

# HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE VODOTOKA PLITVICA NA PODRUČJU PLITVIČKIH JEZERA, HRVATSKA

## HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE WATERCOURSE PLITVICA IN THE PLITVICE LAKES AREA, CROATIA

Hrvoje Meaški<sup>1</sup>, Marina Marcuiš, Anita Pticek Siročić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska

\*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: hmeaski@gfv.hr

**Sažetak:** Rijeka Plitvica se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Nacionalnog parka Plitvička jezera. Dužine je oko 4 km, a započinje snažnim krškim vrelom, izvorom Plitvice. Nakon otprilike 900 m toka u rijeku Plitvicu se s lijeve strane ulijeva vodotok Sartuk. Na kraju svog toka rijeka Plitvica se ruši niz 78 m visoku vapnenačku liticu formirajući najveći slap u Republici Hrvatskoj – Veliki slap. U posljednjih 20-ak godina na Velikom slapu su sve izraženiji nedostaci vode, a kao mogući razlog je, osim smanjenja ukupnog protoka na izvoru Plitvice, i gubitak vode duž vodotoka Plitvice. Zbog toga su u radu analizirani dostupni hidrogeološki, hidrološki podaci i hidrokemijski kako bi se utvrdili uzroci velikih gubitaka vode na Velikom slapu za vrijeme sušnih razdoblja. Utvrđeno je da je proces pojave i nastanka sedrenih barijera vrlo dobro vidljiv duž vodotoku Plitvice te da ovaj vodotok hidrogeološki gledano ustvari predstavlja umanjeni sustav Plitvičkih jezera. Proces sedrenja je stalan i za sada neprekinut, a na nekim mjestima i toliko velik da izdiže cijelo korito te dolazi do izlivanja vode u susjedne livade s vrtačama, gdje se za vrijeme sušnih razdoblja u podzemlje gubi najveći dio vode vodotoka Plitvica.

**Ključne riječi:** Plitvička jezera, hidrogeologija krša, protoci, sedra.

**Abstract:** The Plitvica River is located in the northwestern part of the Plitvice Lakes National Park. Length of the river is about 4 km, and it starting with the strong karst spring. After about 900 m from the spring, the Plitvica River receives water from the Sartuk stream. At the end, Plitvica River crashes down the 78 m high limestone cliff, forming the largest waterfall in Croatia - Big Waterfall. In the last 20 years on the Big Waterfall are growing disadvantages of water. A possible reason is, besides reducing of the total amount of water at the source of Plitvice, also loss of water along the watercourse of the Plitvica River. Therefore, in the paper were analysed available hydrogeological, hydrological and hydrochemical data in order to identify the causes of large losses of water at the Big Waterfall during dry periods. It was found out that the process of occurrence and the formation of tufa barriers are very well visible along the watercourse of the Plitvica River, and that this watercourse, hydrogeological looking, is a smaller version of the Plitvice Lakes system. The process of tufa is continuous and uninterrupted for the time being, and in some places so large that rises riverbed what causes a spill of water in the adjoining meadows with sinkholes where during dry periods in underground loses most of the water watercourse Plitvice.

**Keywords:** Plitvice Lakes, Karst hydrogeology, water flow, tufa sediments

Received: 04.11.2016 / Accepted: 06.12.2016

Published online: 14.12.2016

Znanstveni rad / Scientific paper

## 1. UVOD

Vodotok Plitvica se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Nacionalnog parka Plitvička jezera (**slika 1**).

Plitvička jezera nalaze se u zaleđu Velebita na nadmorskoj visini između 400 i 1300 m. Smještena su u istočnoj Lici između planine Male Kapele i Ličke Plješivice. Veći dio nacionalnog parka Plitvičkih jezera smješten je na području Ličko-senjske (90,7%), a manji na području Karlovačke županije (9,3%).

Zbog neprocjenjive prirodne ljepote, ali i brojnih biljnih i životinjskih vrsta, područje Plitvičkih jezera proglašeno je nacionalnim parkom 1949. godine, a UNESCO je 1979. godine Nacionalni park Plitvička jezera uvrstio na popis Svjetske prirodne baštine. Prvotne granice nacionalnog parka proširene su 1997. godine na današnju površinu od 296,85 km<sup>2</sup>.

Dužina vodotoka Plitvica je oko 4 km. Započinje snažnim krškim vrelom, izvorom Plitvice, smještenim

ispod strmih stijena u blizini zaseoka Rodić Poljana na visini od 606 m n. m. Nakon otprilike 900 m toka u vodotok Plitvicu se s lijeve strane ulijeva njen najznačajniji pritok – vodotok Sartuk. Na kraju svog toka vodotok Plitvica se „ruši“ niz 78 m visoku vapnenačku liticu formirajući najveći slap u Republici Hrvatskoj – Veliki slap. Vode iz vodotoka Plitvice i vode iz jezerskoga sustava Plitvičkih jezera spajaju se u depresiji, približno kružnog oblika i promjera otprilike 150 m, zvanom Sastavci. To je ujedno i izvorišno područje rijeke Korane koja se kod Karlovca ulijeva u rijeku Kupu.

U posljednjih 20-ak godina na Velikom slapu su iz godine u godinu sve izraženiji nedostaci vode, a koji se uvijek poklapaju sa sušnijim razdobljima. Jedan od mogućih razloga je, osim smanjenja ukupnog protoka na izvoru Plitvice, i gubitak vode duž vodotoka Plitvica, s

obzirom da su ovi gubici zapaženi već i ranije. Naime, prva hidrološka mjerenja na vodotoku Plitvica provedena su još 1979. s kontinuitetom do 1987. godine upravo zbog uočenih gubitaka vode u vodotoku Plitvica (Sumina, 1988).

Zbog toga je cilj rada bio analizirati dostupne podatke vezane za vodotok Plitvicu i vodotok Sartuk te probati utvrditi hidrogeološke uzroke gdje i zašto dolazi do tako velikih gubitaka vode na Velikom slapu za vrijeme sušnih razdoblja.

Pretpostavke su dodatno provjerene koristeći rezultate hidroloških mjerenja na vodotocima Plitvici i Sartuku, dobivene od strane DHMZ-a za razdoblje od 2001. do 2012. godine. Izvršena je i procjena količine istjecanja na izvoru Plitvice, a rezultati su uspoređeni i s analizom hidrokemijskih mjerenja koja su se provodila na izvoru Plitvice, vodotoku Sartuk i vodotoku Plitvice iznad Velikog slapa u razdoblju od 2005. do 2008. godine.



Slika 1. Položaj Nacionalnog parka Plitvičkih jezera

## 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Područje Plitvičkih jezera bilo je oduvijek interesantno brojnim istraživačima i znanstvenicima. Kao najstarije, spominje se analiza vode s ušća rijeke Korane u Kupu iz 1897. godine u knjizi prirodoslovca Franjića (1910), što je s podacima Janečeka u istoj knjizi označilo početak mjerenja u slivu Korane. Limnolog Gavazzi (1904, 1919) je ukazao na utjecaj klimatskih promjena pri formiranju sedrenih barijera dok je Koch (1916, 1926) proučavao naslage koje su karakteristične za šire područje Plitvičkih jezera i dao pregled hidroloških prilika. Svoja detaljna opažanja je prikazao na Geološkoj karti Plitvice u mjerilu 1:75 000. Ujedno je dao i osvrt na postanak Plitvičkih jezera za koje smatra da su tektonskog postanka.

Geomorfološka istraživanja Plitvičkih jezera provodio je i Roglić (1951, 1974). On je utvrdio da su velika zaravnjena područja na topivim karbonatnim stijinama vezana uz korozivne procese, koji su različito modificirani

klimatskim utjecajima, dok riječnu eroziju kao temeljni proces njihovog postanka potpuno isključuje. Hidrogeologiju područja među prvima opisuje Petrik (1958) koji je sustavno istraživao jezerski sustav i koji je formiranje jezerskog sustava vezivao za tektonske pokrete za vrijeme laramijske faze Alpske orogeneze. Emili (1958, 1965) je radio hidrobiološka istraživanja, Iveković (1958) je pisao o mijenjanju kemijskog sastava vode na Plitvičkim jezerima. Geologijom se bavio Polšak (1959), hidrometeorologijom Makjanić (1958), biodinamikom Pevalek (1958), geotektonikom Herak (1962), a hidrogeografijom Ridanović (1976) i dr.

Božičević (1969, 1971, 1973, 1991) se u više navrata bavio hidrološkim odnosima na Plitvičkim jezerima te u svojim radovima često opisuje speleološke pojave i ukazuje na potrebu njihove zaštite i uključivanja u turističku ponudu. Biondić (1982) u sklopu doktorske disertacije izdvaja slivove na području Like, koji su djelom obuhvaćali i područje Plitvičkih jezera.

Dešković i suradnici (1981, 1984) su vršili hidrološka i hidrokemijska istraživanja i trasiranja podzemnih tokova s ciljem pronalazanja podzemnih vodenih veza na području Plitvičkih jezera u svrhu određivanja granica Nacionalnog parka „Plitvička jezera“. Srebrenović (1982) obrađuje hidrološke uvjete za ostvarenje umjetnog jezera (akumulacije) na rijeci Korani u blizini mjesta Selište i određuje karakteristične hidrološke veličine sliva i bilancu rijeke Korane do predviđenog mjesta akumulacije.

