

Krški izvor Gradole i značajke njegove vodne bilance

Zaharija, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:084151>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-17**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Karlo Zaharija

KRŠKI IZVOR GRADOLE I ZNAČAJKE NJEGOVE VODNE BILANCE

Završni rad

Rijeka, 2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij
Građevinarstvo
Vodni resursi i sustavi**

**Karlo Zaharija
0114029375**

KRŠKI IZVOR GRADOLE I ZNAČAJKE NJEGOVE VODNE BILANCE

Završni rad

Rijeka, srpanj 2020.

Naziv studija: **Sveučilišni preddiplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema završnog rada

KRŠKI IZVOR GRADOLE I ZNAČAJKE NJEGOVE VODNE BILANCE

KARST SOURCE GRADOLE AND CHARACTERISTICS OF ITS WATER BALANCE

Kandidat: **KARLO ZAHARIJA**

Kolegij: **VODNI RESURSI I SUSTAVI**

Završni rad broj: **20-P-22**

Zadatak:

U radu je potrebno:

- Prikazati opće značajke izvorišta Gradole u dolini Mirne
- Provesti osnovnu hidrološku analizu podataka o protocima s tog izvora
- Dati osvrt na umjetno prihranjivanje vodonosnika toga izvora

Tema rada je uručena: 4. ožujka 2020.

Mentor:

Doc.dr.sc. Josip Rubinić dipl.ing.grad.

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoro uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Karlo Zaharija

U Rijeci, 30. lipnja 2020.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svome mentoru Doc.dr.sc. Josipu Rubiniću, dipl.ing.građ. na stalnoj dostupnosti i strpljenju te stručnome vodstvu tijekom izrade ovoga završnog rada.

Student: Karlo Zaharija

Mentor: Doc.dr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.grad.

Naziv studija: Preddiplomski studij

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Kolegij: Vodni resursi i sustavi

KRŠKI IZVOR GRADOLE I ZNAČAJKE NJEGOVE VODNE BILANCE

Sažetak

Rad obrađuje značajke izvora Gradole u dolini rijeke Mirne, čije su vode zahvaćene za potrebe vodoopskrbe. Sastoji od dva dijela. U prvom dijelu navedene su opće karakteristike izvora Gradole, njegove vodne bilance te njegovo ponašanje u zadnjih 30-ak godina. U drugom dijelu rada provedena je osnovna hidrološka analiza karakterističnih podataka s tog izvora. Izvor Gradole od iznimne je važnosti za vodoopskrbu područja sjeverozapadne Istre jer se radi o najizdašnjem krškom izvorištu u Istri uključenom u vodoopskrbni sustav. Tijekom iznimno sušnih razdoblja vodoopskrbni sustav tog područja je preopterećen te se ne može zadovoljiti sa prirodnim izdašnostima pripadajućih izvora. Tada se crpe statičke vodne rezerve izvora, a iznimno i educira količina potrošnje vode za vodoopskrbu. U ovom se radu daje osvrt na primjer umjetnog prihranjivanja izvora Gradole koje je provedeno vodama iz akumulacije Butoniga prije izgradnje postrojenja za kondicioniranje voda iz akumulacije. Provedne obrade osmotrenih hidroloških podataka dale su trendove kretanja karakterističnih protoka izvora Gradole, kao i predviđanje pojava njihovih ekstremnih vrijednosti.

Ključne riječi

krški izvor, umjetno prihranjivanje, statistička analiza, vodna bilanca, sušna razdoblja

KARST SOURCE GRADOLE AND CHARACTERISTICS OF ITS WATER BALANCE

Summary

The work deals with the characteristics of the Gradole spring in the valley of the Mirna River whose waters have become a part of the water supply. The work consist's of two parts. The first part deals with the general characteristics of the Gradole spring, its water balance and its behaviour during the last thirty years. In the second part of the work the basic hydrologic analysis of typical data from that source has been carried out. The spring is of exceptional importance for the water supply of the northwest Istria because it is the most abundant karst spring in Istria included in the water supply. During the periods of exceptional drought the water supply system of that area is put under a lot of pressure and it is impossible to meet the demand by supplies from other natural resources in its vicinity. In such circumstances spring's static water reserves are usually drained and sometimes the amount of the consumption of water intended for water supply is even reduced. The work is an overview of the artificial recharging of the Gradole spring with waters from the Butoniga Accumulation before the construction of the water conditioning facility. The analysis of the hydrologic data resulted in the detection of trends of movements of characteristic flows of the Gradole spring as well as the prediction of the emergence of their extreme values.

Key words

krast springs, artificial recharging, statistical analysis, water balance, dry periods

POPIS SLIKA

Slika 1. Osnovna geološka građa Istre i njezinog zaleđa s prikazom rezultata važnijih trasiranja i naznakom hidrogeološke funkcije pojedinih geoloških struktura [2].	2
Slika 2. Izvor Gradole – pogled na jezersko oko ispred crpne postaje [3].	3
Slika 3. Ponor Čiže u slivu Marganice [4].	4
Slika 4. Prikaz položaja ponora Čiže i izvora Gradole [5].	4
Slika 5. Prikaz jame Golubnik u slivnom području izvora Gradole [1].	5
Slika 6. Ponor Čiže 1 u vrijeme minimalnog ulijevanja (foto autor)	6
Slika 7. Ponor Čiže 2 u vrijeme kada nema ulijevanja (foto autor).	7
Slika 8. Hod i trend ukupnih godišnjih oborina (mm) registriranih na stanici Pazin u periodu 1985 – 2015. (izradio autor)	13
Slika 9. Unutargodišnji prikaz karakterističnih vrijednosti oborina izraženih (mm) na stanici Pazin u periodu 1985 – 2015. (izradio autor)	14
Slika 10. Prikaz hoda i trendova karakterističnih vrijednosti vodostaja (cm) izvora Gradole u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)	16
Slika 11. Prikaz unutargodišnje raspodjele vodostaja (cm) izvora Gradole u razdoblju od 1995 – 2015. (izradio autor)	17
Slika 12. Hod i trend godišnjih srednjaka količina crpljenja na izvoru Gradole (m ³ /s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)	20
Slika 13. Hod mjesečnih srednjaka crpljenja izvora Gradole (m ³ /s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)	20
Slika 14. Prikaz hoda karakterističnih vrijednosti ukupnih protoka izvora Gradole (m ³ /s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)	22
Slika 15. Unutargodišnji prikaz karakterističnih vrijednosti ukupnih protok izvora Gradole izraženih u m ³ /s. (izradio autor)	23
Slika 16. Gumbelova raspodjela vrijednosti ukupnih godišnjih protoka izvora Gradole (izradio autor):	24
Slika 17. Gumbelova raspodjela vjerojatnosti srednjih godišnjih protoka izvora Gradole (izradio autor):	26
Slika 18. Gumbelova raspodjela vjerojatnosti srednjih godišnjih oborina na stanici Pazin (izradio autor):	27

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz karakterističnih vrijednosti oborina (mm) sa stanice Pazin u periodu 1985 – 2015. godine. (izradio autor)	12
Tablica 2. Nizovi mjesečnih i godišnjih vrijednosti vodostaja (cm) izvora Gradole za period 1995 – 2015. (izradio autor)	15
Tablica 3. Karakteristične vrijednosti mjesečnih i godišnjih preljevnih protoka (m^3/s) izvora Gradole za period 1995 – 2015. (izradio autor)	18
Tablica 4. Karakteristične vrijednosti mjesečnih i godišnjih crpljenja (m^3/s) izvora Gradole za period 1995 – 2015. (izradio autor)	19
Tablica 5. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti ukupnih protoka izvora Gradole (m^3/s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)	22
Tablica 6. Proračun povratnog razdoblja ukupnih godišnjih protoka izvora Gradole prema Gumbelovoj raspodjeli (izradio autor):	24
Tablica 7. Proračun povratnog perioda srednjih godišnjih protoka izvora Gradole (izradio autor):	25
Tablica 8. Proračun povratnih perioda srednjih godišnjih oborina (mm) stanice Pazin (izradio autor):	27

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O IZVORU GRADOLE	2
3. ZNAČAJKE PONORA ČIŽE I PRIHRANJIVANJA IZVORA GRADOLE IZ NJEGA.....	5
3.1. Trasiranje ponora Čiže.....	5
3.2. Trasiranje veze Čiže – Gradole uz umjetno prihranjivanje izvora preko ponora Čiže	10
4. Analiza podataka o oborinskim značajkama u slivu te izdašnosti izvora Gradole.....	12
4.1. Oborine na stanici Pazin	12
4.2. Podaci sa izvora Gradole	15
5. ZAKLJUČAK.....	28
LITERATURA.....	29

1. UVOD

Tema ovog završnog rada je analiza karakteristika krškog izvora Gradole, te njegovo ponašanje i promjene kroz noviju povijest. Prikazani su osnovni podaci o provedenim istraživanjima i radovima koji su izvođeni, a koji su važni za razumjevanje vodnoga režima izvora Gradole ili su na njega utjecali. Izvor Gradole je po pitnju izdašnosti najznačajniji izvor u Istri, pa je stoga odabran kao karakterističan primjer izvorišta vodoopskrbe tog područja.

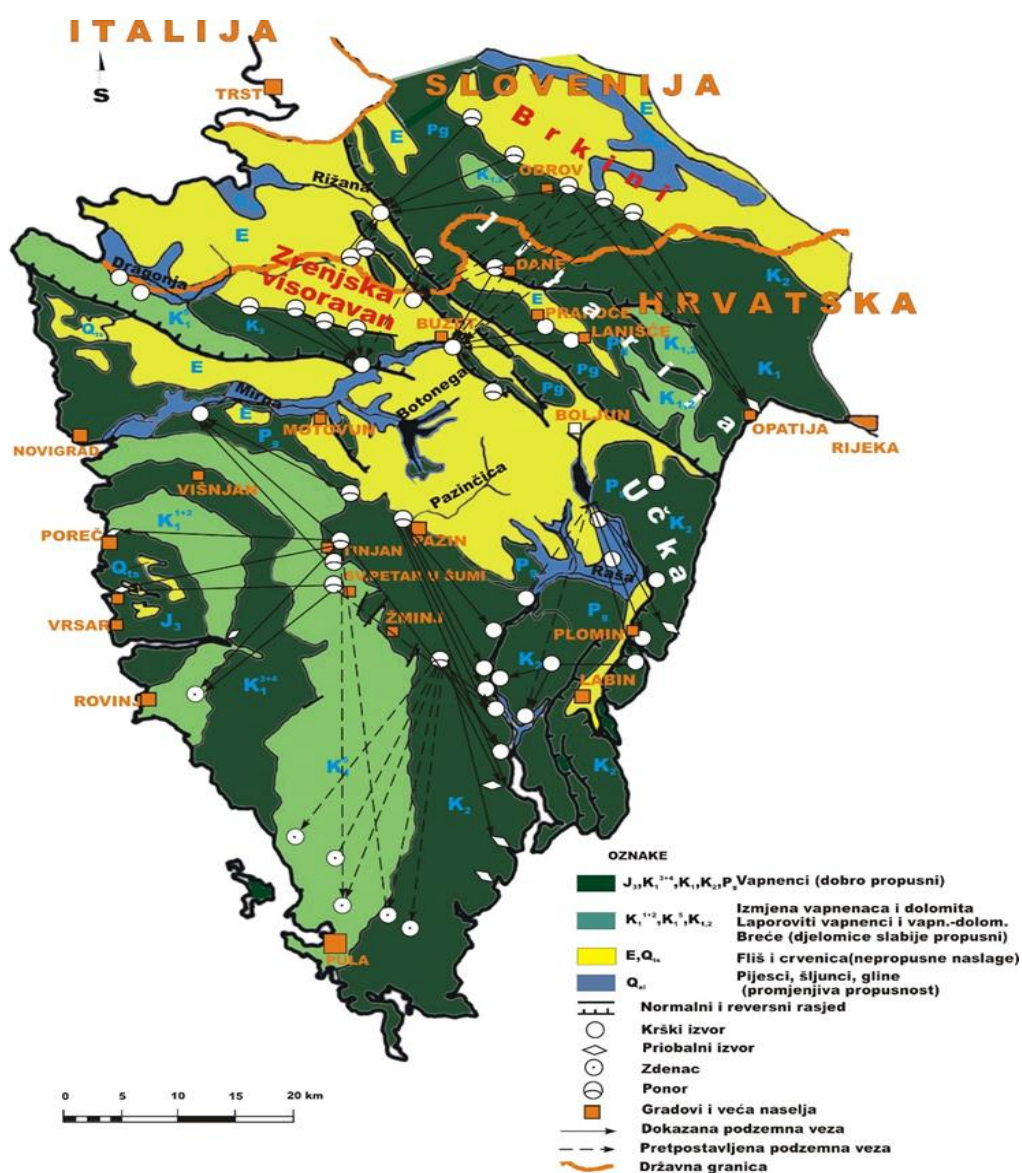
Klimatske promjene rezultirale su sve češćim pojavljivanjem sušnih perioda, kao i periodičnim pojavama velikih voda. Usporedno tome, razvijao se turizam i povećavao broj korisnika vodoopskrbe u ljetnim razdobljima, kada su i raspoložive vodne zalihe najmanje. Tada se javlja veliki pritisak na vodoopskrbni sustav. To je glavna problematika koja se obrađuje u ovom radu. Cilj je pokušati predvidjeti kretanje određenih parametara koji karakteriziraju vodni režim izvora u budućnosti, onih koji su najbitniji čimbenici vodoopskrbnog sustava, te pronaći rješenja za navedeni problem.

