prostoru Crne Gore (13812 km<sup>2</sup>), mogu se sresti izuzetno raznovrsni i specifični oblici reljefa, kao i pojave i procesi na njemu, što je posledica duge geološke evolucije terena i izraženih endogenih i egzogenih sila. Vode u Crnoj Gori otiču u dva slivna područja, pa tako Jadranskom moru pripada površina od 6552 km<sup>2</sup> (47,5%) te slivu Crnog mora 7260 km<sup>2</sup> (52,5%). Rijeka Crnojevića obuhvata površinu topografskog sliva od oko 82 km<sup>2</sup>, dok hidrogeološki sliv veoma oscilira tokom hidrološke godine, imajući u vidu vrlo visoke fluktuacije isticanja vrela. U radu je akcenat dat na analizi dnevnih, mjesečnih, sezonskih i godišnjih vrijednosti proticaja, kao i autokorelacionoj analizi vremenskih serija isticanja i padavina, kako bi se utvrdio mehanizam isticanja vrela. Za analizu su korišćeni podaci sa hidrološke stanice Brodska Njiva ( $\bar{Q} = 8,32$  mm), kojom gazduje Zavod za hidro-meteorologiju i seizmologiju Crne Gore (ZHMS). Bitno je napomenuti da navedena hidrološka stanica nije mijenjala svoj položaj od osnivanja (1987. godine), što omogućava adekvatnu i pouzdanu analizu hidroloških elemenata. Na osnovu prikupljenih podataka izvršena je analiza za period 1991-2020 godina. Za prikaz klimatskih karakteristika analizirani su podaci sa meteoroloških stanica Cetinje i Podgorica, za isti referentni period. Autokorelacionom funkcijom, koja podrazumjeva opisivanje sukcesivnih članova jedne iste vremenske serije (u ovom slučaju izdašnosti) i utvrđivanje njene zavisnosti i periodičnosti, je iskazana korelaciona struktura vremenske serije, između dva uzajamna njena niza, pomjerena za određeni vremenski korak, čime se može utvrditi memorija sistema i mehanizam isticanja podzemnih voda. Kako bi se na adekvatan način pokušalo utvrditi odstupanje godišnje vrijednosti proticaja od prosječne, očekivane, vrijednosti, tj. da se utvrdi da li se češće javljaju manje vodne ili više vodne godine, izvršeno je rangiranje godina po vodnosti, što može biti i pokazatelj reakcija cijelog sliva na kolebanje režima rijeka usled uticaja određenih fizičko-geografskih faktora. Ova metodologija se koristi i primjenjuje u hidrološkim i geografskim proučavanjima, radi ukazivanja kretanja trenda u višegodišnjem režimu vodnosti jednog toka (Langović et al., 2017; Gnjato et al., 2017; Ćulafić, 2020). Vodnost određene godine je ustvari prikaz viška ili manjka vode u vodotoku, u odnosu na određenu normalu ( $Q_{\text{sig}}$ ). Jedan od načina da se to prikaže jeste i Streamflow Drought Index (SDI), koji se veoma često koristi prilikom rangiranja i analize malih voda i na osnovu toga je izdvojeno 8 kategorija godina po vodnosti, od ekstremno vodnih pa do ekstremno sušnih. Ovaj indeks se dobija tako što se za svaku godinu od vrijednosti proticaja oduzme srednja vrijednost proticaja za istraživani period i rezultat se podijeli sa vrijednošću standardne devijacije svih proticaja. Tako se dobijaju pozitivne vrijednosti, koje ukazuju da je izdašnost iznad prosjeka ili obratno (Djokić, 2015). Da bi se na što bolji način izvršila klasifikacija i analiza podataka i utvrdilo njihovo kretanje, korišćena je meteorološka podjela godišnjih doba (proljeće: mart, april, maj; ljeto: jun, jul, avgust; jesen: septembar, oktobar, novembar i zima: decembar, januar, februar, jer se astronomski kriterijum ne poklapa sa meteorološkim.