Istraživači instituta Ruđer Bošković iz Zagreba, Srdoč i Horvatinčić (1985), proučavali su procese taloženja kalcita na sedrenim barijerama i u jezerskim sedimentima te utvrdili znatno brži rast sedrenih barijera u odnosu na taloženje jezerskog sedimenta. Sumina (1988) uz opažanja vodostaja i povremenih mjerenja protoka pojedinih vodotoka na području Plitvičkih jezera ukazuje na mjesta mogućih gubitaka vode u površinskim vodotocima, posebice u vodotoku Plitvica i u početnom dijelu toka rijeke Korane do Koranskog mosta, a Zaninović i suradnici (1986) te Poje (1989) daju pregled klimatskih značajki Nacionalnog parka Plitvičkih jezera. Stilinović i suradnici (1985, 1989, 2004) istraživali su ekološko stanje Plitvičkih jezera s posebnim osvrtom na bakteriološko stanje jezerskih voda. Obelić i suradnici (2000) vrše fizikalno-kemijska i izotopna istraživanja vode i sedre u Nacionalnom parku Plitvička jezera, a detaljnom analizom jezgri sedimenta dužine 40-ak centimetara uzetih s dna odabranih jezera i utvrđuju starost izvađenog sedimenta u rasponu od 100 do 200 godina.

Žugaj (2003) u sklopu regionalne hidrološke analize protoka u krškom području Republike Hrvatske u razdoblju od 1951. do 1995. godine izračunava karakteristične parametre srednjih godišnjih protoka i za pojedine dijelove sliva rijeke Korane. Biondić i Barbalčić (2004) u sklopu analize velikih voda u crnomorskom dijelu sliva Republike Hrvatske također izračunavaju srednje protoke za pojedine dijelove sliva rijeke Korane. Babinka (2007) u svojoj disertaciji, prikazujući kemijski i izotopni sastav vode i jezerskog sedimenta s područja Plitvičkih jezera, s posebnim osvrtom na antropogeni utjecaj, a Barešić (2009) na temelju provedenih analiza antropogenog utjecaja na jezerski sustav u svojoj disertaciji opisuje primjenu izotopnih i geokemijskih metoda na Plitvičkim jezerima.

Biondić i suradnici (2008) objavljuju rezultate opsežnih hidrogeoloških i hidrogeokemijskih istraživanja područja Plitvičkih jezera. Istraživanja su se provodila u sklopu međunarodnog projekta, a u suradnji, Znanstvenostručnog centra "Ivo Pevalek" NP Plitvička jezera, Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te Joanneum Research instituta iz Graza, Austrija. Vurnek i suradnici (2010) temeljem analize hidroloških uvjeta i rezultata trogodišnjeg opažanja kvalitete vode Plitvičkih jezera. Meški (2011) u doktorskom radu prikazuje hidrogeološke, hidrološke i hidrogeokemijske značajke sliva Plitvičkih jezera te daje model istraživanja i cjelovite zaštite krških vodnih resursa u zaštićenim prirodnim područjima. Meški i suradnici (2014, 2016) predlažu podjelu sliva Plitvičkih jezera na manje podslivove koji su vezani za glavne izvore i za jezerski sustav Plitvičkih jezera. Jedan od manjih slivova je upravo i sliv Plitvice (slika 2). Novija istraživanja na području nizvodno od Plitvičkih jezera su objavili Biondić i suradnici (2016).

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Hidrogeološke značajke

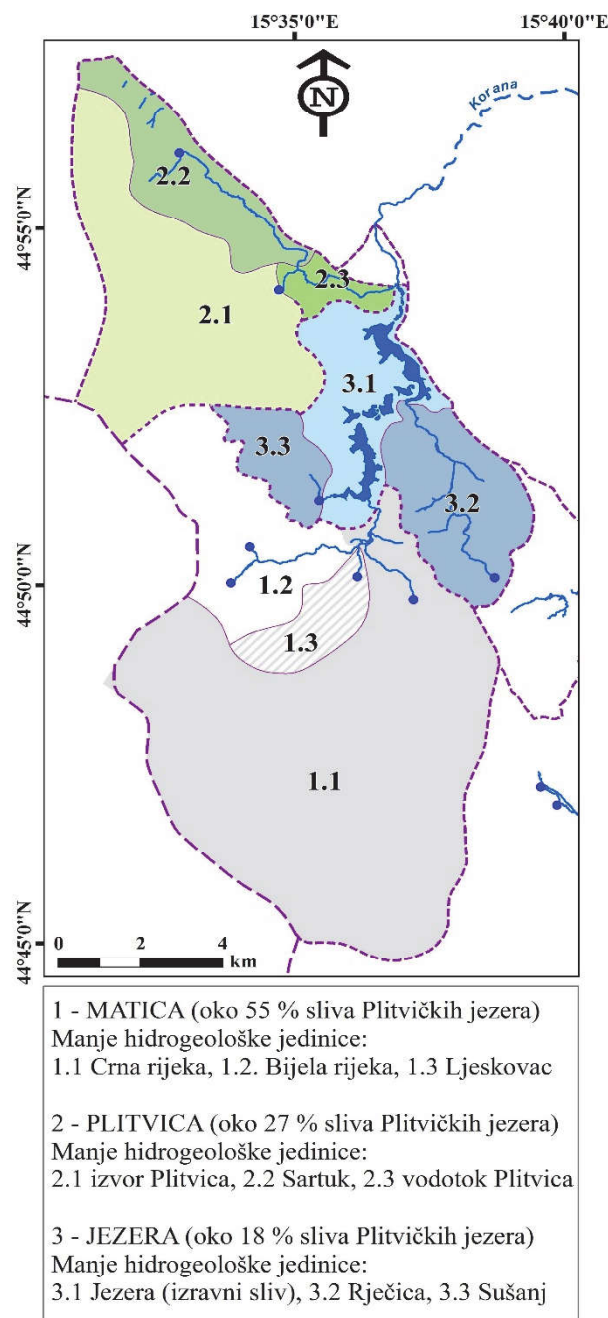
Područje Plitvičkih jezera je dio je krškog područja Dinarida u kojemu su vodni sustavi vezani za procese okršavanja karbonatnih stijena mezozojske starosti. Ovo je područje do sada nekoliko puta geološki obrađivano. Za opis geoloških prilika na promatranom području korišteni su podaci geoloških istraživanja koji su objavljeni u sklopu izrade Osnovne geološke karte i prikazani u mjerilu 1 : 100 000 na listu Bihać (Polšak et al. 1967) i listu Otočac (Velić et al. 1970) te podaci koje je geološki prikazao Polšak (1969) na Geološkoj karti Plitvičkih jezera u mjerilu 1 : 50 000.

Hidrogeološke značajke i procjene vodopropusnosti stijena određene su prema strukturnim značajkama i litološkom sastavu kao i prema podacima prikupljenima na terenu, a koji su se odnosili na stupanj deformacije pojedinih vrsta stijena i procjeni njihove okršenosti (Biondić et al. 2008; Meški 2011). Na promatranom području su izdvojene dobro vodopropusne, osrednje vodopropusne te slabo vodopropusne karbonatne stijene, kao i naslage promjenjivih vodopropusnih svojstava i u cjelini vodonepropusne klastične stijene.

Sliv Plitvičkih jezera pripada crnomorskom slivu i smješten je u graničnome području prema slivu Jadranskog mora. Granice sliva su određene prijašnjim hidrogeološkim istraživanjima (Biondić et al. 2008), a novija hidrogeološka, hidrološka i hidrogeokemijska istraživanja pokazuju da se sliv Plitvičkih jezera može podijeliti na tri osnovna podsliva: Maticu, Jezera i Plitvicu (Meški 2011; Meški et al. 2014, 2016) (slika 2). Prostorno gledajući, podsliv Plitvica obuhvaća 27 % ukupne površine sliva Plitvičkih jezera. Istraživanja su osim toga ukazala i na činjenicu da se unutar podsliva Plitvica mogu dodatno izdvojiti i područja koja se izravno dreniraju prema izvoru Plitvice te područja koja izravno dreniraju vodotok Sartuk odnosno vodotok Plitvica (Meški et al. 2014).

Promatrani izvor Plitvice, vodotok Plitvica i vodotok Sartuk hidrološki pripadaju istom podslivu Plitvica, jer sve

vode gravitiraju području Sastavaka gdje se spajaju s vodama koje dotječu Plitvičkim jezerima (slika 3).

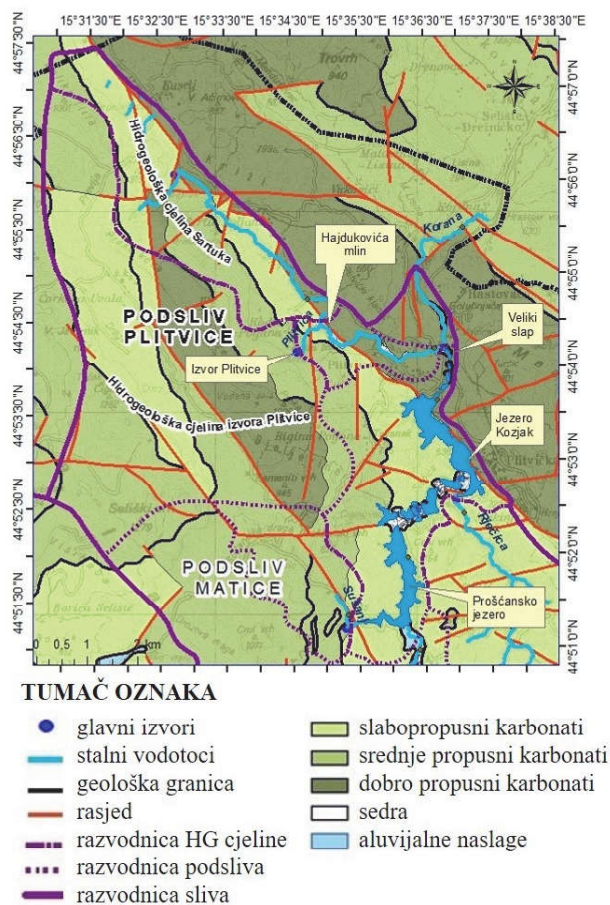


Slika 2. Podjela sliva Plitvičkih jezera na manje podslivove (Meški et al. 2016)