Analizom dostupnih podataka, za karakteristične vrijednosti određenih parametara, dobiveni su trendovi i hodovi pomoću kojih su dani bitni zaključci o budućim kretanjima tih vrijednosti. Također, provedene su i analize vjerojatnosti iz čijih rezultata se mogu odrediti i vrijednosti pojedinih parametara koje bi, kao ekstremne hidrološke prilike, mogle potencijalno nastupiti u budućnosti. Dobiveni rezultati mogu se uzeti u obzir i na drugim primjerima krških vodonosnika na Istarskom području.

Struktura rada se sastoji od dvije faze. U prvom dijelu su prikazani i analizirani događaji iz prošlosti vezani za izvor Gradole i njegov sliv, gdje je najkarakterističniji ponor Čiže na ponornici Margamici. U drugom dijelu prikazani su i statistički analizirani podaci vodnog režima, temeljeni na rezultatima prećenja koja provodi Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Rezultati su prikazani u vidu tablica i grafova uz odgovarajući opis i objašnjenja.

2. OPĆENITO O IZVORU GRADOLE

Nalazi se 9,5 km uzvodno od ušća rijeke Mirne. Istječe na kontaktu vodopropusnih karbonatnih naslaga s jedna strane i slabo vodopropusnim kvartarnih naslaga doline Mirne s druge strane (Slika 1). Vrelo pripada krškim izvorima uzlaznog karaktera. Na površini se nalazi izvorišno jezerce nepravilnog oblika koje je formirano erodivnom snagom izvorske vode (Slika 2) [1].



Slika 1. Osnovna geološka građa Istre i njezinog zaleđa s prikazom rezultata važnijih trasiranja i naznakom hidrogeološke funkcije pojedinih geoloških struktura [2].



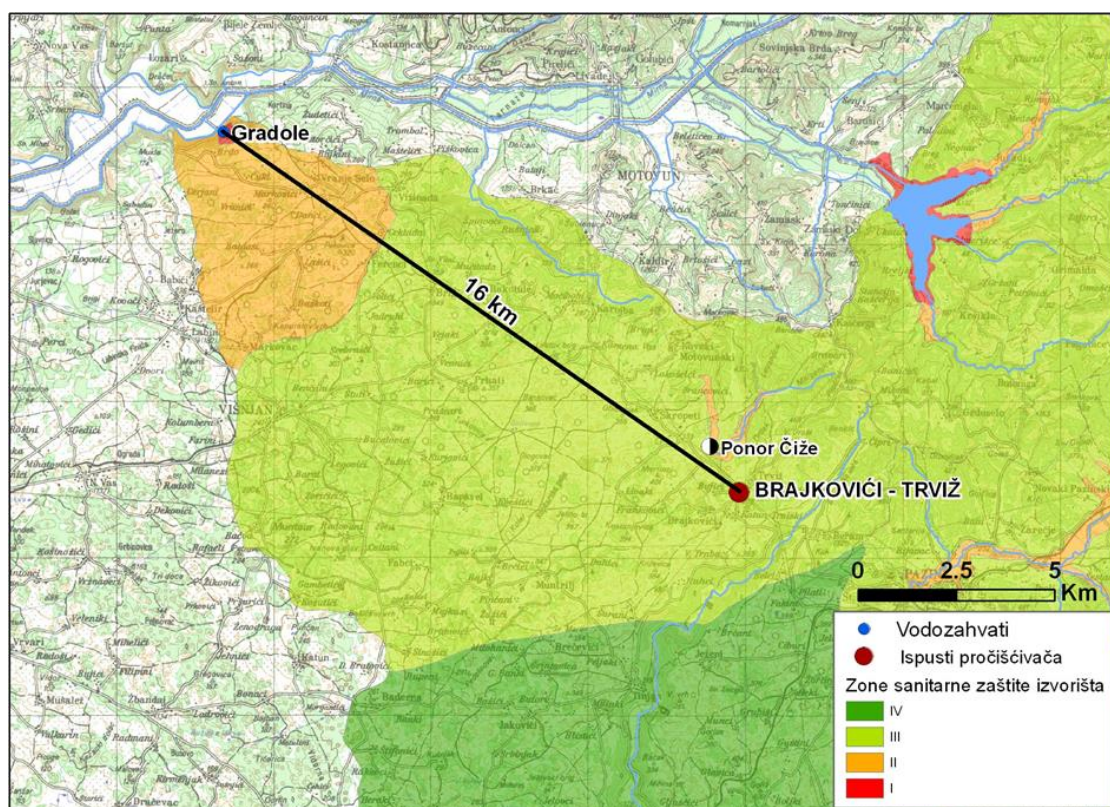
Slika 2. Izvor Gradole – pogled na jezersko oko ispred crpne postaje [3].

Prvi podaci o izdašnosti izvora pojavljuju se 1913. godine (prof. Friedrich), za period Rujan – Studeni a odnose se na izvor Gradole I i II (Velike Gradole i Male Gradole). Minimalna izdašnost za izvor V.Gradole iznosila je $Q_{\min}=520$ l/s. Ocijenjeno je da minimalna izdašnost nastupa u periodu Rujan – Studeni, a samo iznimno u ljetnim mjesecima. Minimalna izdašnost oscilira oko $Q_{\min}=600$ l/s, a ljetni minimum je $Q_{\min,LJ}=1000$ l/s. Hidrološki zavod NR Hrvatske 1956. godine uspostavlja vodokaznu letvu koja je skinuta 1962. godine [1]. No, pojave još sušnijih godina znatno su smanjile procjene o minimalnoj izdašnosti toga izvora. Tako je tijekom ekstremno sušne 2012. godine zabilježena izdašnost iznosila svega oko 200 l/s. Kontinuirana mjerenja započinju tek 1987. godine, ali tek počevši od 1995. godine na način da se prate kolebanja razine vode u izvoru i ispod praga preljeva [1].

Periodičke pojave malih izdašnosti izvora Gradole, posebno u uvjetima prije izgradnje i puštanja u pogon vodoopskrbnog sustava i uređaja za kondicioniranje vode iz akumulacije Butoniga, predstavljali su rizik po vodoopskrbu, te je u nekoliko navrata provedeno umjetno napajanje toga izvora u njegovom slivu, putem ponora 14,5 km udaljenog Čiže (Slika 3) u koga su upuštane vode koje su dovedene iz akumulacije Butoniga. Na Slici 4 dan je prikaz položaja toga ponora i izvora Gradole.



Slika 3. Ponor Čiže u slivu Marganice [4].



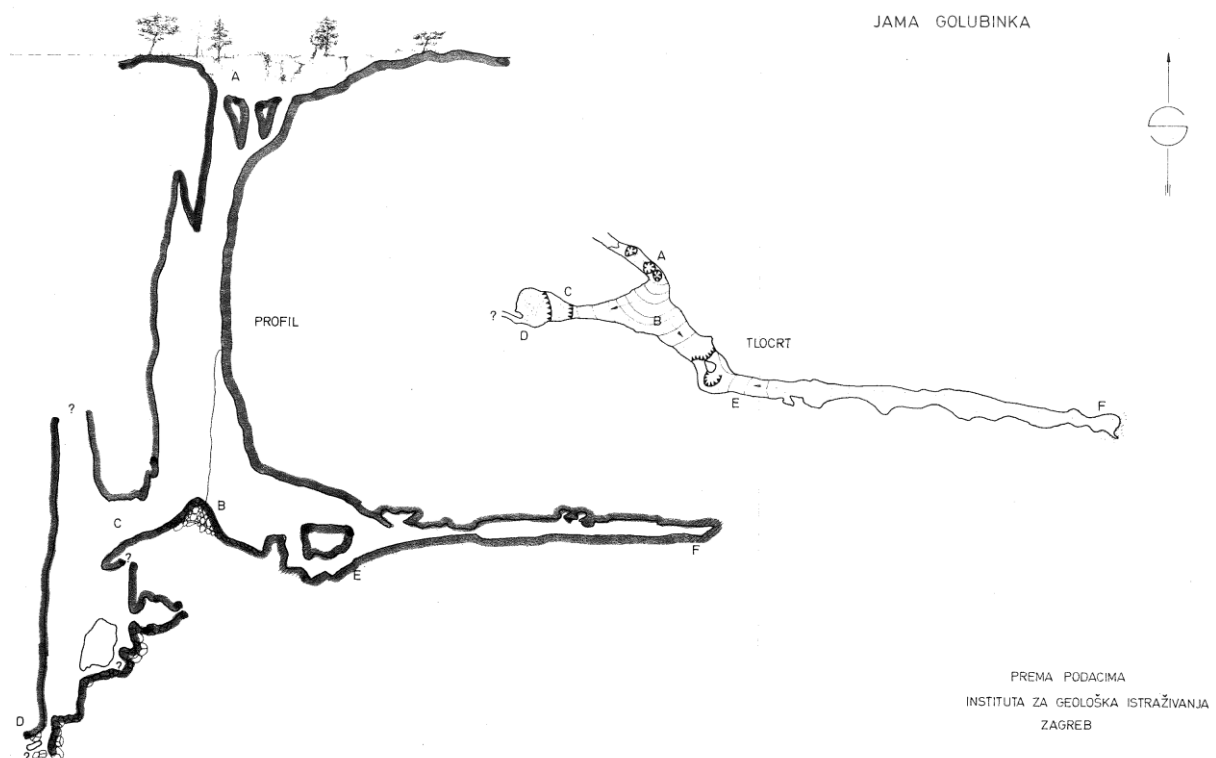
Slika 4. Prikaz položaja ponora Čiže i izvora Gradole [5].

3. ZNAČAJKE PONORA ČIŽE I PRIHRANJIVANJA IZVORA GRADOLE IZ NJEGA

3.1. Trasiranje ponora Čiže

Godine 1966. počela su ozbiljnija istraživanja sliva izvora Gradole, kao i samoga mjesta istjecanja podzemnih voda na Gradolama. Izrađena je detaljna studija geološke građe tla zapadne Istre, u okviru koje su provedena kartiranja speoloških pojava na širem slivnom području, te istraživanje karakteristika speoloških objekata – jama (Slika 5) na užem području Gradola.

Pronađeno je 103 speoloških pojava, 26 ih je detaljno istraženih a rekogniscirano je 8 pećina i ponora. Dna jama ostaju na nivou od +80 m.n.m. na niže, ali i dalje dovoljno visoko iznad razine mora i dovoljno prostora da se ostvari intenzivna cirkulacija i akumulacija podzemne vode koja dovodi do formiranja duboke ili temeljne krške vode. Temeljna krška voda omogućuje nastajanje krških izvora, njihov mehanizam i pulzacija u toku vremena [1].



Slika 5. Prikaz jame Golubnik u slivnom području izvora Gradole [1].

Analizom kretanja pravaca pružanja hidro-geoloških skupina stijena dobili su se najvjerojatniji smjerovi pružanja pravaca kretanja podzemne vode točnije od JI prema SZ. Između sela Škropeti (tada Škrobotići) i Trviža ustanovljena je ponorska zona od 6 ponora. Najprezentativniji je sistem Čiže koji se sastoji od ponora Čiže 1 i Čiže 2 te potočića Čiže koji drenira površinske vode. Sistem Čiže se nalazi na krajnjem istočnom rubu sliva [1].