## Rezultati i diskusija

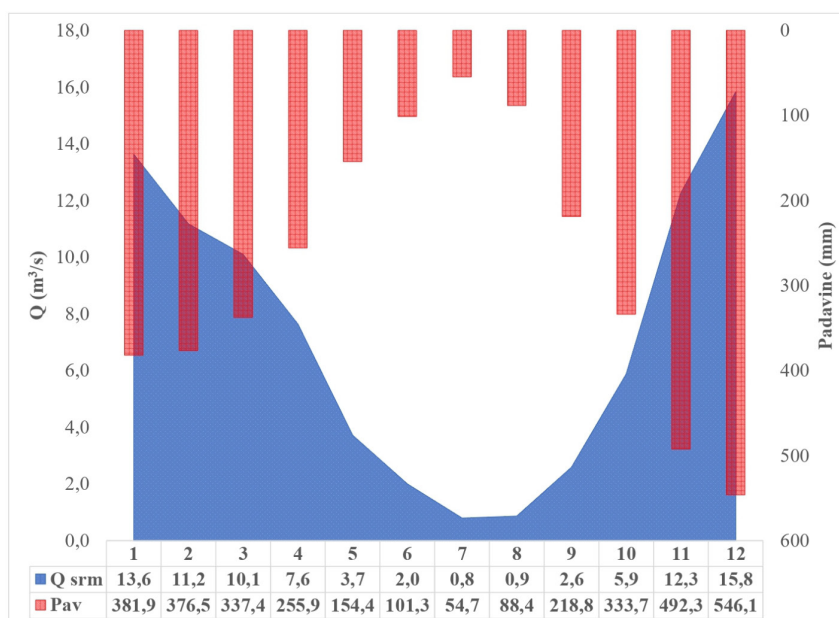
Hidrografski gledano, cjelokupni istraživani prostor pripada Jadranskom slivu, u koje se sve vode ovog područja dreniraju preko Skadarskog jezera i rijeke Bojane. Imajući u vidu da su jako karstifikovani karbonatni sedimenti izrazito dominantni na širem istraživanom području, sasvim je logično potpuno odsustvo drenažne mreže. Ipak, veoma mali broj rječnih tokova postoji na širem slivnom području (Pr. 2), i obično je riječ o povremenim tokovima, koji se aktiviraju pri kišnim epizodama jako velikog intenziteta, što je glavna karakteristika klime ovog kraja. Proticaj je indikator za količinu vode u datom rječnom slivu. Ako vrijednosti proticaja rastu, rizik od poplava takođe raste, ili obratno, ukoliko se smanjuje, dovodi se u pitanje opstanak zavisnih ekosistema. Na osnovu analiziranih vremenskih serija isticanja vrela, te shodno hidrauličkim uslovima, ustanovljena je izrazita fluktuacija isticanja, pa tako koeficijent hidrauličke neravnomjernosti iznosi i preko 210.



Prilog 2 - Hidrografska mreža šireg slivnog područja vrela Rijeka Crnojevića

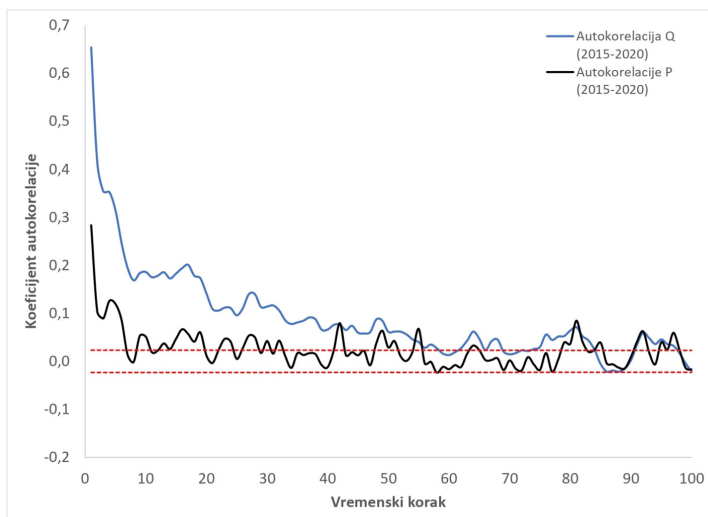
Tokom analiziranog perioda, maksimalna izdašnost vrela je iznosila  $211 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je minimalna iznosila svega  $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ . Srednja mjesečna vrijednost proticaja se kreće od  $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (jul) pa do  $15,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (decembar), dok je srednjegodišnja vrijednost iznosila  $7,20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Osrednjene maksimalne vrijednosti proticaja iznose  $116 \text{ m}^3/\text{s}$ , a minimalne  $0,52 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kolebanje proticaja ovog vrela je dosta izraženo, kako na dnevnom tj. mjesečnom tako i na godišnjem nivou, na šta ukazuju koefi-