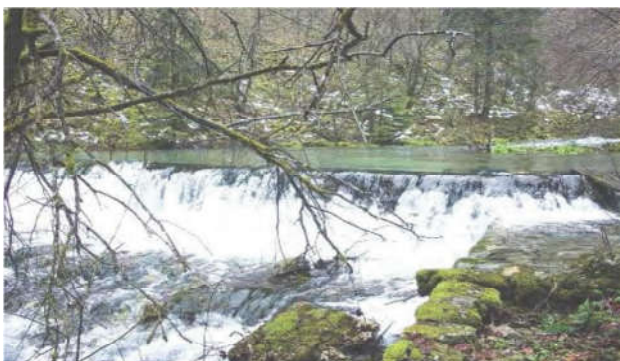
Drenažno područje izvora Plitvice zauzima površinu od oko 28 km<sup>2</sup> na sjeverozapadnom dijelu sliva Plitvičkih jezera, a izgrađeno je od naslaga donjokredne i dogerske starosti koje čine vapnenci koji su ovdje glavni vodonosnici. Uzlaznim krški izvor Plitvica usječen je u vapnence lijaske starosti. Područje izvora Plitvice na zapadu graniči sa slivom Ličke Jasenice, na sjeveru s drenažnim područjem Sartuka, a u istočnome dijelu s podslivom Jezera. U južnome dijelu ova cjelina graniči s podslivom Maticu (slika 3).

Područje vodotoka Plitvice proteže se od izvora Plitvice (slika 4) do Velikog slapa i ustvari obuhvaća izravni sliv ovog vodotoka, s tim što se u njega dodatno

ulijeva i vodotok Sartuk. S hidrogeološkom cjelinom izvora Plitvice čini jedinstvenu cjelinu, no važno ju je izdvojiti zbog specifičnih problema gubitka vode.



Slika 3. Hidrogeološka karta područja vodotoka Plitvice (modificirano prema Meški 2011)



Slika 4. Izvor Plitvice (Meški 2011)

Vodotok Plitvica u svom 4 km dugom toku protječe kroz stijene različitih hidrogeoloških svojstava (slika 3). Vodotok započinje izdašnim krškim izvorom i prvih 500 m toka teče kroz osrednje vodopropusne karbonate jurske starosti. Nakon toga protječe preko slabo vodopropusnih dolomita gornjotrijaske starosti, a oko 900 m nizvodno od izvora Plitvice u njega utječe vodotok Sartuk. Nakon toga je protok vodotoka Plitvica stabilan. Kada se otprilike dva kilometra nizvodno od izvora Plitvice vode vodotoka Plitvica počnu prelijevati iz područja slabo vodopropusnih

dolomita u područje izgrađeno od dobro vodopropusnih stijena gornjokredne starosti, tada započinju poniranja i smanjenje protoka u vodotoku Plitvica.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da sedra ima značajnu ulogu kada je u pitanju gubitak vode iz vodotoka Plitvica (Biondić et al. 2008). Sedra očito ima pozitivnu hidrogeološku funkciju povećanja vododrživosti duž cijeloga korita vodotoka, no unatoč te pozitivne funkcije, zbog velikog sedrenja na nekim mjestima dolazi do izdizanja čitavog korita te se tamo voda izljevaju u livade s vrtačama i sufozijama što doprinosi najznačajnijem gubitku vode vodotoka Plitvice. Jedna od takvih zona poniranja je depresija s desne strane vodotoka nakon Hajduković mlina (slika 5A) te područje Gabrića livade (slika 5B). Takvim tokom vodotok Plitvica stvara nova jezera.



Slika 5. Mjesta s najvećim gubicima vode: (A) Hajdukovića mlin, (B) Gabrića livada (Meški 2011)



Slika 6. Vodotok Sartuk (Meški 2011)

Hidrogeološka cjelina vodotoka Sartuk (slika 2) smještena je na sjevernom dijelu sliva Plitvičkih jezera i obuhvaća područje koje drenira vodotok Sartuk (slika 6).

Ovo je vodotok s malim prinosom vode, a čine ga nekoliko malih izvora s područja slabo vodopropusnih dolomita trijasko starosti. Vodotok se proteže od područja Kuselja jugoistočno prema vodotoku Plitvica. Razvodnica ove cjeline je postavljena temeljem topografije i geološke građe terena; dijelom je površinska, a dijelom je paralelno kontaktu slabije vodopropusnih karbonatnih stijena lijaske starosti i dobro vodopropusnih stijena dogerske starosti.

### 3.2. Analiza protoka na vodotoku Plitvice

Hidrološka mjerenja na vodotoku Plitvica neposredno prije Velikoga slapa kao i na vodotoku Sartuk započela su 1979. godine uspostavljanjem vodomjernih postaje, s tim da se protoci na njima određuju od 1980. godine.

U radu su obrađeni hidrološki podaci dobiveni od strane DHMZ-a (2014), a koji obuhvaćaju razdoblje od 2001. do 2012. godine za protoke vodotoka Plitvice u profilu vodomjerne postaje Plitvica most (44°54'14" s.g.š., 15°36'39" i.g.d., 515 m n.m.) te vodotoka Sartuk u profilu vodomjerne postaje Sartuk – Rodić Poljana (44°54'48" s.g.š., 15°34'40" i.g.d., 625 m n.m.). Za vrijeme Domovinskog rata nisu rađena mjerenja na ovim vodotocima tako da za razdoblje od 1991. do 1995. godine ne postoje nikakvi podaci. Ciljevi analize protoka na vodotoku Plitvici bili su identifikacija veličine gubitaka vode u vodotoku, ali i usporedba dobivenih vrijednosti s prijašnjim razdobljem analize od 1981. do 1990. godine čije su vrijednosti preuzete iz ranijih istraživanja (Meški 2011).

Gubici vode duž vodotoka Plitvica u ljetnim sušnim razdobljima zapaženi su odmah nakon uspostave prvih hidroloških mjerenja 1979. godine. Zbog toga su se u razdoblju do 1987. dodatno provodila simultana mjerenja u različitim hidrološkim uvjetima na pet profila duž vodotoka Plitvice kako bi se identificirala mjesta najvećih gubitaka duž korita vodotoka Plitvice. Mjerenje protoka je organizirano na sljedećim mjestima (Sumina 1988): Rodić Poljana (područje nakon spoja sa Sartukom), kod Hajdukovića pilane, na Biginoj poljani (područje između Hajdukovića pilane i Velikog slapa) i na Plitvica mostu.

Vodotok Plitvica od početka hidroloških mjerenja do sada nikada nije presušio. Međutim, protoci koji su određivani duž vodotoka Plitvice ukazali su na to da je količina vode koja istječe na izvoru Plitvice mnogo veća od one koja je izmjerena na kraju vodotoka na vodomjernoj postaji Plitvica most. Ove razlike su pogotovo dobro bile izražene tokom sušnih razdoblja.

### 3.3. Hidrokemijske analize

Kako bi se okarakterizirao hidrokemijski sastav, odredile kemijske promjene u vodnom sustavu te uočili mogući antropogeni utjecaji na kvalitetu vode radile su se hidrokemijske i izotopne analize voda na vodotoku Plitvica. Sustavna terenska mjerenja fizikalno-kemijskih pokazatelja vode (temperature vode, pH, elektrolitičke vodljivosti, koncentracije otopljenog kisika), kao i uzimanje uzoraka vode za kemijske i izotopne analize započela su 2005. godine, a završila krajem 2008. godine (Biondić et al. 2008). U 2006. godini uzimanje uzoraka

vode i terenska mjerenja obavljana su jednom mjesečno dok su u 2007. godini ona obavljana svaka dva mjeseca.

Prema prikupljenim podacima za izvor i vodotok Plitvica bilo je potrebno napraviti usporedbu mjerenih podataka i analizirati dobivene podatke. Uz fizikalne pokazatelje određivane su koncentracije  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  te koncentracije ukupno otopljenih tvari u vodi (TDS).

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Sedrene barijere na vodotoku Plitvice

Hidrogeološka analiza istraživanog područja je pokazala da na istraživanom području prevladavaju vapnenci i dolomiti, ali da je ipak najznačajnija pojava na Plitvičkim jezerima proces stvaranja sedre. Sedra se na području Plitvičkih jezera pojavljuje svugdje gdje postoje povoljni hidrokemijski i biološki uvjeti za njen nastanak. Radi se o šupljikavom i poroznom sedimentu koji nastaje inkrustacijom mahovina, cijanobakterija i biljnih ostataka izlučivanjem  $\text{CaCO}_3$  iz vode. Izlučivanje sedre je najintenzivnije u uskom području jezerskog sustava gdje se formira na mjestima sedrenih barijera preko kojih se voda prelijevanja iz jezera u jezero. Također je utvrđeno da je brzina rasta sedrenih barijera različita te kada nizvodna barijera raste brže, jezero može potopiti uzvodnu barijeru. Na taj način nastaje prostorno i vremenski vrlo dinamičan i vrlo promjenjiv jezerski sustav.

Samo taloženje sedre je rezultat djelovanja dva procesa. Jedan je anorgansko otpuštanje  $\text{CO}_2$  iz vode zbog zagrijavanja ili uslijed pada tlaka pri povećanoj turbulenciji vode, a drugi je organsko uklanjanje  $\text{CO}_2$  iz vode biološkim fotosintetskim procesima vodenih biljaka, algi i cijanobakterija.