Slika 6 prikazuje ponor Čiže 1 i malo jezerce koje se stvara ispred njega, slikano je u relativno sušnom vremenu kada su protoci ulijevanja vode u ponor jako mali.



Slika 6. Ponor Čiže 1 u vrijeme minimalnog ulijevanja (foto autor)

Ponor Čiže 2 aktivira se samo za vrijeme velikih oborina kada je kapacitet prihvaćanja vode ponora Čiže 1 nedovoljan, te se jezerce ispred njega počinje prelijevati u korito koje vodi do ponora Čiže 2 (Slika 7).



Slika 7. Ponor Čiže 2 u vrijeme kada nema uljevanja (foto autor)

Ubacivanjem boje u ponor Čiže 1 vršilo se ispitivanje da se utvrdi točan smjer kretanje podzemne vode. Natrium fluorescenin ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$) u količini od 100 kg, ubačen je u ponor Čiže 1 26.5.1968. godine. Svi izvori na promatranom području pretvoreni su u motrilišta, a pored toga još i izvori u Buzetu i dolini rijeke Raše u privremena motrilišta [1].

Najveća pažnja bila je usmjerena na izvor Gradole. Motrilo se od 28. svibnja do 10. rujna 1968. godine a izdašnost izvora Gradole u tom trenutku bila je $Q = 1000$ l/s, istodobno protoka na ponoru Čiše bila je $q = 12$ l/s. Prvi tragovi boje primjetili su se tek nakon male oborine 25 dana nakon ubacivanja i to u koncentraciji od 10^{-9} do $7 \cdot 10^{-8}$ kg/l na izvoru Gradole. Iz odnosa koncentracija boje u istjecanju, srednje izdašnosti izvora ($Q = 100$ l/s) i vremena istjecanja izračunato je da je ukupno na izvoru Velike Gradole izašlo 91,7 kg boje odnosno 92%. Vrlo je važno da se na drugim motrilištima nisu našli nikakvi tragovi boje [1].

Rezultati toga prvoga trasiranja ponora Čiže poručili su slijedeće zaključke [1]:

1. Potvrđen je smjer kretanja podzemne vode (od JI prema SZ).
2. Visoki stupanj krastifikacije na potezu Gradole – Čiže što rezultira u jednosmjernom otjecanju podzemnih voda kod min. ljetne izdašnosti izvora.
3. Smjerovi glavnih rasjeda i pukotina predstavljaju primarni i najznačajniji podzemni tok
4. Brza reakcija na oborine koje padnu duž platoa visoravni u njegovom zleđu (24h do 36h) što indicira na mogućnost postojanja podzemne akumulacije i direktnog otjecanja-pražnjenja iste u smjeru Gradola.

Zahvat voda iz Gradole planiran je na način da je formiran plato na koti +7,00 m.n.m. i odgovarajuće crpilišta do kote -0,80 m.n.m. Kada su krenuli radovi na formiranju platoa došlo je do tektonskog loma koji se proširio u špilju a završava u kaverni. Tada se pristupilo istražnim radovima da se definiraju geološke specifikacije špilje. Od ulaza (1,60m x 1,00m) špilja se prostire 3 – 4 m u stijenu. Dno je ovalnog oblika i djelomice ispunjeno manjim kamenjem. Špilja se nakon nekoliko metara u obliku dimnjaka uzdiže oko 9 m u visinu. Sveukupno uočava se fenomen vrlo razgranatog i svestrano razvijenog sistema podzemne krške hidrologije u užem području izvorišta Gradole [1].

Kada se miniralo za crpilište naišlo se na veću kavernu u podzemlju koja sadrži podzemnu vodu (retencija). Interpolirana između izvorišta, podzemna retencija zbog svoje zatvorenosti djelovala je poput tlačne komore u odnosu na izvorište kojim je povezana sistemom pukotina. Hidrostatski tlak u kaverni opisuje funkcija pritjecanja vode iz podzemnih retencija pa je i protoka na izvorištu ovisna o tlaku u kaverni. Što je veći priliv vode iz podzemlja to je veći hidrostatski pritisak u kaverni, a time i veća izdašnost izvora. Otvaranjem kaverne ona postaje primarno izvorište, a dosadašnje poprima funkciju male akumulacije preljevnih voda (trajno poremećen vjekovni hidrološki ciklus izvora Gradole) [1].

Nakon desetak godina novo trasiranje veze između ponora Čiže i izvora Gradole provedeno je pomoću tricija i to u uvjetima značajnijih protoka u slivu i na izvoru Gradole.

Istražne radove provodio je institut „Ruđer Bošković“ iz Zagreba. Prije ubacivanja tricirane vode u ponor Čiže 1 provedeni su opsežni pripremni radovi (ustanovljavanje nultog stanja kvalitete izvorske vode, definiranje zone i točaka osmatranja te organizacija motrilišta i frekvencije uzimanja uzoraka). Motrenje i uzimanje uzoraka radio je Zavod za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Zagrebu, analizu uzoraka vršio je institut Ruđer Bošković (Zagreb) dok je mjerenje izdašnosti izvora Gradole povjereno HMZ-u Hrvatske (Zagreb) [1].

Dana 16.3.1976. godine u ponor Čiže 1 ubačeno je 1000 C tricirane vode. Tricij se pojavio na Gradolama 21.3.1976. točno 5 dana i 9 sati nakon ubacivanja u ponor. Maksimalna koncentracija tricija u izvorskoj vodi izmjerena je 23.3.1976. točno 7 dana i 9 sati nakon ubacivanja. Uzorci koji su uzeti nakon 16 dana i 11 sati od ubacivanja tricirane vode u ponor tj. uzorci uzeti nakon 2. travnja u 00:00 sati, nisu sadržavali nikakve tragove tricija [1].

Rezultati su pokazali da je isteklo 998,69 C (99,87%) tricija na izvoru Velike Gradole. Na drugim motrilištima nije se pojavila nikakva koncentracija tricija u vodi.

Zaključak temeljen na tako provedenom trasiranju je bio da se kod visoke izdašnosti ($3,344 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7,954 \text{ m}^3/\text{s}$) događa sljedeće [1]:

1. Gotovo sva podzemna voda iz pravca Čiže 1 otječe u smjeru Gradola i istječe samo na izvoru Velike Gradole. Ne pojavljuje se čak ni na izvorima u neposrednoj blizini nrp. Male Gradole i Simerić
2. Tok podzemne vode je kontinuiran i odvija se kroz jako okršen teren u pravcu JI – SZ.
3. Nije registrirano bočno prelijevanje podzemne vode iz smjera toka.

3.2. Trasiranje veze Čiže – Gradole uz umjetno prihranjivanje izvora preko ponora Čiže

Tijekom 1987. i 1988. godine nastupile su velike suše tokom ljetnih perioda. Izdašnost izvora Gradole pala je sa 1000 na svega oko 500 l/s. U isto je vrijeme bili su izraženi najveći zahtjevi za pitkom vodom zbog potreba turizma. Kako se tada voda iz akumulacije Butoniga nije još koristila za piće (zbog toga što nije bilo izgrađeno postrojenje za kondicioniranje pitke vode) počele su se razmatrati opcije za povećanjem izdašnosti izvora Gradole. Do vodocrpilišta Gradole dovodila se paralelno voda sa izvora Bulaž. Regulacijom istjecanja izvora V.Gradole, izvođenjem injekcione zavjese i izgradnjom preljeva, smanjen je intenzitet pražnjenja podzemne akumulacije tj. smanjeni su gubici statičkih rezervi podzemne vode [6].

Istraživanja provedena u sušnom periodu 1968. i 1987. te ona u kišnom periodu 1976. godine kada je podzemlje bilo saturirano pokazala su da je neovisno o hidrološkim uvjetima, jedina veza ponora Čiže isključivo sa izvorom V.Gradole. Činjenica da glavni tok podzemne vode ide upravo prema izvoru V.Gradole otvorila je mogućnost da se utječe na izdašnost izvora V.Gradole tako da se poveća dotok vode u ponor Čiže. Za to je postojala mogućnost na način da se potrebna količina vode crpi iz akumulacije Butoniga pa kroz izgrađeni dio magistralnog cjevovoda transportira do sliva Marganice gdje se potočićem Čiže ulijeva u ponor Čiže 1. Ulijevanje u potok bilo je cca 50m uzvodno od ulaznog grotla ponora. Izgradnjom pumpnog postrojenja za tlačenje vode bilo je moguće u ponor Čiže 1 ulijevati vodu kapacitetom od 450 l/s [6].

Probno ulijevanje vršeno je pomoću izgrađenog pumpnog postrojenja i magistralnog cjevovoda (jedan dio) tako da se crpi iz akumulacije Butoniga i ulijeva u ponor Čiže 1. Početak crpljenja bio je 13.9.1988. u 15:20 h, a konačan prestanak crpljenja bio je 29.10.1988. u 00:40 h. Ukupno je crpljeno iz Butonige 623,682 m³ vode i transportirano u ponor Čiže [6].

Probno ulijevanje bilo je popraćeno još jednim, ukupno trećim trasiranjem iz ponora Čiže, i to opet pomoću tricirane vode. Datuma 14.9.1988. u ponor Čiže 1 ubačeno je $3,7 \cdot 10^{12}$ Bq (100 C) tricija. Osmatračka mjesta bila su izvori: Velike Gradole, Male Gradole i Očjak [6].

Na sva tri izvora uzimalo se uzorke od 14.9.1988. do 8.4.1989. god. Svo vrijeme također je iz izvora Gradole uzimana potrebna voda za vodoopskrbu. Količina preljevne vode određivan je pomoću mjerenja vodostaja na pregradnom profilu izvora V.Gradole i krivulje protoka.

Ukupna izdašnost izvora definirana je kao količina crpljene vode za vodoopskrbu u zbroju sa količinom preljevne vode [6].

Sustav Čiže sastoji se od potočića Čiže i dvaju ponora Čiže 1 koji je glavni i Čiže 2 koji se nalazi malo iznad njega. Čiže 1, niži ponor, na dnu lijevkaste doline prihvaća vodu iz potočića. U stanju je primiti male i srednje vode, a kod velikih voda stvara se retencija i porastom vode u toj retenciji aktivira se ponor Čiže 2 koji inače nije aktivan. Tada oba ponora djeluju kao jedinstven sustav [6].

Za vrijeme ovog probnog ulijevanja prirodni dotok vode kroz potočić Čiže bio je slabo izražen tako da intenzitet ulijevanja vode od 450 l/s nije predstavljao problem za prihvatni kapacitet ponora Čiže 1 od 600 – 800 l/s [6].

Zadatak trasiranja bio je utvrditi dinamiku tečenja vode kroz podzemlje nakon ulijevanja vode u ponor Čiže 1. Utvrđeno je da je smjer kretanja isti kao i kod prijašnjih trasiranja te da ne ovisi o hidrološkim uvjetima koji u tom trenutku vladaju u podzemlju. Smjer kretanja podzemne vode (ponor Čiže – Velike Gradole) omogućuje da se preko ponora Čiže povećava izdašnost izvora Gradole u periodima kada nema dovoljno prirodne izdašnosti izvora Gradole za potrebe vodoopskrbe [6].

Prva pojava tricija na V.Gradolama bila je 13.10.1988. i pojavljivala se svaki dan završno s datumom 15.12.1988.

Od prve pojave na izvoru, koncentracija tricija je postepeno rasla sve do 15.12.1988. kada je dostigla svoj maksimum i od onda pada dok ne dođe do nule.

Povećano ulijevanje vode u ponor koje je nastupilo 11.10.1988. (uključivanjem i drugog agregata) izazvalo je povećanje koncentracije tricija u vodi izvora V.Gradole i to 19.10.1988. (9 dana trebalo je da nastupi reakcija).

Prestankom ulijevanja vode u ponor Čiže 1, relativno brzo (cca 1 dan) nastupila je promjena u izdašnosti izvora V.Gradole, a nakon 10 dana došlo je i do prestanka preljevanja na izvoru. Ovo je direktan dokaz da će povećanje izdašnosti izvora direktno ovisiti o povećanom ulijevanju u ponor Čiže [6].