cijenti varijacija proticaja. Vrijednosti srednjih mjesečnih proticaja vrela Rijeka Crnojevića kao i količine padavina za Cetinje, prikazani su u Prilogu 3. Prema unutargodišnjoj raspodjeli i shodno pluviometrijskom režimu sliva, pojavljivanje najvećih vrijednosti isticanja počinje krajem jeseni (novembar  $12,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) da bi maksimum dostigao u decembru ( $15,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i januaru ( $13,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ), nakon čega vrijednosti polako opadaju. Minimumi isticanja se poklapaju sa minimumima padavina (recesioni period) u komplementarnom zaleđu vrela (Cetinje), pa su tako jul ( $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i avgust ( $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mjeseci sa najnižim vrijednostima.

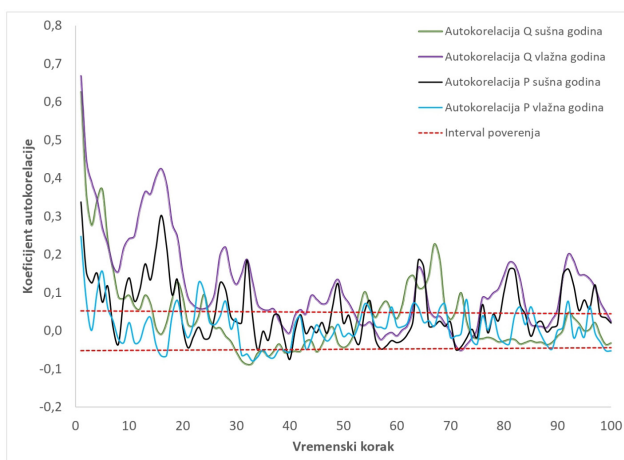


Prilog 3 – Odnos vrijednosti proticaja i padavina (1991-2020)

Autokorelacija vremenskih serija isticanja podzemnih voda na vrelu Rijeke Crnojevića izvršena je na nivou određenih hidroloških godina, za period (2015-2020), sušnu (2017-2018) i vlažnu (2018-2019) godinu. Rezultati primjene autokorelacione funkcije prikazani su u prilogima 4 i 5, sa kojih se vidi visoka autokorelisanost isticanja podzemnih voda karstnog sistema i sinhroni pad autokorelacione funkcije isticanja i padavina za cio period analiiranja. Memorija vremenske serije isticanja iznosi 7 dana, budući da 8. dana koeficijenti autokorelacije padaju ispod praga od 0,2 čime gube statističku značajnost (Mangin, 1984; Ristić Vakanjac, 2015).



Prilog 4 – Autokorelacija vremenskih serija isticanja vrela Rijeke Crnojevića i padavina sa stanice Cetinje za period 2015-2020



Prilog 5 – Autokorelacija vremenskih serija isticanja vrela Rijeke Crnojevića i padavina sa stanice Cetinje za sušnu (2017-2018) i vlažnu (2018-2019) godinu

Autokorelacija vremenske serije padavina pokazuje slučajni karakter ove varijable. Situacija je slična i kod autokorelacione funkcije vremenskih serija isticanja sušne i vlažne godine, gde se vidi da je memorija sistema 6 dana u oba slučaja. Međutim, interesantna je činjenica da se koeficijenti autokorelacije u vlažnoj godini nekoliko puta vraćaju u interval poverenja, čime dobijaju statističku značajnost i pokazuju uticaj padavina na isticanje podzemnih voda. Karakteristični pikovi koeficijenta autokorelacije javljaju se 16. i 28. dana, tako da ako se razmatra prvobitna memorija od 6 dana, može se zaključiti da u vlažnoj godini postoji ciklus od 10-12 dana, koji je potreban da bi se sistem dovoljno napunio, kako bi se javila