Dosadašnja istraživanja sedre na području Plitvičkih jezera pokazale su rast sedre u geološkoj prošlosti i recentnom vremenu, odnosno kontinuirani proces sedrenja u posljednjih 7000 godina u današnjim tokovima i jezerima. Dobivena starost starih sedrenih naslaga poklapaju se s razdobljima interglacijala Riss/Würm i Mindel/Riss, odnosno da je taloženje sedre bilo intenzivnije u toplijim klimatskim periodima (interglacijalima) (Srdoč et al. 1985; Horvatinić 1985; Srdoč et al. 1986).

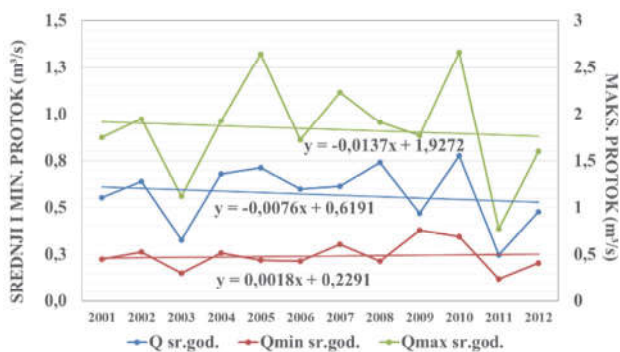
### 4.2. Rezultati analize protoka na Plitvici i Sartuku

Obrađeni vremenski niz minimalnih godišnjih protoka vodotoka Plitvice na vodomjernoj postaji Plitvica most u razdoblju od 2001 do 2012. (Marčiuš 2014) pokazuje da je prosječni minimalni godišnji protok iznosio  $0,063 \text{ m}^3/\text{s}$  uz koeficijent varijacije 0,33 (slika 7). U razdoblju od 1981. do 1990. godine prosječni minimalni godišnji protok Plitvice iznosio je  $0,098 \text{ m}^3/\text{s}$ , uz koeficijent varijacije 0,59 (Meški 2011).

Ako se uspoređi razdoblje mjerenja od 1981. do 1990. godine s razdobljem od 2001. do 2012. godine može se uočiti smanjenje prosječnih minimalnih protoka za 35 %. Međutim, pogreške koeficijenta varijacije oba niza su veće

od 10 % tako da dobivene vrijednosti treba uzeti samo kao orijentacijske jer su dobivene na osnovi prekratkih nizova.

Vremenski niz maksimalnih godišnjih protoka vodotoka Plitvice u profilu vodomjerne postaje Plitvica most u razdoblju od 2001. do 2012. godine (Marciuš 2014) pokazuje da je prosječni maksimalni godišnji protok za cijelo (nehomogeno) razdoblje opažanja od 2001. do 2012. godine iznosio 4,58 m<sup>3</sup>/s, s tim da je zabilježen negativan linearni trend, s prosječnim godišnjim smanjenjem protoka za 0,0137 m<sup>3</sup>/s (slika 7).



Slika 7. Vremenski nizovi godišnjih protoka vodotoka Plitvice u profilu v.p. Plitvica most od 2001. do 2012.

Usporedbom razdoblja do 1990. godine i onoga nakon uočava se smanjenje prosječnih maksimalnih protoka vodotoka Plitvice u profilu Plitvica most za otprilike 29,2 %.

Vremenski niz srednjih godišnjih protoka ima negativan linearni trend s prosječnim godišnjim smanjenjem protoka za 0,008 m<sup>3</sup>/s. Prosječni srednji godišnji protok u razdoblju od 2001. do 2012. je iznosio 0,570 m<sup>3</sup>/s; najmanji srednji protok je bio 2011. (0,119 m<sup>3</sup>/s), a najveći 2009. (0,374 m<sup>3</sup>/s) i 2010. godine (0,343 m<sup>3</sup>/s).

Zanimljivo je spomenuti da je prosječni maksimum u tom razdoblju bio 4,27 m<sup>3</sup>/s dok je najmanji protok bio u rujnu i listopadu 2011. godine i iznosio je svega 0,006 m<sup>3</sup>/s. Cijeli homogeni vremenski niz minimalnih godišnjih protoka ima pozitivan linearni trend, s prosječnim godišnjim povećanjem protoka za oko 0,002 m<sup>3</sup>/s (slika 7).

Osim analize vremenskih nizova minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka napravljena je i analiza karakterističnih mjesečnih protoka kako bi se dobile vrijednosti unutar godišnje raspodjele malih, srednjih i velikih voda vodotoka Plitvice u promatranom razdoblju od 2001. do 2012. godine.

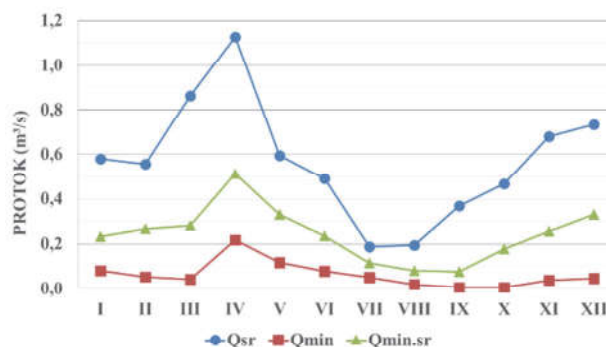
Prosječni minimalni godišnji protok u razdoblju od 2001. do 2012. godine iznosio je 0,063 m<sup>3</sup>/s (slika 8). Usporedbom s razdobljem od 1981. do 1990. godine, kada je protok iznosio 0,098 m<sup>3</sup>/s (Meški 2011), uočava se smanjenje prosječnih minimalnih protoka u profilu vodomjerne postaje Plitvica most za 42 %.

Maksimalni protoci vezani su za proljeće, odnosno za ožujak i travanj zbog topljenja snijega, kao i za jesen kada započinju kišna razdoblja. Srednji maksimumi protoka u travnju su iznosili oko 1,15 m<sup>3</sup>/s, dok je u srpnju to bilo svega 0,187 m<sup>3</sup>/s (slika 9). U razdoblju od 2001. do 2012. godine vodotok Plitvica je u prosjeku bio najbogatiji

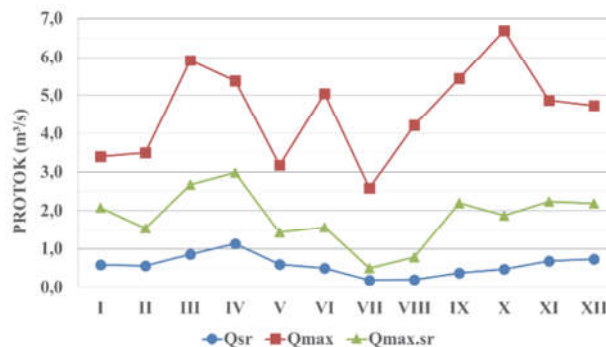
vodom u travnju, prosječno 2,98 m<sup>3</sup>/s, a najmanje vode je bilo u kolovozu, prosječno 0,077 m<sup>3</sup>/s.

Jedini prtok vodotoka Plitvice je već spomenuti vodotok Sartuk koji se ulijeva s lijeve strane otprilike 900 m nizvodno od izvora Plitvice.

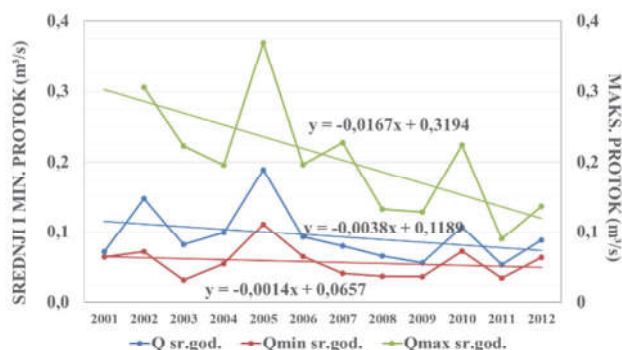
Srednji godišnji protok Sartuka za cijelo homogeno razdoblje opažanja od 2001. do 2012. godine iznosio je 0,096 m<sup>3</sup>/s, s tim da su najmanji srednji protoci bili 2011. (0,053 m<sup>3</sup>/s) i 2009. godine (0,056 m<sup>3</sup>/s), a najveći 2005. (0,189 m<sup>3</sup>/s). Vremenski niz cijelog promatranog razdoblja ima trend smanjenja srednjih protoka za 0,004 m<sup>3</sup>/s (slika 10).



Slika 8. Karakteristični mjesečni protoci srednjih i malih voda vodotoka Plitvice od 2001. do 2012.



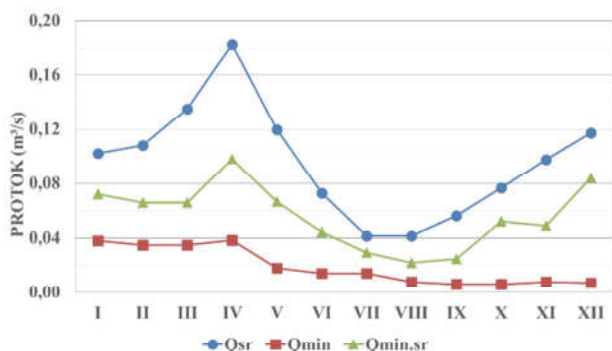
Slika 9. Karakteristični mjesečni protoci srednjih i velikih voda vodotoka Plitvice od 2001. do 2012.



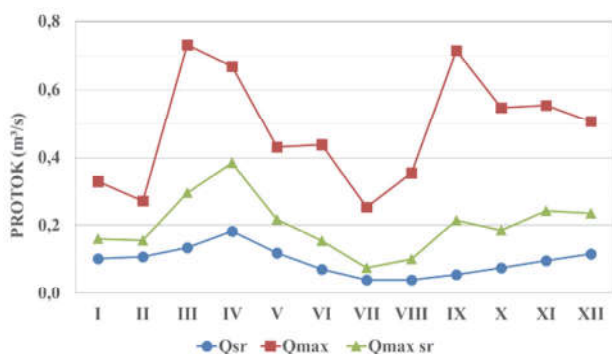
Slika 10. Vremenski nizovi godišnjih protoka vodotoka Sartuk u profilu v.p. Rodić Poljana od 2001. do 2012.