Zaključak je bio da kad se jednom uspostavi kontinuirano tečenje između ponora Čiže 1 i izvora V.Gradole tada je relativno kratko vrijeme potrebno da se promjenom kapaciteta ulijevanja vode u ponor Čiže izazove promjena izdašnosti izvora V.Gradole [6].

Ustanovljeno je da unatoč lošije kvalitete vode u akumulaciji Butoniga, kvaliteta izvorske vode V.Gradole nije znatnije mijenjana, čak ni kada je postotak ulijevane vode u vodi druge akumulacije iznosio 13 – 15 % [6].

4. Analiza podataka o oborinskim značajkama u slivu te izdašnosti izvora Gradole

U statističkoj obradi korišteni su podaci o vodostajima, preljevima, količini crpljenja te ukupnim protocima na izvoru Gradole u periodu od 1995. do 2015. godine. Također su analizirani podaci o oborinama s postaje Pazin i to u razdoblju od 1985. do 2015. godine. Za sve navedene podatke određene su: srednje vrijednosti SR, standardne devijacije St. Dev, koeficijenti varijacije Cv te ekstremi MAX i MIN. Prikaz podataka i obrada, vršena je po mjesecima i po godinama te su sukladno tome dati grafički i tablični prikazi podataka.

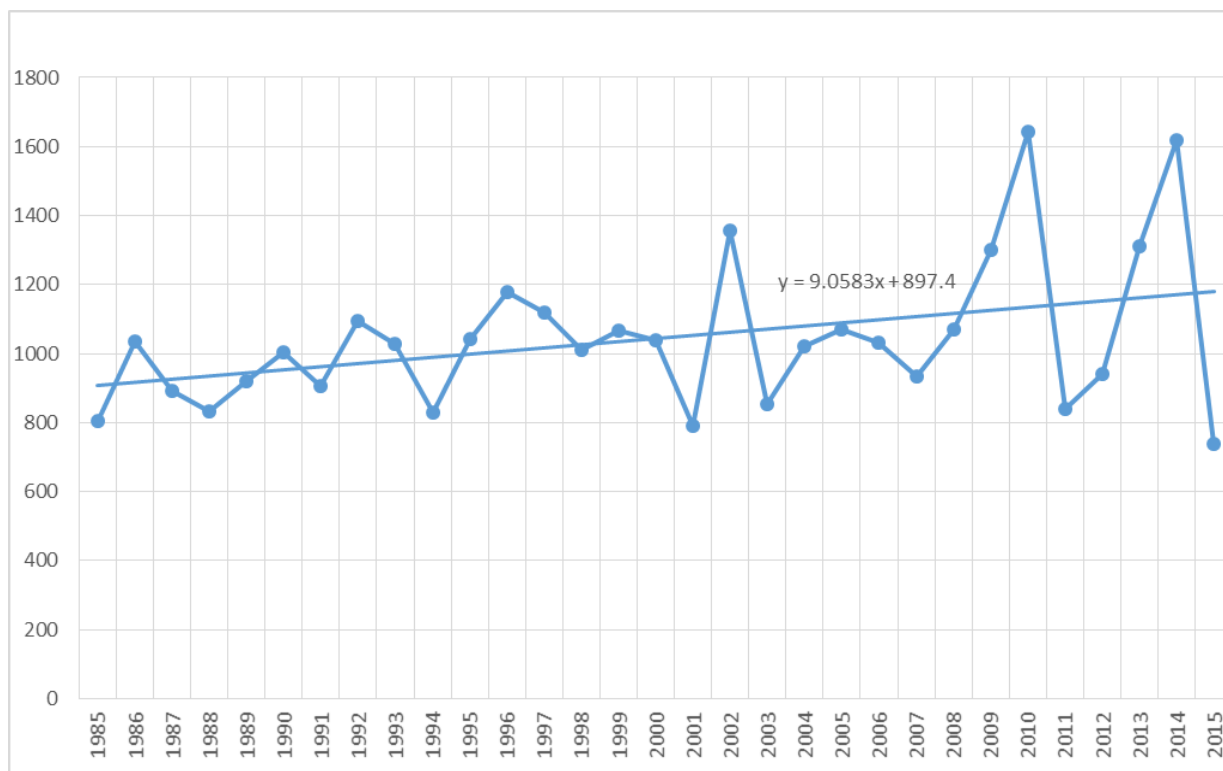
4.1. Oborine na stanici Pazin

U tablici 1 prikazani su karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti podataka o oborinama, u periodu od 1985. do 2015. godine. Analizirane su ukupne količine oborina po mjesecima i ukupne godišnje količine oborina u navedenom periodu.

Tablica 1. Prikaz karakterističnih vrijednosti oborina (mm) sa stanice Pazin u periodu 1985 – 2015. godine. (izradio autor)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SR	67.0	66.7	70.4	79.0	80.3	85.2	67.0	92.2	100.6	104.9	138.4	90.6	1042.3
St. dev.	44.35	52.24	49.09	38.22	47.64	38.33	45.23	65.28	56.84	74.63	91.58	64.51	217.35
Cv	0.662	0.783	0.697	0.483	0.594	0.450	0.675	0.708	0.565	0.711	0.662	0.712	0.209
MAX	153.1	240.8	184.7	187.7	176.5	163.6	156	281.4	207.8	313.4	358.7	288.8	1642
MIN	0	1.3	0.3	13.7	12.4	6.6	1.2	13.3	4.4	24.1	10.6	1.7	738.8

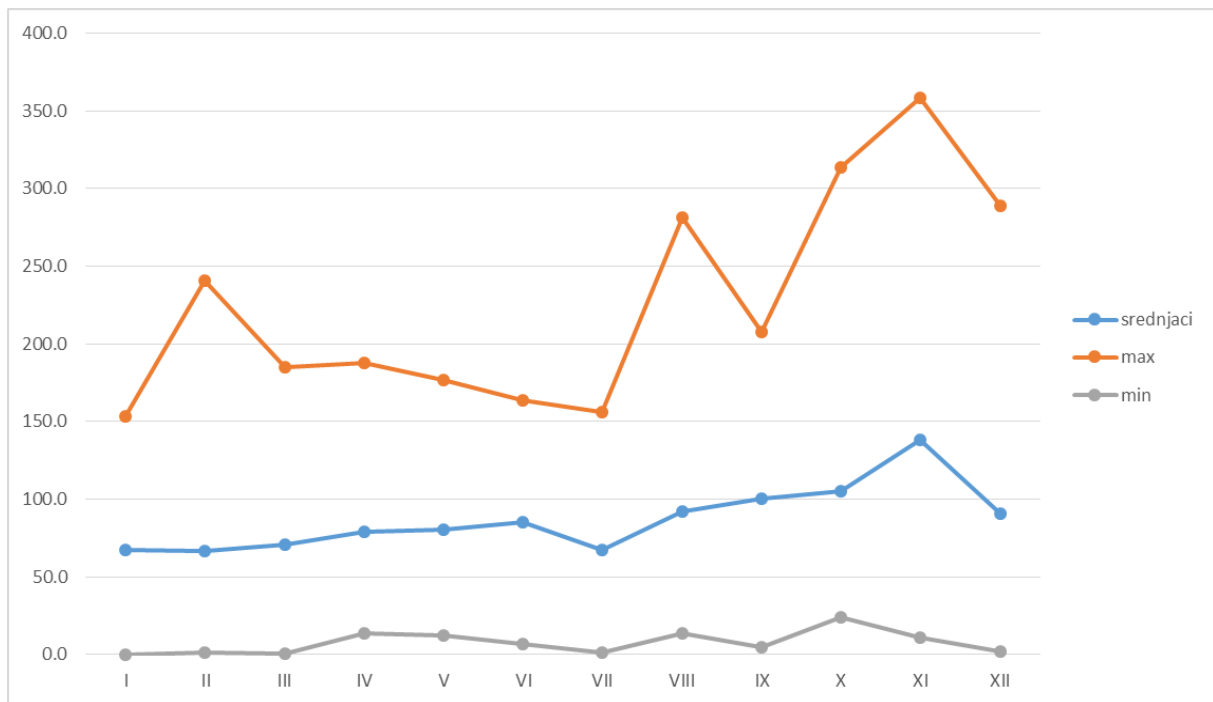
Na slici 8 dan je hod ukupnih godišnjih oborina i njihov trend.



Slika 8. Hod i trend ukupnih godišnjih oborina (mm) registriranih na stanici Pazin u periodu 1985 – 2015. (izradio autor)

Iz danog prikaza vidljivo je da je trend oborina rastući. No, radi se o kratkom nizu koji nije dovoljan za pouzdane statističke zaključke. Međutim bitno je napomenuti kako je amplituda hoda godišnjih količina oborina sve veća naročito nakon 2008. godine. Uzrok tome najvjerojatnije su klimatske promjene koje nastaju zadnjih 20-ak godina. To se odražava tako što se izmjenjuju sve više sušne te iznimno kišne godine.

Kod vodoopskrbe veliki problem stvaraju sušna razdoblja, a najmanja količina oborina u ovom periodu pojavljuje se baš 2015. godine koja je zadnja godina obuhvaćena ovim radom tako da je najveća suša bila 2011. - 2012. godine zbog dugog trajanja. Može se vidjeti da se sušna razdoblja pojavljuju svakih pet-šest godina. Slika 9 grafički prikazuje unutargodišnji hod karakterističnih vrijednosti oborina po mjesecima.



Slika 9. Unutargodišnji prikaz karakterističnih vrijednosti oborina izraženih (mm) na stanici Pazin u periodu 1985 – 2015. (izradio autor)

U prosjeku je najsušniji srpanj što vidimo po plavoj krivulji koja pokazuje srednje vrijednosti oborina po mjesecima. Općenito je ljeto najsušnije razdoblje godine, dok su jesen i prva polovica zime znatno bogate oborinama. Dobivene rezultate o oborinama usporediti ćemo sa ponašanjem izvora Gradole.

4.2. Podaci sa izvora Gradole

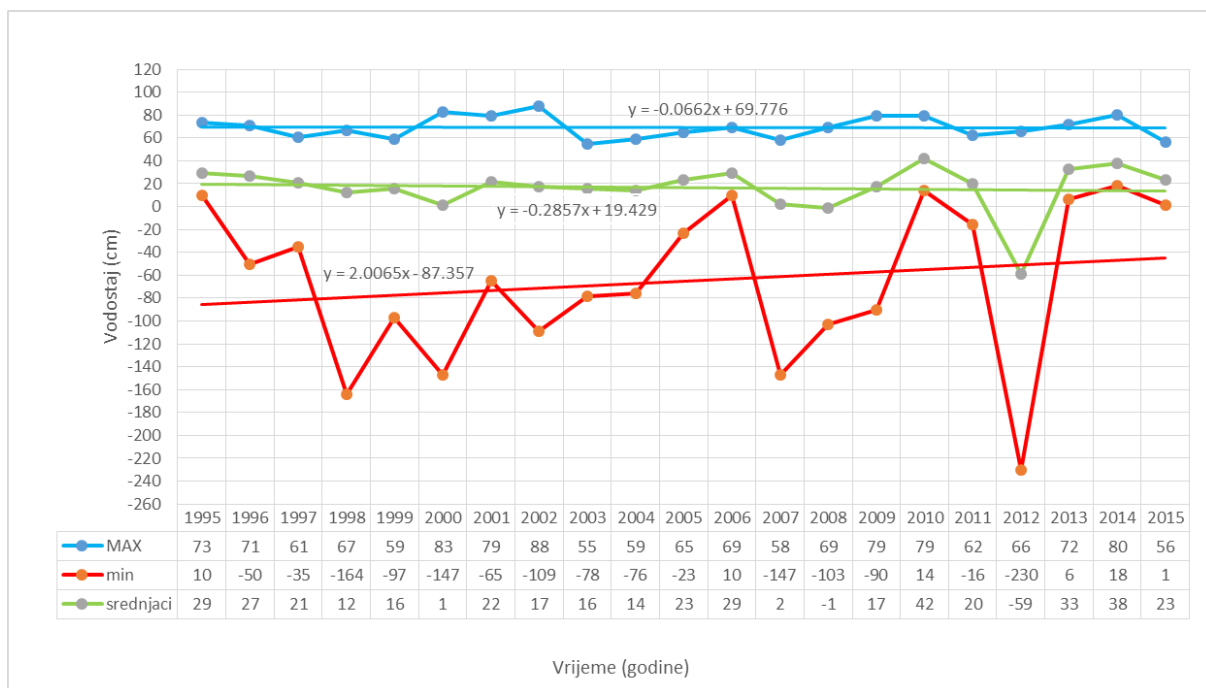
Korišteni podaci odnose se na razdoblje od 1995. do 2015. godine. Prvi su analizirani podaci o vodostajima čiji se osnovni rezultati obrade nalaze u tablici 2.