reakcija na vrelu, izazvana novom kišnom epizodom. Takva situacija nije primijećena u sušnoj godini, vjerovatno zbog toga što je sistem ispražnjen i potrebno je mnogo više vremena i efektivne infiltracije da bi se sistem napunio i da bi se povećala izdašnosti na vrelu. Ipak, pik koji se javlja 67. dana u sušnoj godini, može biti prouzrokovan topljenjem snijega sa obronaka Lovćena ili se pak može objasniti kao slučajnost. Anlizirajući vodnost godina, kroz SDI indeks, vidimo da na godišnjem nivou preovladavaju godine sa vrijednostima  $SDI > 2,0$  tj ekstremno vodne godine (21), zatim jako vodne godine  $1,5 < SDI \leq 2,0$  (7), te po jedna blago sušna  $-1,0 \leq SDI \leq 0,0$  (2011) i ekstremno sušna  $SDI < -2,0$  (2018) godina.

## Zaključak

Rijeka Crnojevića shodno svojim hidrogeološkim i hidrauličkim karakteristikama predstavlja izuzetno specifično karstno vrelo, sa izrazitom vremenskom fluktuacijom isticanja (koeficijent hidrauličke neravnomjernosti iznosi i preko 210). Odnosi između minimalnih voda (vjerovatnoće pojavljivanja 95%) i maksimalnih voda (vjerovatnoće pojavljivanja 1%) ima odnos od 1:4220 ( $0,05=211 \text{ m}^3/\text{s}$ ), dok na mjesečnom i godišnjem nivou te vrijednosti ujednačenije. Višegodišnja vrijednost proticaja ovog vrela iznosi  $7,20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Analizirajući rezultate autokorelacione funkcije isticanja podzemnih voda na vrelu Rijeka Crnojevića i padavina sa stanice Cetinje, može se zaključiti o memoriji sistema od 6 do 7 dana. Takođe, primećuje se da tokom vlažne hidrološke godine koeficijenti autokorelacije nekoliko puta dobijaju statističku značajnost, što direktno zavisi od stanja rezervi u sistemu. U tim periodima, karstni sistem je dovoljno napunjen da se isticanje obavlja preko hipsometrijski najviše tačke – Obodske pećine. U svim ostalim periodima, isticanje se javlja nekih 20 m niže, budući da je tu stalna tačka isticanja podzemnih voda. Na osnovu rezultata autokorelacione funkcije, može se zaključiti da je karstni sistem Rijeke Crnojevića veoma dobro razvijen, sa postojanjem dva ili čak tri karstna kanala, na različitim hipsometrijskim visinama, koji funkcionišu po principu spojenih sudova, u zavisnosti od trenutnog stanja rezervi u sistemu. Kada je sistem dovoljno napunjen, isticanje se vrši preko Obodske pećine, najčešće u periodima visokih voda, kada se javljaju maksimumi na vrelu. U ostalim periodima godine, podzemne vode ističu na najnižoj tački, 20ak metara nizvodno od pećine. Na osnovu svega navedenog može se izvesti zaključak da na funkcionisanje vrela u karstnim područjima, kakvo je ovo, pored klimatskog faktora, veliku ulogu igra geologija (sastav stijena koje izgrađuju šire slivno područje), reljef tj. hipsometrija (položaj vrela u odnosu na više i niže stepenice drenažnih kanala i sistema) i hidrogeologija (postojanje ili nepostojanje barijera – podinskih ili lateralnih).

## Literatura

Antonijević, R., Pavić, A. & Karović, J. (1969). Tumač za listove Kotor i Budva OGK SFRJ, Savezni geološki zavod, Beograd