Prosječni minimalni godišnji protok za razdoblje opažanja od 2001. do 2012. godine iznosio je 0,08 m<sup>3</sup>/s, dok su najmanji minimalni protoci bili tijekom listopada 2009. i rujna 2011. te su iznosili 0,006 m<sup>3</sup>/s (slika 11).

Vodotok Sartuk je u prosjeku najbogatiji vodom u travnju (prosječno 0,182 m<sup>3</sup>/s), a najmanje vode ima u kolovozu, prosječno 0,042 m<sup>3</sup>/s (slika 11). Maksimalni protoci su bili u razdoblju od ožujka do svibnja, i u rujnu, s time da je maksimalni protok zabilježen u ožujku 2005. i iznosio je 0,731 m<sup>3</sup>/s (slika 12).



Slika 11. Karakteristični mjesečni protoci srednjih i malih voda vodotoka Sartuk od 2001. do 2012.



Slika 12. Karakteristični mjesečni protoci srednjih i velikih voda vodotoka Sartuk od 2001. do 2012.

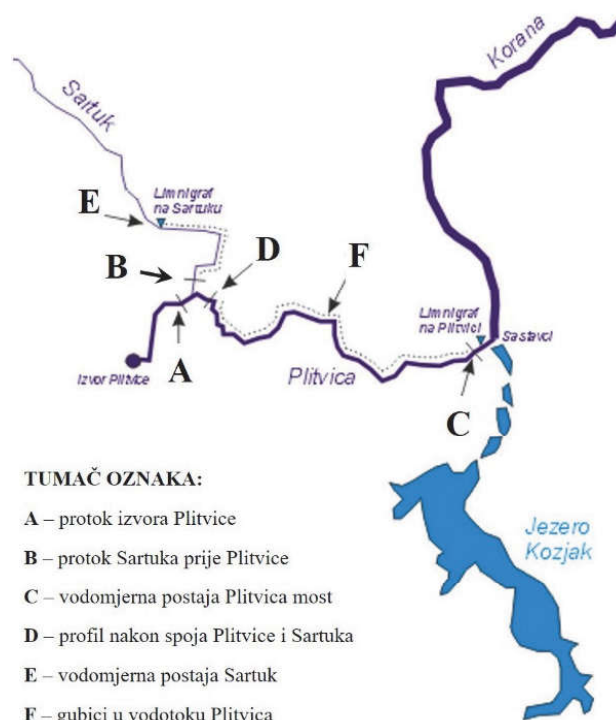
#### 4.2. Gubici vode duž vodotoka Plitvice i procjena istjecanja na izvoru Plitvice

Za daljnju analizu protoka bilo je neophodno izračunati, odnosno procijeniti izdašnost samog izvora Plitvice. S obzirom da su na raspolaganju samo podaci o protocima vodotoka Plitvice s vodomjerne postaje Plitvica most koja se nalazi iznad Velikog slapa, i podaci o protocima vodotoka Sartuk s vodomjerne postaje Sartuk-Rodić Poljana, dodatni problem u ovoj procjeni predstavlja činjenica da su duž vodotoka Plitvice usprkos višestrukim mjerenjima potvrđeni gubici vode čija je točna vrijednost i dalje nepoznata (slika 13).

S obzirom da su dobivene dobre korelacije protoka izmjerenih nakon spoja Plitvice i Sartuka (slika 13, D) i protoka na Plitvici prije Velikoga slapa (slika 13, C), te protoka izmjerenih na limnigrafu vodotoka Sartuk (slika 13, E) i protoka izmjerenih prije njegovog utoka u Plitvicu (slika 13, B) bilo je moguće primijeniti jednadžbe linearne regresije (Meaški 2011) (slika 14).

Usporedbom protoka na vodotoku Plitvica i na vodotoku Sartuk u razdoblju od 1981. do 2008. godine te prema korelaciji podataka i uz pomoć jednadžbe linearne regresije (slika 14) dobivene su vrijednosti potrebne za

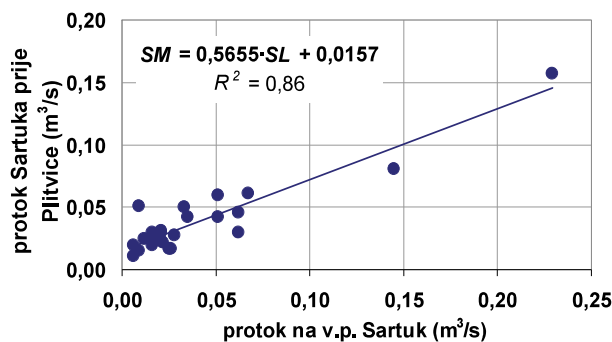
izračun izdašnosti izvora Plitvice. Izdašnost izvora Plitvice je razlika protoka Plitvice i Sartuka (0,819 m<sup>3</sup>/s) i protoka vodotoka Sartuk prije utoka u Plitvicu (0,069 m<sup>3</sup>/s), a u razdoblju od 2001. do 2012. godine to iznosi prosječno oko 0,754 m<sup>3</sup>/s (Marciuš 2014).



TUMAČ OZNAKA:

- A – protok izvora Plitvice
- B – protok Sartuka prije Plitvice
- C – vodomjerna postaja Plitvica most
- D – profil nakon spoja Plitvice i Sartuka
- E – vodomjerna postaja Sartuk
- F – gubici u vodotoku Plitvica

Slika 13. Skica mjernih točaka za proračun gubitaka na vodotoku Plitvice

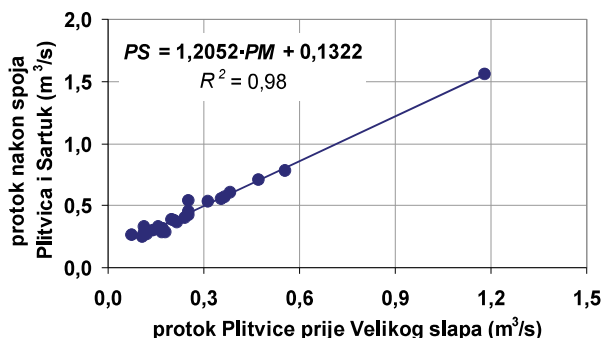


Oznake:  
 PS – protok na Plitvici izmjeren nakon spoja Plitvice i Sartuka (m<sup>3</sup>/s);  
 PM – protok na Plitvici izmjeren prije Velikoga slapa (m<sup>3</sup>/s);  
 SM – protok na Sartuku izmjeren prije utoka u Plitvicu (m<sup>3</sup>/s);  
 SL – protok u profilu v.p. Sartuk (m<sup>3</sup>/s); R2 – koeficijent determinacije

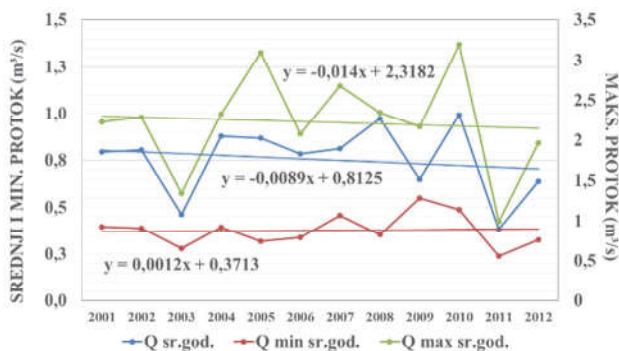
Srednji godišnji protok za cijelo razdoblje opažanja od 2001. do 2012. godine iznosio je prema ovakvoj procjeni 0,754 m<sup>3</sup>/s, s tim da su najmanji srednji protoci bili 2003. (0,464 m<sup>3</sup>/s) i 2011. godine (0,385 m<sup>3</sup>/s), a najveći 2005. (3,19 m<sup>3</sup>/s). Vremenski niz cijelog promatranog razdoblja ima trend smanjenja protoka od 0,009 m<sup>3</sup>/s (slika 15).

Prosječni procijenjeni minimalni godišnji protok za razdoblje opažanja od 2001. do 2012. godine iznosio je 0,378 m<sup>3</sup>/s, s tim da su najmanji procijenjeni minimalni protoci bili tijekom 2003. s protokom od 0,281 m<sup>3</sup>/s i 2011. s protokom od 0,241 m<sup>3</sup>/s (slika 16). Usporedbom

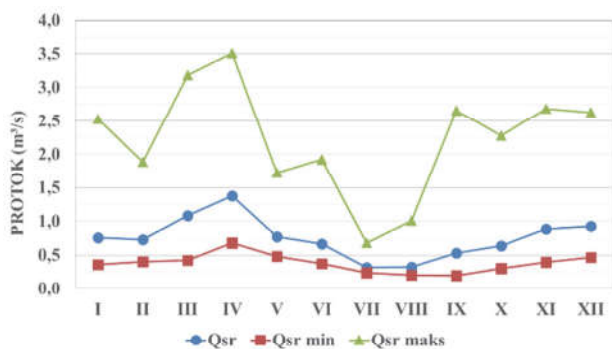
izdašnosti izvora za razdoblje od 1981. do 2008. godine koji je tada iznosio 0,853 m<sup>3</sup>/s (Meaški 2011) i ovog u razdoblju od 2001. do 2012. godine dolazi se do značajnog smanjenja protoka na izvoru Plitvice, a koji otprilike iznosi 0,100 m<sup>3</sup>/s. Time se može zaključiti da u promatranom razdoblju postoji pad izdašnosti na izvoru što doprinosi smanjenju protoka iznad Velikog slapa.