Tablica 2. Nizovi mjesečnih i godišnjih vrijednosti vodostaja (cm) izvora Gradole za period 1995 – 2015. (izradio autor)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Niz mjesečnih i godišnjih maksimuma vodostaja (cm) za period 1995 - 2015													
SR	49	48	46	41	36	29	12	5	15	22	47	51	69
St. dev.	17	19	17	12	12	15	39	42	40	30	23	21	10
Cv	0.34	0.39	0.38	0.29	0.34	0.52	3.34	8.74	2.60	1.32	0.49	0.42	0.14
MAX	79	80	73	65	68	67	44	53	76	67	88	83	88
MIN	12	12	7	12	20	2	-155	-155	-114	-55	15	12	55
Niz mjesečnih i godišnjih srednjaka vodostaja (cm) za period 1995 - 2015													
SR	36	35	32	30	25	13	-6	-26	-9	5	27	34	16
St. dev.	14	15	15	11	9	27	48	51	41	48	16	16	21
Cv	0.39	0.42	0.45	0.35	0.35	2.07	-7.70	-1.96	-4.50	10.51	0.60	0.45	1.26
MAX	62	67	59	48	43	44	29	24	33	41	55	65	42
MIN	8	4	-4	-2	2	-92	-189	-186	-141	-180	5	9	-59
Niz mjesečnih i godišnjih minimuma vodostaja (cm) za period 1995 - 2015													
SR	26	25	23	21	17	-6	-36	-61	-35	-11	5	23	-65
St. dev.	12	15	16	13	11	52	63	65	54	53	27	11	69
Cv	0.45	0.58	0.68	0.61	0.62	-9.23	-1.77	-1.07	-1.53	-4.96	5.19	0.50	-1.05
MAX	45	53	45	31	30	28	22	20	21	30	30	47	18
MIN	0	-20	-29	-27	-19	-185	-230	-205	-186	-208	-80	3	-230

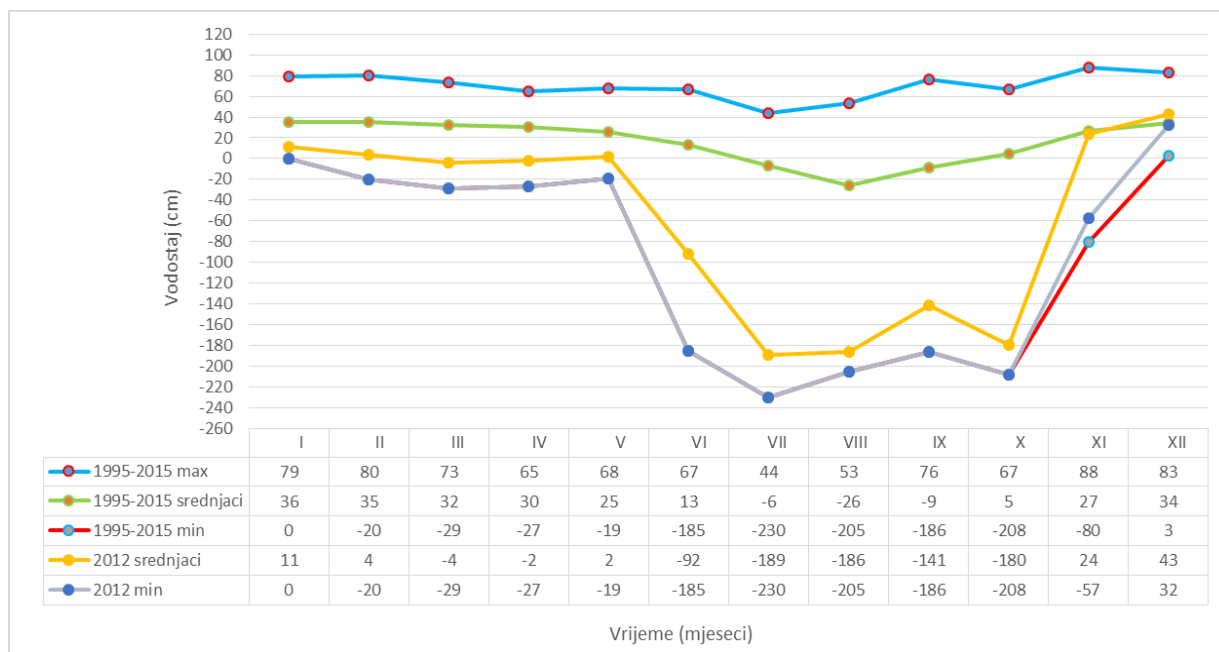
Na osnovu danog tabličnog prikaza može se zaključiti kako je vodostaj u analiziranom razdoblju varirao od minimalnih -230 cm do maksimalnih 88 cm, a srednji godišnji vodostaj u promatranom vremenu je 16 cm. Najniži vodostaji pojavljuju se u ljetnim mjesecima - srpnju, kolovozu i rujnu što je i razdoblje najmanjih mjesečnih oborina koje se mjere na tom području. Na slici 10 prikazan je hod karakterističnih godišnjih vodostaja, te njihov trend. Iako je niz podataka za obradu pre kratak za neke konkretna zaključke, na dijagramu možemo uočiti pad u trendu srednjih godišnjih vodostaja koji iznosi oko 0,29 cm/god.

Zanimljivo je da je 2011. godine taj trend bio također negativan ali je iznosio oko 0,04 cm/god [4] što predstavlja znatni pad u zadnjih nekoliko godina. Razlog toma je iznimno suha 2012. godina u kojoj je izvor bio potpuno presušio i voda se crpila iz njegovih statičkih rezervi. Na slici 3 možemo vidjeti kako je trend maksimalnih vodostaja također blago u padu oko 0,07 cm/god dok je trend godišnjih minimuma vodostaja u porastu oko 2 cm/god. Razlog toma su nešto povoljnije hidrološke prilike u drugom dijelu analiziranog razdoblja, kao i manje količine crpljenja nakon puštanja u rad vodoopskrbnog sustava vezanog na akumulaciju Butoniga.



Slika 10. Prikaz hoda i trendova karakterističnih vrijednosti vodostaja (cm) izvora Gradole u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)

Na crvenoj liniji koja prikazuje minimume godišnjih vodostaja vidimo izuzetan pad u 2012. godini koja je u jednom periodu imala čak -230 cm vodostaja. Zbog toga su na slici 11 prikazani podaci i posebno za 2012. godinu kako bi uočili razlike.



Slika 11. Prikaz unutargodišnje raspodjele vodostaja (cm) izvora Gradole u razdoblju od 1995 – 2015. (izradio autor)

Kada se uspoređi 2012. godinu sa ukupnim periodom 1995. – 2015., vidljivo je da je vodostaj bio negativan čak sedam mjeseci u godini dok je to uobičajeno samo za srpanj, kolovoz i rujan. Plava i crvena se linija gotovo poklapaju zbog toga što su minimalni vodostaji u 2012. godini bili manji od svih ostalih minimuma u promatranom periodu osim za mjesec studeni i prosinac.

Ukupni protoci izvora Gradole sastoje se od preljevnih protoka i od količina koje se crpe za vodoopskrbu, pa je u nastavku dan prikaz i njihovih značajki.

Tablica 3 prikazuje podatke karakterističnih vrijednosti preljevnih protoka za maksimalne minimalne i srednje preljevne protoke koji su mjereni na izvoru Gradole u periodu od 1995. do 2015. godine.

Tablica 3. Karakteristične vrijednosti mjesečnih i godišnjih preljevnih protoka (m³/s) izvora Gradole za period 1995 – 2015. (izradio autor)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Mjesečni i godišnji maksimumi preljevnih protoka (m ³ /s) za period 1995 - 2015.													
SR	4.973	4.794	4.419	3.708	2.979	2.167	1.110	0.961	1.905	2.196	4.747	5.216	7.910
St. dev.	2.403	2.675	2.409	1.672	1.758	1.960	0.871	1.338	2.634	2.268	3.325	3.071	1.542
Cv	0.48	0.56	0.55	0.45	0.59	0.90	0.79	1.39	1.38	1.03	0.70	0.59	0.19
MAX	9.5	9.66	8.56	7.3	7.77	7.62	3.98	5.42	9.03	7.62	10.9	10.1	10.9
MIN	0.447	0.447	0.198	0.447	1.03	0.03	0	0	0	0	0.627	0.447	5.35
Mjesečni i godišnji srednjaci preljevnih protoka (m ³ /s) za period 1995 - 2015.													
SR	3.002	2.947	2.642	2.299	1.679	1.145	0.490	0.315	0.547	1.032	2.149	2.938	1.765
St. dev.	1.760	1.795	1.688	1.055	0.873	1.037	0.507	0.489	0.854	1.116	1.962	1.980	0.785
Cv	0.59	0.61	0.64	0.46	0.52	0.91	1.04	1.55	1.56	1.08	0.91	0.67	0.44
MAX	6.79	7.57	6.3	4.73	3.92	4.12	1.94	1.42	2.53	3.51	5.81	7.37	3.89
MIN	0.264	0.12	0.009	0.064	0.141	0	0	0	0	0	0.256	0.305	0.528
Mjesečni i godišnji minimumi preljevnih protoka (m ³ /s) za period 1995 - 2015.													
SR	1.788	1.799	1.672	1.349	0.962	0.570	0.177	0.141	0.159	0.452	0.608	1.457	0.108
St. dev.	1.168	1.231	1.169	0.615	0.591	0.538	0.346	0.301	0.290	0.672	0.684	1.141	0.231
Cv	0.65	0.68	0.70	0.46	0.61	0.94	1.95	2.14	1.82	1.49	1.12	0.78	2.14
MAX	4.13	5.42	4.13	2.18	2.06	1.83	1.21	1.03	1.12	2.06	2.06	4.45	0.858
MIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.055	0

Najveći preljevni protoci pojavljuju se u zimskim mjesecima dok ih u ljetnom periodu gotovo nema ili su jako mali. To se također podudara sa značajkama oborina na promatranom području.

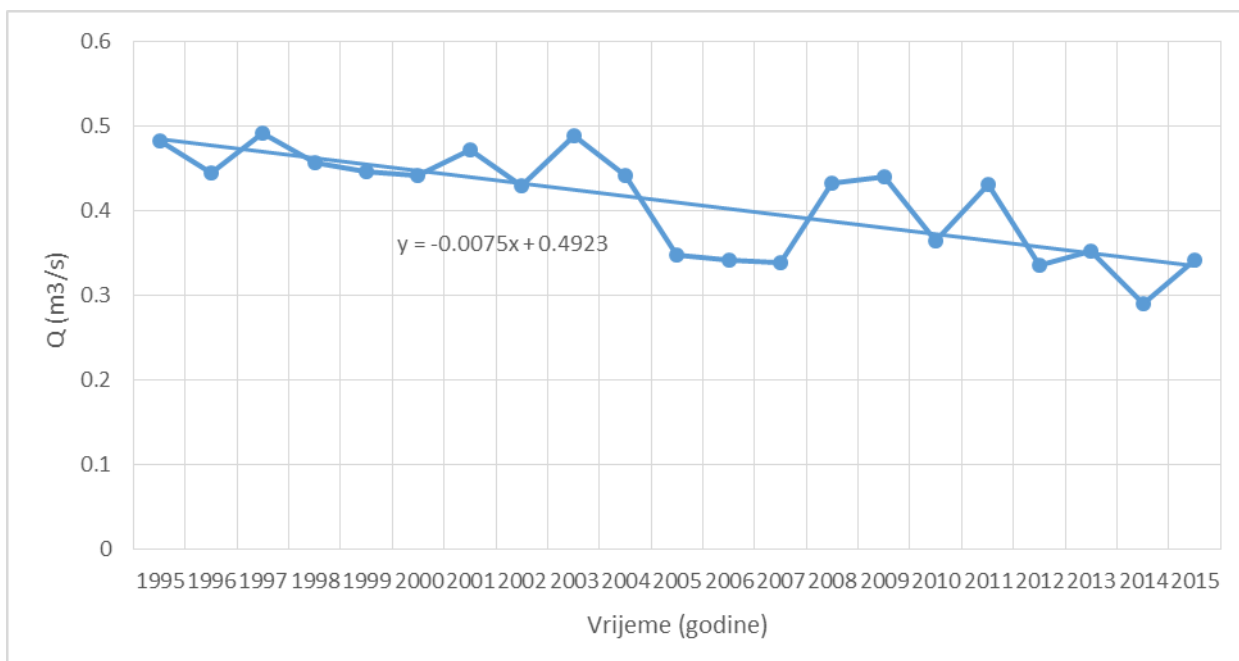
Podaci o crpljenju prikazani su u tablici 4, također za razdoblje od 1995. – 2015. godine. Radi lakšeg čitanja dan je i grafički prikaz podataka za crpljenje i to u dvije slike: slika 12 prikazuje podatke o crpljenju raspoređene po godinama, a slika 13 podatke o crpljenju raspoređene po mjesecima.