- Gnjato, S., Popov, T., Trbić, G. & Ivanišević, M. (2019). Climate Change Impact on River Discharges in Bosnia and Herzegovina: A Case Study of the Lower Vrbas River Basin. In *Climate Change Adaptation in Eastern Europe. Climate Change Management*, edited by W. Leal Filho, G. Trbic, and D. Filipovic, 79–92. Cham: Springer
- Đokić, M. (2015). Nišava — potamološka studija (Doktorska disertacija). <https://www.pmf.ni.ac.rs/download/doktorati/dokumenta/disertacije/2015/2015-07-22-djm>
- Živaljević, R. (1992). Hidrogeološka analiza kretanja kraških voda na primjeru sliva Rijeke Crnojevića (Doktorska disertacija).
- Langović, M., Manojlović, S., & Čvorović, Z. (2017). Trends of Mean Annual River Discharges in the Zapadna Morava River Basin. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 97(2):19–45
- Mangin, A. (1984). Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *J. Hydrol.*, (6): 25–43
- Mrdak, D., Bajković, I., Novaković, D., Đurašković, P., Rakočević, J. & Šundić, M. (2012). Procjena ekološki prihvatljivog protoka za Rijeku Crnojevića: Faza I: Izvještaj o testiranju metodologija za potrebe izrade pravilnika o ekološki prihvatljivom protoku, WWF Mediterranean Programme Office and NGO Green Home, Podgorica, Montenegro
- Radulović, M. (2000). Hidrogeologija karsta Crne Gore. JU Republički zavod za geološka istraživanja Podgorica, Posebna izdanja Geološkog Glasnika, Knjiga XVIII
- Radulović, V. (1989). Hidrogeologija sliva Skadarskog jezera. Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore
- Ristić Vakanjac, V. (2015). Forecasting Long-Term Spring Discharge; In: Stevanović Z. (ed.) *Karst Aquifers – Characterization and Engineering. Professional Practice in Earth Sciences*, Springer, 435-455
- Ćulafić, G. (2020). Impact of Climate Change on River Discharge Regimes in the Danube River Basin – Example of Lim River (Montenegro). *Water Resources Management in Serbia*. In: Milanović Pešić, A. & Jakovljević, D. (Eds.) *Water Resources Management: Methods, Application and Challenges (Chapter 2)*: 35-68. New York: Nova Science Publishers.
- Hrvavčević, S. (2004). Resursi površinskih voda Crne Gore. EPCG, Nikšić
- Cvijić, J. (1918). Hydrographie souterraine et evolution morphologique du karst. *Recueil Trav Inst Geogr Alpine, Grenoble* 6(4):40

## Hydrological and hydraulic mechanism of Rijeka Crnojevića karst spring discharges

**Abstract:** The Crnojevića River is a karst spring, which territorially belongs to the Municipality of Cetinje, geologically and tectonically belongs to the High Karst zone (the area of Old Montenegro), while according to hydrogeological regionalization it belongs to the Outer Dinarides. It springs from the Obodska (or Crnojevića) cave in the village of Obod (81 m a.s.l.). The water that flows out of the Obodska cave originates from atmospheric waters, which are formed in the area of the Cetinje polje and Dobrsko village area. The waters on the edge of the polje sink and move mainly through underground caverns and canals, formed in the Upper Triassic carbonate rocks (Cetinjska Cave-Lipska-Obodska Cave, and many others), where they re-emerge on the surface. From the waters that flow out of the Obodska cave (and the downstream zone), the river flow of the Crnojevića River is formed, which flows into Skadar Lake after 13 km of flow. Having in mind the seasonal fluctuations of the water levels of Skadar Lake, the lower and middle part of its course is submerged by the waters of the lake, in the winter and spring part of the year, so it becomes one of its bay. The source part and the upper course are always above the maximum levels of the lake. The River Crnojevića is a gravitational karst spring, which drains an aquifer formed in the rocks of karst-fissured porosity, represented by highly karstified limestones and dolomites of the Upper Triassic age. Based on the analyzed time series of spring outflows, in the period 1991-2020, and in accordance with their hydraulic conditions, a distinctive outflow fluctuation was established, so the coefficient of hydraulic unevenness is over 210. During this period, the maximum yield was 211 m<sup>3</sup>/s, while the minimum was only 0,05 m<sup>3</sup>/s. The average value of flow for the analyzed period was 7,20 m<sup>3</sup>/s, the average maximum values of flow are 116 m<sup>3</sup>/s and the minimum 0,52 m<sup>3</sup>/s. Analyzing the results of the autocorrelation function of groundwater discharge at the source of Rijeka Crnojevića and precipitation for Cetinje, it can be concluded that the memory of the system is 6 to 7 days. According to the intra-annual distribution and similar to the pluviometric regime of the catchment area, two maximums of yield are observed - the first during spring (April-May) and the second during autumn, with the spring maximum lasting slightly longer due to melting snow in the complementary hinterland (Cetinje, Lovćen). The recession period of the karst spring completely coincides with the dry periods of the year (summer and the beginning of autumn).

**Key words:** Crnojevića River, karst spring, flow mechanisms