Slika 14. Korelacije protoka na vodotoku Plitvica i vodotoku Sartuk (Meaški 2011)



Slika 15. Vremenski nizovi procijenjenih godišnjih protoka izvora Plitvice od 2001. do 2012. godine

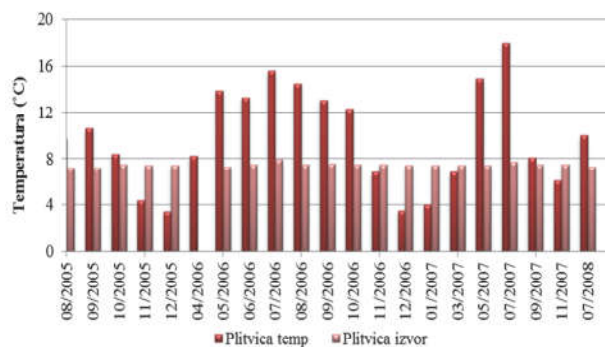


Slika 16. Karakteristični procijenjeni mjesečni protoci na izvoru Plitvice od 2001. do 2012. godine

#### 4.2. Rezultati hidrokemijskih analiza

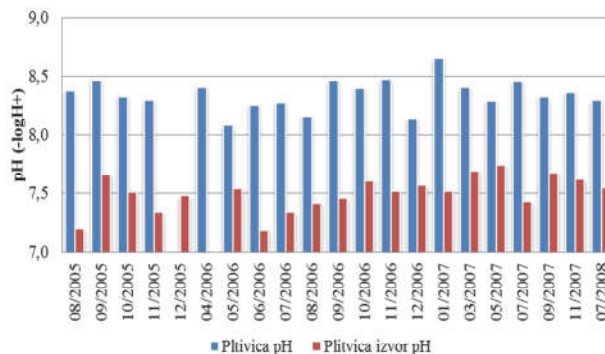
Temperatura vode na izvoru Plitvice konstantna je tijekom cijele godine i kreće se oko 7,5 °C, a vjerojatni razlog je dobro miješanje vode u podzemlju. S druge strane, temperatura potoka Plitvice varira tijekom godišnjih doba odnosno u ljetnim mjesecima voda ima

povećanu temperaturu zbog zagrijavanja, a u zimskim mjesecima je temperatura niža zbog površinskog toka vodotoka Plitvice. Prosječna temperatura mjerena iznad Velikog slapa kreće u rasponu od 3 °C zimi do 18 °C ljeti (slika 17).



Slika 17. Temperaturne razlike na izvoru Plitvica i vodotoku Plitvica u razdoblju od 2005. do 2008.

Zbog zagrijavanja vode dolazi i do otplinjavanja CO<sub>2</sub> u atmosferu te dolazi do smanjenja kiselosti i postupnog izlučivanja kalcijevog karbonata iz vode, što ima za posljedicu pretvaranje potoka Plitvice u sedrenu rijeku (Barešić et al. 2009). Općenito su pH vrijednost vodotoka Plitvice znatno povišena u odnosu na pH izvora Plitvice što je i jedan od uvjeta nastajanja sedre (slika 18).

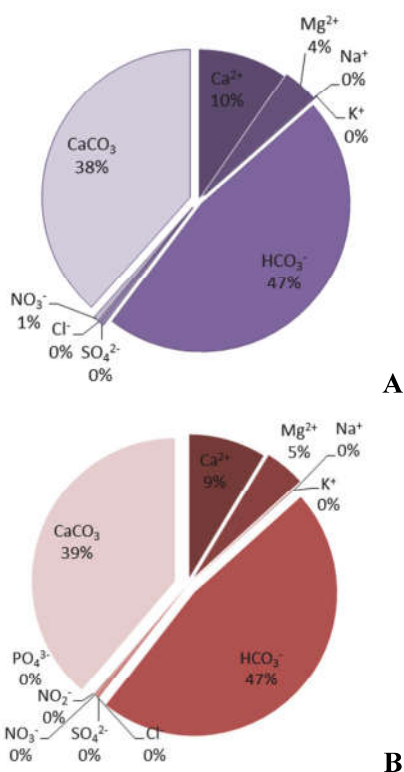


Slika 18. Prikaz pH vrijednosti na vodotoku Plitvice i izvoru Plitvice u razdoblju od 2005. do 2008.

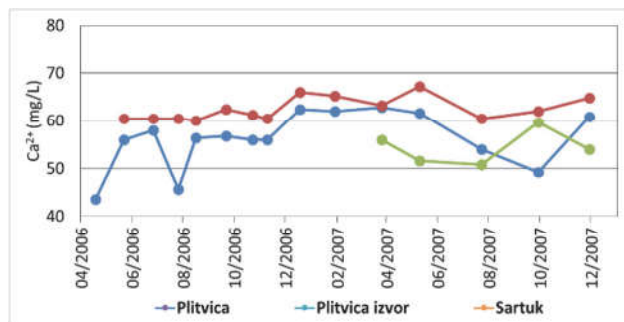
Koncentracija Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iona u vodama općenito je niska i zajedno čine svega 1 % ukupnoga kemijskog sastava vode. No ipak, postoje svojevrsne razlike među vodama koje se mogu zapaziti i koje iako male mogu upućivati na drugačiju građu pojedinih dijelova sliva, na drugačije pokrovne naslage i na mogući antropogeni utjecaj (slika 19 A, B).

Sadržaj Ca<sup>2+</sup> iona pokazuje kontinuirani pad koncentracije duž sustava Plitvička jezera od izvorišne zone do mjesta istjecanja vode iz sustava. Pad koncentracije kalcijevih iona u vodi prvenstveno je posljedica taloženja sedre. Situacija je slična i sa vodotokom Plitvica jer je u promatranom razdoblju na izvoru Plitvice prosječna vrijednost sadržaja Ca<sup>2+</sup> iona u vodi 63 mg/L, dok je na kraju vodotoka Plitvice sadržaja Ca<sup>2+</sup> iona u vodi približno 56 mg/L (slika 20). Prosječna vrijednost sadržaja Ca<sup>2+</sup> iona u vodi vodotoka Sartuk je bila 55 mg/L.

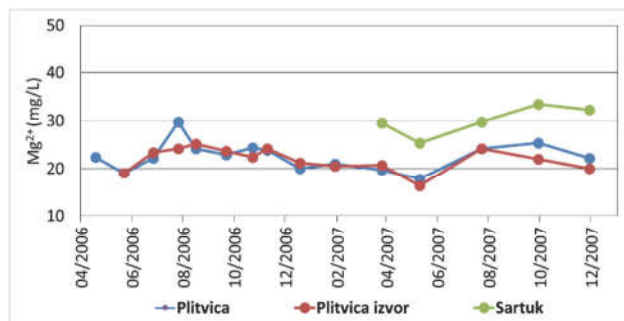




Slika 19. Prosječne vrijednosti udjela glavnih iona na (a) vodotoku Plitvice i (b) vodotoku Sartuk



Slika 20. Koncentracije Ca<sup>2+</sup> iona mjerene na vodotoku Sartuk i na izvoru Plitvice



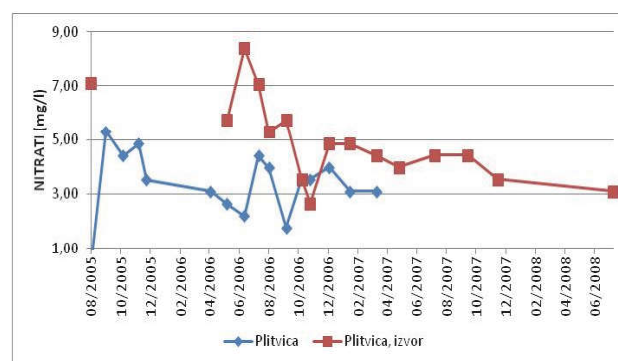
Slika 21. Udio magnezijevih iona na vodotoku Plitvice, izvoru Plitvice i Sartuku

Magnezijevih iona, za razliku od kalcijevih, nema u svim vodama podjednako (slika 21). Do obogaćivanja vode magnezijevim ionima u odnosu na kalcijeve ione dolazi i zbog taloženja sedre duž cijelog jezerskog sustava,

jer zbog manjeg izlučivanja dolomita iz vode u odnosu na izlučivanje kalcita, dolazi do smanjenja koncentracije kalcijevih iona u vodi (Biondić et al. 2008; Meaški 2011).

Na vodotoku Sartuk najviše izmjerene koncentracije Mg<sup>2+</sup> iona u promatranom razdoblju su prosječno 30 mg/L dok su na izvoru Plitvice izmjerene koncentracije od 21,5 mg/L. Na kraju vodotoka Plitvice, prije Velikog slapa, Mg<sup>2+</sup> iona u vodi ima oko 22 mg/L (slika 21).

Na području Plitvičkih jezera nema izražajnije poljoprivredne djelatnosti te stoga nema ni fosfata u vodama, s druge strane zabilježene su povišene koncentracije nitrata. U skupinu izvora i vodotoka s povišenim koncentracijama nitrata spada i izvor Plitvice s prosjekom od 4,9 mg/L, ali i 8,4 mg/L u svibnju 2006. čime je dosegnuta i najveća vrijednost nitrata u usporedbi s ostalim izvorima (slika 22). Dobivene koncentracije nitrata su vrlo niske te ukazuju na vrlo mali antropogeni utjecaj na sustav Plitvičkih jezera.



Slika 22. Koncentracije nitrata na vodotoku Plitvice i izvoru Plitvice za razdoblje od 2005. do 2008. godine

### 5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Cilj rada bio je analizirati veličine protoka na vodotoku Plitvice te na temelju protoka vodotoka Plitvice i vodotoka Sartuk pokušati utvrditi veličinu i uzroke gubitaka vode na području od spoja Sartuka i izvora Plitvice do mjerne postaje na Velikom slapu. Uz to je rađena i analiza fizikalno-kemijskih pokazatelja kako bi se potvrdilo pojedine pretpostavke vezane za moguće uzroke gubitaka vode.