Tablica 4. Karakteristične vrijednosti mjesečnih i godišnjih crpljenja (m^3/s) izvora Gradole za period 1955 – 2015. (izradio autor)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Mjesečni i godišnji maksimumi crpljenja (m^3/s) za period 1995 - 2015.													
SR	0.319	0.325	0.339	0.428	0.504	0.673	0.795	0.817	0.626	0.422	0.321	0.299	0.855
St. dev.	0.098	0.093	0.077	0.060	0.063	0.099	0.107	0.164	0.112	0.093	0.073	0.082	0.111
Cv	0.31	0.29	0.23	0.14	0.13	0.15	0.13	0.20	0.18	0.22	0.23	0.27	0.13
MAX	0.531	0.539	0.463	0.511	0.602	0.891	0.947	1.02	0.802	0.612	0.497	0.486	1.02
MIN	0.18	0.177	0.204	0.303	0.369	0.505	0.522	0.324	0.389	0.242	0.213	0.178	0.583
Mjesečni i godišnji srednjaci crpljenja (m^3/s) za period 1995 - 2015.													
SR	0.273	0.278	0.289	0.344	0.416	0.543	0.679	0.695	0.508	0.347	0.282	0.267	0.410
St. dev.	0.074	0.072	0.072	0.061	0.058	0.078	0.099	0.147	0.098	0.077	0.068	0.069	0.061
Cv	0.27	0.26	0.25	0.18	0.14	0.14	0.15	0.21	0.19	0.22	0.24	0.26	0.15
MAX	0.399	0.397	0.404	0.46	0.486	0.761	0.868	0.962	0.668	0.51	0.43	0.4	0.492
MIN	0.169	0.166	0.183	0.255	0.292	0.443	0.442	0.296	0.29	0.212	0.173	0.169	0.29
Mjesečni i godišnji minimumi crpljenja (m^3/s) za period 1995 - 2015.													
SR	0.232	0.234	0.243	0.269	0.331	0.427	0.543	0.566	0.391	0.280	0.248	0.238	0.188
St. dev.	0.062	0.057	0.070	0.073	0.065	0.073	0.103	0.131	0.094	0.062	0.069	0.068	0.054
Cv	0.27	0.24	0.29	0.27	0.20	0.17	0.19	0.23	0.24	0.22	0.28	0.29	0.29
MAX	0.308	0.332	0.378	0.407	0.434	0.585	0.686	0.849	0.585	0.398	0.368	0.356	0.284
MIN	0.116	0.153	0.15	0.1	0.174	0.304	0.245	0.246	0.204	0.186	0.097	0.156	0.097

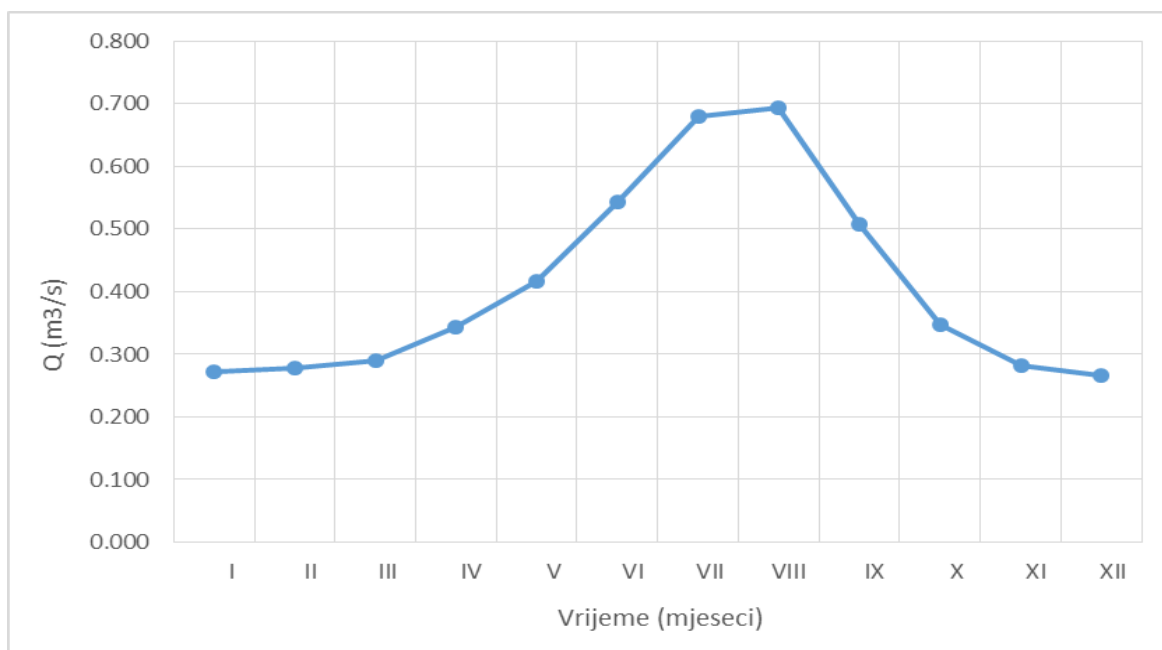
Vidljivo je da se količina crpljenja povećava sve do kolovoza kada su crpljenja maksimalna i nakon toga opada do kraja godine. Najmanje količine crpljenja su u prosincu, više od tri puta manje nego u kolovozu što se dobro može vidjeti u slici 13.

Razlog tako velike razlike u količinama crpljenja unutar godine je relativno veliko povećanje korisnika vodoopskrbe za vrijeme turističke sezone. Ne smije se zanemariti niti korištenje vode u poljoprivredi, obzirom da najsušniji period godine nastupa u vrijeme turističke sezone. Godišnji hod i trend crpljenja i unutargodišnji hod, dani su na slikama 12 i 13.



Slika 12. Hod i trend godišnjih srednjaka količina crpljenja na izvoru Gradole (m³/s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)

Vidljivo je da je trend crpljenja u padu od oko 0,0075 m³/god ali treba naglasiti kako je 2015. završna godina u ovom radu, a u zadnjih je nekoliko godina znatno povećan broj turista u Istri. To je bitno zbog toga što su baš u ljetnim mjesecima crpljenja najveća, a to se bolje vidi na slici 13.



Slika 13. Hod mjesečnih srednjaka crpljenja izvora Gradole (m³/s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)

Znatno povećanje crpljenja vidljivo je u ljetnim mjesecima naročito u srpnju i kolovozu zbog povećanog broja turista koji opterećuju vodoopskrbni sustav. Kao prilog tome ide i činjenica da je prosječna potrošnja vode kod ljudi veća u ljeti nego u zimi.

Iz tablice 4. vidi se da je maksimalno crpljenje u kolovozu $1,02 \text{ m}^3/\text{s}$, a to je dvostruko više od vrijednosti srednjega godišnjega crpljenja.

Kada se uzme u obzir povećana potreba za vodom i smanjena količina oborina, koja uzrokuje smanjenje protoka na izvoru, pojedinih godina javlja se situacija s nedovoljnom količinom vode na izvoru da bi se zadovoljila vodoopskrba u ljetnim mjesecima. Rezultat toga je konstantno crpljenje statičkih vodnih rezervi izvora kroz određeni dio godine, najčešće kroz lipanj, srpanj i kolovoz. Javlja se potreba za rasterećenjem krivulje pražnjenja izvora u određenom periodu godine. Jedno od rješenja može biti umjetno prihranjivanje, koje je opisano u točki 3. ovog završnog rada.

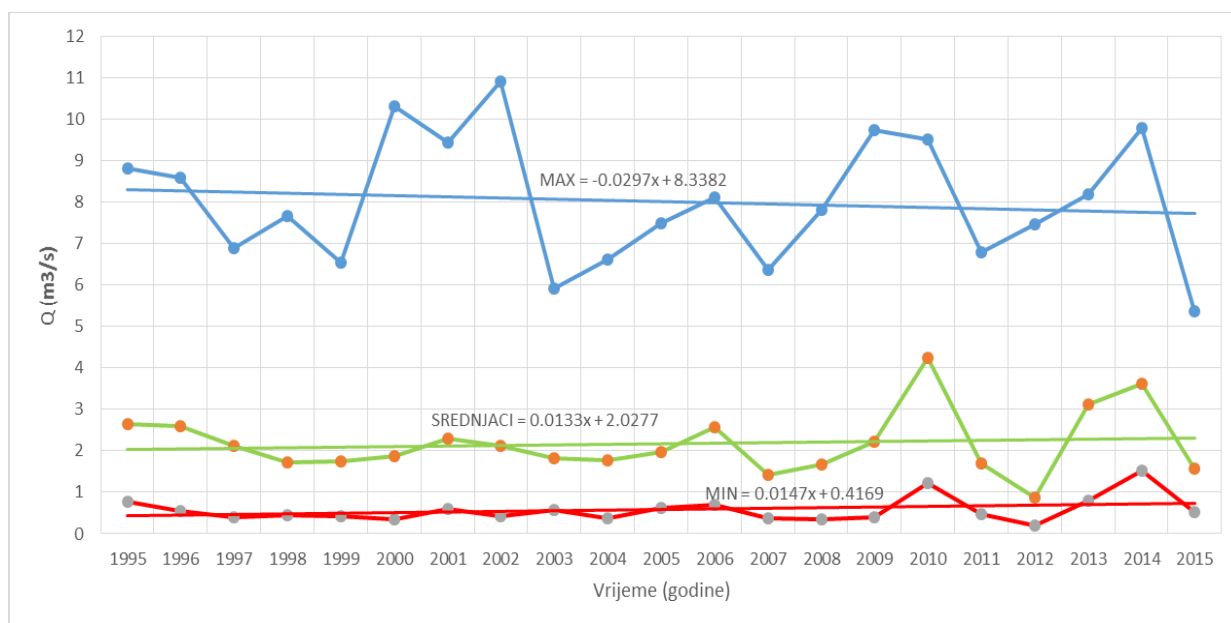
Iako sušni period u ljeti izaziva smanjivanje i prestanak prelijevanja, povećano crpljenje dovodi do prividnog povećanja ukupnih protoka izvora Gradole na način da se crpe njegove statičke rezerve. Te se rezine vode u podzemlju spuštaju i značajno ispod kote prelijevanja iz vodozahvata. Karakteristične vrijednosti ukupnih protoka prikazane su u tablici 5, a njihovi godišnji i mjesečni hod te trendovi prikazani su grafički na slikama 14 i 15.

U tablici 5 vidimo da se protok izvora Gradole kreće od maksimalnih $8,012 \text{ m}^3/\text{s}$ do minimalnih $0,204 \text{ m}^3/\text{s}$. No, u ljetnim je mjesecima „stvarni“ protok i manji od vrijednosti iz tablice zbog toga što se crpe vodne rezerve izvora koje ovdje prividno daju veći ukupni protok.