Hidrokemijskom analizom je utvrđeno da je temperatura vode na vodotocima konstantna, ali da na nju utječu godišnja doba. Uz temperaturu vode, analizirana je i pH vrijednost koja je nešto povišena na vodotoku Sartuk. Povišena pH vrijednost na Sartuku može biti posljedica donosa kopnenog materijala, tj. ispiranja vapnenca jer taloženje kalcita u obliku mulja i sedri u potpunosti izostaje. Vrijednosti parametara bitnih za taloženje kalcijevog karbonata u obliku jezerskih sedimenata i sedri pokazuju da proces sedrenja na vodotoku Plitvice nije ugrožen.

Vodotok Plitvice započinje krškim izvorom, čije su vode natprosječno bogate kalcijem, ali u vodi ima i sulfata te kalija i nitrata. Očito je riječ o pretežno vapnenačkom vodonosniku s mogućim pojavama sulfatnih minerala. Prisutnost kalija i nitrata upućuje na ispiranje pokrovnoga tla. Pritok Plitvice i vodotok Sartuk s obzirom na osnovne ione Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> imaju kemijski uravnoteženu vodu (slika 19). S obzirom na slivno područje ovog

vodotoka, nešto povišeni kalij može biti i antropogenog porijekla (naselje Kuselj).

Povišeni nitrati u prirodi mogu biti posljedica i prirodnih procesa ili antropogenog porijekla. S obzirom na to da su u slivu Plitvičkih jezera izmjerene male vrijednosti nitrata, vjerojatnije se radi o prirodnim procesima zbog truljenja u neposrednom slivu izvora, jer u slivu nema većih antropogenih izvora onečišćenja. Ove vrijednosti također ukazuju na činjenicu kako i ovdje površinski dio sliva dosta reagira na promjene u hidrološkom režimu, ali su one nešto slabije izražene. Također, takvo ponašanje ukazuje na dulje zadržavanje dijela vode u krškom podzemlju. Važno je primijetiti i opadanja vrijednosti nitrata izmjerenih na izvoru Plitvice i onih izmjerenih na kraju vodotoka Plitvice (slika 22). Time se dolazi do zaključka da izravni sliv Plitvice ne utječe na dodatno povećanje nitrata u vodi, već smanjuje njihovu koncentraciju razrjeđivanjem.

Vodotok Plitvica je u slivu Plitvičkih jezera zasebni vodni sustav, koji se s jezerskim vodama spaja tek na njihovom kraju, u području Sastavaka, gdje započinje tok rijeke Korane. Područje vodotoka Plitvice podijeljeno je na tri hidrogeološke cjeline, cjelinu vodotoka Plitvice, izvora Plitvice i vodotoka Sartuk.

Vodotok Plitvica započinje izdašnim krškim izvorom, smještenim unutar srednje vodopropusnih karbonata jurske starosti, oko 2 km nizvodno od izvora nastavlja tok preko dobro vodopropusnih stijena gornjokredne starosti. Utvrđeno je da je to je ujedno i glavni razlog poniranja te velikih gubitaka vode duž vodotoka na području nakon Kozjačkog rasjeda, posebice u ljetnim mjesecima.

Utvrđeno je da je proces pojave i nastanka sedrenih barijera vrlo dobro vidljiv upravo na vodotoku Plitvice te da ovaj vodotok hidrogeološki gledano ustvari predstavlja umanjeni sustav Plitvičkih jezera (Meški 2011). Naime, na samom početku svog toka vodotok Plitvica ne sedri, iako je izvorska voda prezasićena kalcijevim karbonatom, što je jedna od nužnih uvjeta da bi uopće moglo doći do pojave sedrenja (slika 23).

Početak taloženja sedre i razvoj sedrenih barijera u vodotoku Plitvice je vezan za područje neposredno prije Hajdukovića mlina koje se nalazi otprilike 2 km nizvodno od izvora Plitvice (slika 24).



Slika 23. Gornji tok Plitvice bez sedrenja (Meški 2011)

Već je prijašnjim istraživanjima utvrđeno da su važni faktori u procesu sedrenja brzina vode u rasponu 0,5-3,5 m/s, pH vode iznad 8, smanjena koncentracija otopljenih organske tvari te posredno djelovanje živih organizama (Srdoč et al. 1985). Nakon što su nizvodnije

zadovoljeni ovi fizikalno-kemijskih i biološki uvjeti pojava sedrenja započinje i u vodotoku Plitvice (slika 24).



Slika 24. Prve pojave sedre prije Hajdukovića mlina (Meški 2011)

Nakon Hajdukovića mlina proces sedrenja je stalan i za sada neprekinut, a na nekim mjestima i toliko velik da izdiže cijelo korito te dolazi do izlivanja vode u susjedne livade s vrtačama i sufozijama, gdje se za vrijeme sušnih razdoblja u podzemlje gubi najveći dio vode vodotoka Plitvica (slika 5).

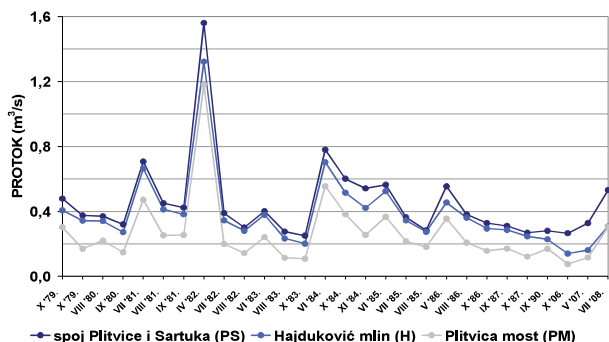
Zanimljivo je napomenuti da je glavni prtok vodotoka Plitvice - vodotok Sartuk nekada sedrio, ali danas to više nije slučaj. Kao glavni razlog se navodi povećana količina otopljenih organskih tvari što je dokazano inhibitor procesa sedrenja (Srdoč et al. 1985).

Rezultati analize hidroloških podataka pokazali su da su gubici vode od izvora Plitvice do Velikog slapa u razdoblju od 2001. do 2012. godine iznosili 0,250 m<sup>3</sup>/s. S obzirom na izdašnost izvora Plitvice koja je iznosila 0,754 m<sup>3</sup>/s ovakvi gubici su značajni. Temeljem analiza se može zaključiti da su protoci na vodotoku Plitvica most, vodotoku Sartuk i izvoru Plitvice najbogatiji vodom u razdoblju od ožujka do svibnja kao posljedica otapanja snijega, te u rujnu i listopadu zbog jesenskih kiša. Usporedi li se razdoblje promatranja od 1981. do 1990. godine s podacima od 2001. do 2012. godine uočava se smanjenje srednjih godišnjih protoka. Do 90-ih godina prošloga stoljeća manji gubici su zapažani do profila nakon Hajdukovića mlina, a veći gubici između profila nakon Hajdukovića mlina i Velikoga slapa. No mjerenjima u razdoblju od 2001. do 2012. godine uočava se obrnuta raspodjela gubitaka što znači da su se gubici vode povećali na području Hajdukovića mlina, gdje su terenskim istraživanjima i uočena veća izlivanja vode iz korita u okolno vrlo propusno područje. S druge pak strane, gubici između Hajdukovića mlina i Velikoga slapa su nešto smanjeni u odnosu na 90-te i to približno za 0,100 m<sup>3</sup>/s. Vrijednosti dobivenih prosječnih gubitaka vodotoka Plitvice, od spoja sa Sartukom do Velikoga slapa, iznose oko 0,249 m<sup>3</sup>/s. Gubici su dobiveni proračunom razlike protoka nakon spoja Plitvice i Sartuka i protoka na vodomjernoj postaji Plitvica most.

Odnos ovih proračuna vidljiv je i iz prethodnih analiza (slika 25). Profil prije spoja sa Sartukom zbog slabo dolomitnih stijena gotovo je jednak protoku neposredno nakon izvora Plitvice.

Za vrijeme velikih voda gubici nisu toliko zamjetni, no u sušnim razdobljima kada je prosječni minimalni protok 63 L/s, ovakav manjak od gotovo 250 L/s može se lako

zamijetiti. Za razdoblje od 1979. do 2008. prosječni protoci su iznosili 0,857 m<sup>3</sup>/s, a srednji gubitak vode je bio i do 60 %.



Slika 25. Mjereni protoci na karakterističnim profilima na vodotoku Plitvice (Meaški 2011)

Značajno je primijetiti (slika 25) da je protok nakon spoja Plitvice i Sartuka veći od protoka izmjenjenog na vodomjernoj postaji Plitvica most. Na relaciji od spoja Plitvice i Sartuka do Hajdukovića mlina gubici vode su otprilike uvijek jednaki i dosta mali, dok se nakon toga povećavaju zbog spomenutog poniranja na lijevoj obali vodotoka (Biondić et al. 2008; Meaški 2011).

Uzevši u obzir podatke od 2001. do 2012. godine mjerenja na Plitvici pokazala su da je srednji godišnji protok vodotoka Plitvica iznosio 0,570 m<sup>3</sup>/s dok je na vodotoku Sartuk protok bio 0,096 m<sup>3</sup>/s. Hidrološka analiza vodotoka Plitvice na mjerne staciji Plitvica ima koeficijent varijacije 0,27 i pogrešku koeficijenta varijacije 7 %. S obzirom na podatke iz 80-tih godina do danas jasno se mogu uočiti određene promjene u količini i raspodjeli gubitaka vode duž toka Plitvice.