Tablica 5. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti ukupnih protoka izvora Gradole (m³/s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Mjesečni i godišnji maksimumi ukupnih protoka (m ³ /s) za period 1995 - 2015.													
SR	5.124	4.965	4.546	3.881	3.151	2.421	1.499	1.452	2.084	2.381	4.748	5.369	8.012
St. dev.	2.388	2.654	2.343	1.672	1.684	1.908	0.784	1.209	2.343	2.194	3.342	3.072	1.528
Cv	0.466	0.535	0.515	0.431	0.534	0.788	0.523	0.833	1.125	0.922	0.704	0.572	0.191
MAX	9.43	9.78	8.82	7.37	7.91	7.63	4.19	5.65	9.35	7.66	10.9	10.3	10.9
MIN	0.707	0.621	0.46	0.575	1.06	0.608	0.522	0.324	0.389	0.38	0.732	0.728	5.36
Mjesečni i godišnji srednjaci ukupnih protoka (m ³ /s) za period 1995 - 2015.													
SR	3.277	3.224	2.933	2.643	2.095	1.687	1.169	1.010	1.054	1.379	2.431	3.206	2.174
St. dev.	1.765	1.770	1.670	1.034	0.851	1.003	0.506	0.463	0.825	1.089	1.945	1.981	0.769
Cv	0.539	0.549	0.569	0.391	0.406	0.595	0.433	0.458	0.783	0.789	0.800	0.618	0.354
MAX	7.08	7.74	6.71	5	4.24	4.59	2.62	2.03	3.04	3.86	6.05	7.61	4.25
MIN	0.584	0.459	0.399	0.44	0.542	0.492	0.442	0.296	0.29	0.28	0.557	0.647	0.863
Mjesečni i godišnji minimumi ukupnih protoka (m ³ /s) za period 1995 - 2015.													
SR	2.123	2.174	2.077	1.816	1.533	1.265	0.950	0.790	0.701	0.879	0.978	1.851	0.579
St. dev.	1.170	1.255	1.204	0.637	0.569	0.535	0.435	0.353	0.360	0.676	0.682	1.209	0.309
Cv	0.551	0.577	0.579	0.351	0.371	0.423	0.458	0.447	0.513	0.769	0.698	0.653	0.534
MAX	4.51	5.84	4.72	2.77	2.51	2.33	2.13	1.62	1.84	2.49	2.52	5.13	1.53
MIN	0.504	0.367	0.336	0.337	0.381	0.397	0.245	0.246	0.204	0.245	0.247	0.482	0.204

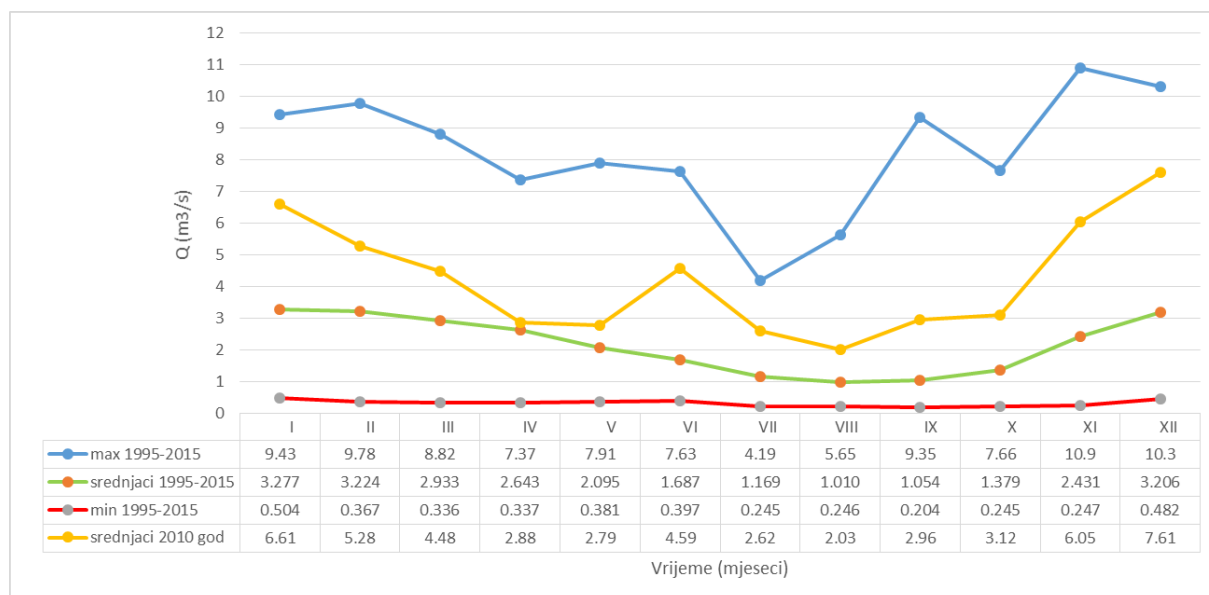
Na slici 14 grafički su prikazani hod i trendovi karakterističnih vrijednosti ukupnih protoka izvora Gradole.



Slika 14. Prikaz hoda karakterističnih vrijednosti ukupnih protoka izvora Gradole (m³/s) u periodu 1995 – 2015. (izradio autor)

Vidi se stagnacija srednjih vrijednosti ukupnih protoka.

Slika 15 sadrži unutargodišnju raspodjelu ukupnih protoka izvora Gradole u periodu 1995 – 2015. godine, te dodatni prikaz za 2010. godinu koja je bila izrazito vodna godina.



Slika 15. Unutargodišnji prikaz karakterističnih vrijednosti ukupnih protok izvora Gradole izraženih u m^3/s . (izradio autor)

Srednje vrijednosti ukupnih protoka mijenjaju s vrlo pravilno i nema naglih skokova te se vidi kako se protoci u prosjeku smanjuju sve do kolovoza kada su najmanji. Od kolovoza nadalje počinju rasti. To se relativno poklapa sa kretanjem razine vodostaja, a razlika je u maksimalnim vrijednostima koje su kod ukupnih protoka vrlo promjenjive.

Žuta linija prikazuje srednje vrijednosti ukupnih protoka u 2010. godini i nalazi se kompletno iznad zelene linije koja obuhvaća razdoblje od 1995 – 2015. to je bila godina vrlo bogata oborinama i protoci su sukladno tome bili veliki, ali i tada je kolovoz bio mjesec sa najmanjim protocima.

Možemo zaključiti kako izvor Gradole nema dovoljnu izdašnost koja bi zadovoljila relativno visoke potrebe vodoopskrbe u ljetnim mjesecima. Tada se voda crpi iz statičkih vodnih rezervi izvora koje se kasnije pune kroz ostatak godine kada su količine oborina veće, a zahtjevi za vodoopskrbu manji.

U nastavku su dani proračuni vjerojatnosti pojavljivanja karakterističnih godišnjih protoka izvora Gradole i srednjih oborina na području stanice Pazin. Proračunato je za različite povratne periode u rasponu između 2 i 100-godišnjeg povratnog perioda.

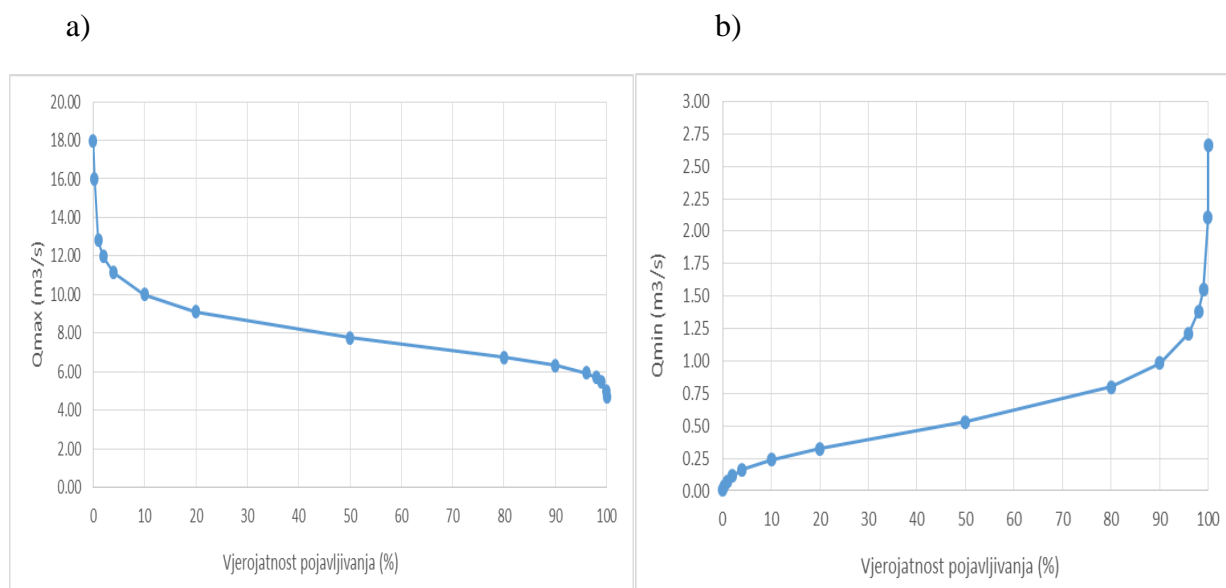
Svi korišteni podaci nalaze se u tablicama koje su već priložene u ovom radu, a za svaku analizu dane su tablice sa postupkom i rješenjem te grafički prikazi rješenja.

Korištenjem nesimetrične dvoparametarske Gumbelove raspodjele analizirana je vjerojatnost pojave minimalnih i maksimalnih ukupnih protoka izvora Gradole za različite povratne periode. Za provedbu analize korišteni su podaci iz tablice 5: vrijednosti standardne devijacije i karakteristične vrijednosti srednjih ukupnih protoka.

Tablica 6. Proračun povratnog razdoblja ukupnih godišnjih protoka izvora Gradole prema Gumbelovoj raspodjeli (izradio autor):

a) za srednje vrijednost maksimalnih godišnjih protoka
b) za srednje vrijednost minimalnih godišnjih protoka

a)							b)						
Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	z	1/a	z*1/a	Xm	Q max	Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	z	1/a	z*1/a	Xm	Q min
god.	%	const.	1/a = 0.78*σ		Xm = SR - (0.577/a)	Xp = Xm + z*1/a	god.	%	const.	1/a = 0.78*σ		Xm = SR - (0.577/a)	Xp = Xm + z*1/a
100	1	4.6	1.192	5.482	7.324	12.806	2	50	0.37	0.241	0.089	0.440	0.529
50	2	3.91	1.192	4.659	7.324	11.984	5	20	-0.48	0.241	-0.116	0.440	0.324
25	4	3.2	1.192	3.813	7.324	11.138	10	10	-0.83	0.241	-0.200	0.440	0.240
10	10	2.25	1.192	2.681	7.324	10.006	25	4	-1.15	0.241	-0.277	0.440	0.162
5	20	1.5	1.192	1.788	7.324	9.112	50	2	-1.35	0.241	-0.325	0.440	0.114
2	50	0.37	1.192	0.441	7.324	7.765	100	1	-1.53	0.241	-0.369	0.440	0.071



Slika 16. Gumbelova raspodjela vrijednosti ukupnih godišnjih protoka izvora Gradole (izradio autor):
a) godišnji maksimumi ukupnih protoka
b) godišnji minimumi ukupnih protoka

Vjerojatnost pojavljivanja maksimalnih godišnjih protoka većih od 12,806 m³/s iznosi 1 %, što odgovara povratnom periodu od 100 godina, a vjerojatnost pojave maksimalnog godišnjeg protoka većeg od 4,703 m³/s iznosi 99,99 %.

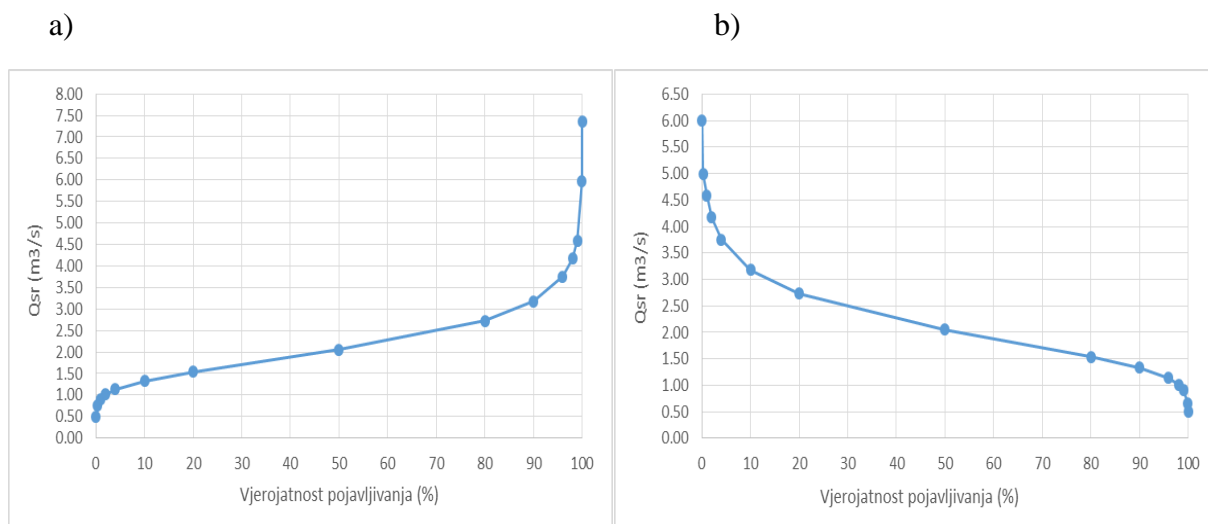
Vjerojatnost pojave minimalnog godišnjeg protoka manjeg od 0,071 m³/s iznosi 1 % dok vjerojatnost od pojave minimalnog godišnjeg protoka manjeg od 2,66 m³/s iznosi 99,99 %.

U periodu od 1995. do 2015. godine najmanji srednji godišnji protok izvora Gradole iznosio je $Q_{sr} = 0,863 \text{ m}^3/\text{s}$. Bilo je to 2012. godine u vrijeme velike suše kada je preliv izvora Gradole bio suh čak 5 uzastopnih mjeseci te se crpilo samo minimalne količine vode za potrebe vodoopskrbe.

Tablica 7 prikazuje proračun vjerojatnosti pojavljivanja srednjih godišnjih protoka prema maksimalnoj i minimalnoj vjerojatnosti korištenjem Gumbelove raspodjele. Pripadajući grafovi nalaze se na slici 17.

Tablica 7. Proračun povratnog perioda srednjih godišnjih protoka izvora Gradole (izradio autor):
 a) minimalna vjerojatnost pojavljivanja
 b) maksimalna vjerojatnost pojavljivanja

a)							b)						
Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	z	1/a	z*1/a	Xm	Q max	Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	z	1/a	z*1/a	Xm	Q min
god.	%	const.	1/a=0.78*σ		Xm = SR-(0.577/a)	Xp = Xm+z*1/a	god.	%	const.	1/a=0.78*σ		Xm = SR-(0.577/a)	Xp = Xm+z*1/a
2	50	0.37	0.600	0.222	1.828	2.050	100	1	4.6	0.600	2.761	1.828	4.589
5	20	-0.48	0.600	-0.288	1.828	1.540	50	2	3.91	0.600	2.347	1.828	4.175
10	10	-0.83	0.600	-0.498	1.828	1.330	25	4	3.2	0.600	1.921	1.828	3.749
25	4	-1.15	0.600	-0.690	1.828	1.138	10	10	2.25	0.600	1.350	1.828	3.179
50	2	-1.35	0.600	-0.810	1.828	1.018	5	20	1.5	0.600	0.900	1.828	2.728
100	1	-1.53	0.600	-0.918	1.828	0.910	2	50	0.37	0.600	0.222	1.828	2.050



Slika 17. Gumbelova raspodjela vjerojatnosti srednjih godišnjih protoka izvora Gradole (izradio autor):
 a) minimalna vjerojatnost pojavljivanja
 b) maksimalna vjerojatnost pojavljivanja

Vjerojatnost pojavljivanja srednjih godišnjih protoka manjih od $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$ iznosi 1 % što odgovara povratnom periodu od 100 godina, a vjerojatnost pojavljivanja srednjeg protoka manjeg od $7,356 \text{ m}^3/\text{s}$ iznosi 99,99 %.

Vjerojatnost pojavljivanja srednjeg protoka većeg od $0,508 \text{ m}^3/\text{s}$ iznosi 99,99 %, a vjerojatnost pojavljivanja srednjeg godišnjeg protoka većeg od $4,589 \text{ m}^3/\text{s}$ iznosi 1 % što odgovara povratnom periodu od 100 godina.

Srednja vrijednost ukupnih godišnjih protoka izvora Gradole za povratni period od 10 godina varirat će od $1,330$ do $3,179 \text{ m}^3/\text{s}$ u vjerojatnosti od 90 %. Kada se ti podaci usporede sa vrijednostima minimalnih i maksimalnih godišnjih srednjaka protoka iz tablice 5, vidimo da su varijacije izrazito velike. To znači da je moguće u relativno malom vremenskom odmaku imati relativno velike promjene u količini protoka.

Protoci najviše ovise o hidrološkim uvjetima tog područja, tako da su u tablici 8 i slici 18 prikazani izračuni vjerojatnosti pojavljivanja količine oborina na stanici Pazin i to po minimalnoj i maksimalnoj vjerojatnosti pojavljivanja.

Tablica 8. Proračun povratnih perioda srednjih godišnjih oborina (mm) stanice Pazin (izradio autor):
 a) minimalna vjerojatnost pojavljivanja
 b) maksimalna vjerojatnost pojavljivanja

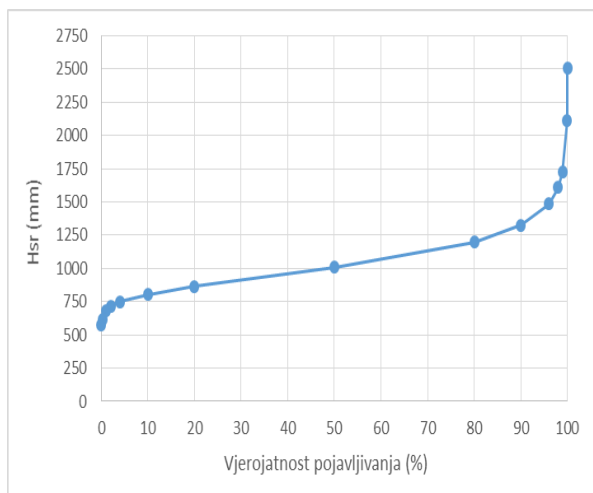
a)

Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	z	1/a	z*1/a	Xm	H max
god.	%	const.	1/a = 0.78*σ		Xm = SR - (0.577/a)	Xp = Xm + z*1/a
2	50	0.37	169.531	62.726	944.516	1007.2
5	20	-0.48	169.531	-81.375	944.516	863.1
10	10	-0.83	169.531	-140.710	944.516	803.8
25	4	-1.15	169.531	-194.960	944.516	749.6
50	2	-1.35	169.531	-228.866	944.516	715.6
100	1	-1.53	169.531	-259.382	944.516	685.1

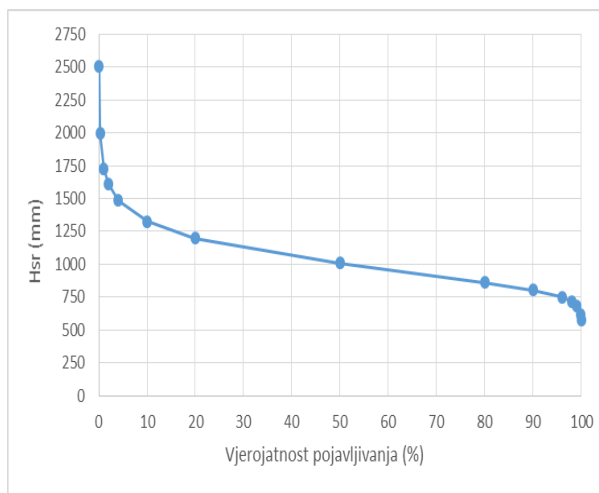
b)

Povratno razdoblje	Vjerojatnost pojavljivanja	z	1/a	z*1/a	Xm	H max
god.	%	const.	1/a = 0.78*σ		Xm = SR - (0.577/a)	Xp = Xm + z*1/a
100	1	4.60	169.531	779.841	944.516	1724.4
50	2	3.91	169.531	662.865	944.516	1607.4
25	4	3.20	169.531	542.498	944.516	1487.0
10	10	2.25	169.531	381.444	944.516	1326.0
5	20	1.50	169.531	254.296	944.516	1198.8
2	50	0.37	169.531	62.726	944.516	1007.2

a)



b)



Slika 18. Gumbelova raspodjela vjerojatnosti srednjih godišnjih oborina na stanici Pazin (izradio autor):
 a) minimalna vjerojatnost
 b) maksimalna vjerojatnost

Vjerojatnost pojave srednjih godišnjih oborina manjih od 685,1 mm iznosi 1 %, a vjerojatnost pojave oborina manjih od 2505,9 mm iznosi 99,99 %. Vjerojatnost pojave oborina većih od 1724,4 mm iznosi 1 %, a vjerojatnost pojave oborina većih od 571,5 mm iznosi 99,99 %.

Kada gledamo povratni period od 10 godina tada vidimo da je 90 % vjerojatnost da će se srednje godišnje oborine kretati od 803,8 do 1326,0 mm. To bi značilo da varijacije između pojedinih godina mogu biti čak 40 % što je relativno puno. Međutim ako pogledamo razliku između 2014. godine kada je oborina bilo 1616,8 mm i 2015. godine kada je palo 738,8 mm oborina onda je to čak 56 %.

5. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran vodni režim izvora Gradole. Dobiveni rezultati te analize potvrđuju tezu da se razlike u količini oborina između pojedinih godina s vremenom povećavaju, tako da iako je trend porasta količina oborina, pojava iznimno sušnih perioda je sve češće. Posljedica toga su izmjene iznimno vodnih i sušnih godina, kada se javlja i manjak voda za potrebe vodoopskrbe, kao što je to bilo 2012. godine kada je u Istri na snazi bila redukcija vode za potrebe vodoopskrbe dulje od mjesec dana, u vrhuncu turističke sezone.

Sušna razdoblja predstavljaju problem u vodoopskrbi. Dosadašnja je praksa bila da se u tim periodima minimalizira crpljenje vode za potrebe vodoopskrbe i da se tijekom takvih razdoblja privremeno crpe i statičke rezerve voda tih izvora. Trendom razvijanja turizma i povećanja broja ljudi koji borave u Republici Hrvatskoj u određenom periodu godine, stvara se sve veći pritisak na statičke rezerve voda izvora. Postavlja se pitanje održivosti vodoopskrbnog sustava uz trenutno upravljanje vodama, ako se ovakav trend nastavi.

Jedno od rješenja kod takvih situacija može biti umjetno prihranjivanje kakvo je bilo provedeno na izvoru Gradole u vrijeme dok uređaj za kondicioniranje voda iz akumulacije Butoniga nije bio u funkciji. Potreba za istim javlja se uglavnom samo u jednom intervalu u godini, najdulje svega 1-3 mjeseca za vrijeme turističke sezone.

Stoga sadašnjost, a naročito budućnost nosi potrebu za racionalnijim korištenjem voda te strožim režimima u upravljanju vodama, ako uzmemo u obzir i problem zagađenja voda koji nije analiziran u ovom radu.

LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet u Zagrebu, Izvor Gradole – geneza i potencijal (vod. zad. Gulić I), 1972, nepublicirano.
- [2] Građevinski fakultet u Rijeci. Vodni resursi i značajke kopnenih voda Istre u sušnim razdobljima – hidrološka studija (vod. zad. Rubinić, J.), Rijek, 2005, nepublicirano.
- [3] GEO INFO, 2011, Hidrogeološko izvješće za potrebe Studije o utjecaju na okoliš za autocestu A8 (čvor Rogovići – Matulji (vod. zad. Biondić B.) Zagreb, 2011, nepublicirano.
- [4] Višković, N., Analiza sušnih razdoblja na krškim izvorima Gradole i Rakonek u Istri, diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2013.
- [5] Građevinski fakultet u Rijeci i Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Studija određivanja potrebnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda i kakvoće efluenta za mala naselja u Istarskoj županiji. Brajkovići – Trviž (vod. zad. Rubinić J., Margeta J.), Rijeka – Split, 2009, nepublicirano.
- [6] Institut „Rudjer Bošković“, OOUR Centar za istraživanje mora Zagreb, Praćenje dinamike toka podzemne vode od ponora Čiže do izvora V. Gradole, prilikom kontinuiranog ulijevanja vode iz akumulacije Butoniga u ponor Čiže, Zagreb, 1989, nepublicirano.