Detaljnijim razmatranjem uočeno je da su se s vremenom gubici povećali. Do 1990. godine oni su iznosili od 30 % do 55 % od ukupnog početnog protoka vodotoka Plitvice, dok su hidrološke analize koje su uzele u obzir mjerenja do 2007. godine pokazale da gubici danas iznose i do 65 % početnog protoka vodotoka Plitvice.

## 6. ZAHVALE

Dobar dio podataka je prikupljen u okviru projekta „Održivo korištenje i zaštita vodnih resursa na području Plitvičkih jezera“, financiranog od strane Nacionalnog parka i Vlade Republike Austrije kroz Competence network "Water resources and their management" u sklopu Joanneum Research instituta iz Graza. Autori se stoga ovom prilikom žele zahvaliti svim suradnicima iz Joanneum Research instituta (Graz, Austrija), znanstveno-stručnog centra „Ivo Pevalak“ (Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera) te Zavoda za hidrotehniku na Geotehničkom fakultetu (Sveučilište u Zagrebu).

## 7. LITERATURA

Babinka, S. (2007): Multi-Tracer Study of Karst Waters and Lake Sediments in Croatia and Bosnia and Herzegovina: Plitvice Lakes National Park and Bihać Area. Doktorska disertacija, Universität Bonn, 168 str., Bonn

Barešić, J. (2009): Primjena izotopnih i geokemijskih metoda u praćenju globalnih i lokalnih promjena u ekološkom sustavu Plitvička jezera. Doktorska disertacija, Fakultet kemijskog inženjstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, 163 str., Zagreb

Biondić, B., Zojer, H., Yehdegho, B., Biondić, R., Kapelj, S., Meaški, H., Zwicker, G. (2008): Održivo korištenje i zaštita vodnih resursa na području Plitvičkih jezera, Završno izvješće. Arhiv Geotehničkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin

Biondić, D., Barbalić, D. (2004): Maksimalni protoci hrvatskih vodotoka crnomorskog sliva. U: Žugaj, R. (ur.): Seminar Velike i male vode, Zbornik radova. Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb

Biondić, R., Meaški, H., Biondić, B. (2016): Hydrogeology of the sinking zone of the Korana River downstream of the Plitvice Lakes, Croatia. Acta carsologica, 45 (1): 43-56.

Božičević, S. (1969): Pećine, jame i ponori s vodom u području dinarskog krša. Krš Jugoslavije, Zagreb

Božičević, S. (1971): Razvoj speleoloških istraživanja dinarskog krša. JAZU – Simpozij o zaštiti prirode u kršu, Zagreb

Božičević, S. (1973): Podzemni svijet Like – Ličke spilje. Poseban otisak iz knjige Lika u prošlosti isadašnjosti. Zbornik, 5, Historijski arhiv u Karlovcu

Božičević, S. (1991): Fenomen krš. Školska knjiga, 104 str., Zagreb

Dešković, I., Marušić, R., Pedišić, M., Sipos, L., Krga, M. (1984): Neki najnoviji rezultati hidrokemijsko-hidroloških istraživanja voda na području Plitvičkih jezera.

Dešković, I., Pedišić, M., Marušić, R., Milenković, V. (1981): Značaj, svrha i neki rezultati hidrokemijskih, hidroloških i sanitarnih istraživanja površinskih i podzemnih voda Nacionalnog parka Plitvička jezera. Vodoprivreda, Beograd

Emili, H. (1958): Hidrobiološka istraživanja na Plitvičkim jezerima. U: Šafar, J. (ur.): Nacionalni park Plitvička jezera, Grafički zavod Hrvatske, Zagreb

Emili, H. (1965): Prilog poznavanju sanitarne vrijednosti izvora i vodotokova u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Plitvički bilten Vodoprivreda 16 Beograd

Franić, D. (1910): Plitvička jezera i njihova okolica, Zagreb

Gavazzi, A. (1904): Geneza Plitvičkih jezera. Naravoslovni glasnik Hrv. prir. društva, God. XV

Gavazzi, A. (1919): Prilozi limnologiji Plitvica. Prirodoslovna istraživanja Hrvatske i Slovenije

Herak, M. (1962): Tektonska osnova hidrogeoloških odnosa u izvornim područjima Kupe i Korane (s Plitvičkim jezerima). Referati V. sav. geol. FNR Jugosl. 3, Beograd

Iveković, H. (1958): Mijenjanje kemijskog sastava vode Plitvičkih jezera. U: Šafar, J. (ur.): Plitvička jezera, Nacionalni park. Grafički zavod Hrvatske, 227-274, Zagreb

Koch, F. (1916): Izvještaj o geološkim odnošajima u opsegu lista Plitvice. Vijesti geol. povj., Zagreb

Koch, F. (1926): Plitvička jezera, Prilog poznavanju tektonike i hidrografije krša. Vijesti Geol. Zavoda, I, Zagreb

Makjanić, B. (1958): Prilog klimatologiji područja Plitvičkih jezera. Nacionalni park Plitvička jezera, Zagreb

Meaški H. (2011): Model zaštite krških vodnih resursa na primjeru Nacionalnog parka „Plitvička jezera“. Doktorski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Marcuš, M. (2014): Hidrogeološke značajke izvora i vodotoka Plitvice na području Plitvičkih jezera. Diplomski rad. Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin

Meaški, H., Biondić, B., Biondić, R. (2014): Delineation of a karst catchment area using several methods – an example of Plitvice Lakes catchment. In: Kukurč, N., Stevanović, Z., Krešić, N.

(eds): Proceedings of International Conference and Field Seminar "Karst Without Boundaries", Trebinje (BiH). DIKTAS Project, 2014. 118-123

Meški, H., Biondić, B., Biondić, R. (2016): Delineation of the Plitvice Lakes karst catchment area, Croatia. In: Stevanović, Zoran ; Krešić, Neven ; Kukurić, Neno (eds.): Karst without Boundaries. International Association of Hydrogeologists - Selected papers. Nizozemska : CRC Press/Balkema; 269-284.

Obelić, B., Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I. (2000): Fizičko-kemijska i izotopna istraživanja vode i sedre u Nacionalnom parku Plitvička jezera. Zbornik radova 50 godina Nacionalnog parka Plitvička jezera. Društvo za zaštitu Plitvičkih jezera, Zagreb

Petrik, M. (1958) Prinosi hidrologiji Plitvica, Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb, Croatia

Pevalek I. (1958): Biodinamika Plitvičkih jezera i njena zaštita, Nacionalni park Plitvička jezera, Zagreb,

Poje, D. (1989): Pregled klimatskih karakteristika Nacionalnog parka Plitvička jezera. Plitvički bilten, br. 2

Polšak, A. (1959): Geološko istraživanje okolice Plitvičkih jezera. Ljetopis JAZU, 63, Zagreb

Polšak, A. (1969): Geološka karta Plitvičkih jezera, M 1 : 50 000. Kartografski laboratorij Geodetskog fakulteta, Arhiv PMF Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Polšak, A., Šparica, M., Crnko, J., Juriša, M. (1967): Osnovna geološka karta SFRJ M 1 : 100 000. List Bihać, L 33-116. Karta i Tumač. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, Zagreb

Ridanović, J. (1976): Hidrogeografske značajke Nacionalnog parka Plitvička jezera. Geografski glasnik, Zagreb

Roglić, J. (1951): Unsko-koranska zaravan i Plitvička jezera - geomorfološka promatranja. Geografski glasnik 13, Zagreb

Roglić, J. (1974): Morfološke posebnosti Nacionalnog parka Plitvička jezera. Plitvička jezera – čovjek i priroda, Zagreb

Srdoč, D., Horvatinčić, N., Obelić, B., Krajcar, I., Sliepčević, A. (1985): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. Krš Jugoslavije 11/4 – 6, JAZU

Srdoč, D., Obelić, B., Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I., Marčenko, E., Merkt, S., Wong, H., Sliepčević, A. (1986): Radiocarbon dating of lake sediments from two karstic lakes in Yugoslavia. Radiocarbon 28,

Srebrenović, D. (1986): Primjenjena hidrologija. Tehnička knjiga, Zagreb

Stilinović, B., Futač, N. (1985): Prilog poznavanju sanitarne vrijednosti vodenih sustava Plitvičkih jezera. Ekologija, vol. 20 (1), Acta Biologica Jugoslavica, Beograd

Stilinović, B., Futač, N. (1989): Prilog poznavanju sanitarne vrijednosti nekih opskrbnih voda i jezera na području Nacionalnog parka Plitvice od 1977. do 1986. godine. Plitvički bilten

Stilinović, B., Habdija, I., Dujmović, A. (2004): Kakvoća vode ekosustava Plitvičkih jezera od godine 1977. do 2003. temeljem bakterioloških analiza. Plitvički bilten

Sumina, P. (1988): Izvještaj o mjerenjima protoke vode na slivu Plitvičkih jezera radi utvrđivanja gubitaka u razdoblju od 1979. do 1988. godine. Arhiv DHMZ, Zagreb

Velić, I., Bahun, S., Sokač, B., Galović, I. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ, M 1 : 100 000, list Otočac, L 33-115. Karta i Tumač. Arhiv Hrvatskog geološkog instituta, Zagreb

Vurnek, M., Brozinčević, A., Bušelić, G., Zwicker Kompar, G., Rubinić, J. (2010): Intra-Annual Dynamics of Water Quality Changes in Plitvice Lakes Spring Zone. U: Morell, M., Popovska, C., Morell, O., Stojov, V (ur.): BALWOIS 2010 Abstracts, May 2010, Ohrid, Macedonia

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Marušić, J., Poje, D. (1986): O klimi Plitvičkih jezera. Plitvički vjesnik, br. 109

Žugaj, R. (2003): Regionalna hidrološka analiza. U: Žugaj, Ranko (ur.): Seminar Praktična hidrologija, Zbornik radova. Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb