

Primljeno / Received  
04.09.2023. / 2023-09-04Prihvaćeno / Accepted  
05.04.2024. / 2024-04-05Danijel Orešić  
Valentina Curman  
Vedran Majcen

## Protočni režimi Bregane i Breganice

### Discharge regimes of the Bregana and Breganica rivers in Croatia

Bregana je glavni desni pritok Save na granici Hrvatske sa Slovenijom, duga 16,5 km. Na njoj se nalaze dvije hidrološke postaje i još je jedna na Breganici, glavnom pritoku Bregane. Porječje je pretežno brežuljkasto i gorovito, rijetko naseljeno, šumovito i humidno, s razmjerno razvijenom mrežom tekućica. Na trima hidrološkim postajama u porječju praćene su promjene godišnjih protoka i obilježja protočnoga režima u razdoblju od 1981. do 2020. godine. Nije zabilježen trend u kretanju srednjih godišnjih protoka, ali je na svim trima postajama zabilježen blagi porast godišnjih minimalnih protoka i izraženiji porast godišnjih maksimalnih protoka u zadnjem dvadesetogodišnjem razdoblju 2001. – 2020. u odnosu na prethodno dvadesetogodišnje razdoblje 1981. – 2000. Usporedba protočnih režima iz dvaju dvadesetogodišnjih razdoblja, 1981. – 2000. i 2001. – 2020. godine, pokazala je da je u novijem razdoblju u istraživanom području došlo do određenih promjena. Na svim trima postajama u porječju Bregane povećao se udio protoka u veljači i ožujku, a pao udio protoka u prosincu i siječnju. Na postajama na Bregani zabilježen je pad udjela protoka od svibnja do srpnja (posebno u lipnju). Na svim trima postajama u zadnjem dvadesetogodišnjem razdoblju u odnosu na prethodno dvadesetogodišnje razdoblje primarni maksimum u ožujku nešto je izraženiji, a sekundarni maksimum u prosincu (studenj za Koretiće) manje je izražen. Postajama u porječju Bregane zajednički je i pomak primarnoga minimuma s kolovoza na srpanj i sekundarnoga minimuma s veljače na siječanj u novijem od uspoređenih razdoblja.

**Ključne riječi:** protočni režimi, trendovi protoka, hidrogeografija, hidrologija, Bregana (rijeka)

The Bregana River is the 16.5 km long main right tributary of the Sava River on the border of Croatia and Slovenia. There are two hydrological stations on the Bregana River and one more on its main tributary, the Breganica River. The Bregana River drainage basin is mostly hilly and mountainous, sparsely populated, wooded, and humid, with a relatively developed stream network. The annual discharge change and the characteristics of the discharge regimes were analysed on the three hydrological stations between 1981 and 2020. No trend was recognised in mean annual discharges, but all three stations recorded a slight increase in annual minima discharges and a more pronounced increase in annual maxima discharges in the last twenty-year period (2001–2020) compared to the previous twenty-year period (1981–2000). Moreover, in the last twenty-year period, some changes occurred in the discharge regime in the research area. For all three stations in the Bregana catchment an increase in the share of annual discharge was recorded in February and March and a decrease in the share of annual discharge in December and January. Bregana River stations recorded a decreased share of annual discharge from May to July (especially in June). At all three stations, in the last twenty-year period compared to the previous twenty period, the primary maximum in March is a bit more pronounced, and the secondary maximum in December (November at Koretići station) is less pronounced. Also, for all three stations in the last twenty-year period, the primary minimum shifted from August to July and the secondary minimum shifted from February to January.

**Key words:** discharge regimes, discharge trends, hydrogeography, hydrology, Bregana River

## Uvod

Cilj je ovoga rada prikazati obilježja protočnoga režima u porječju Bregane te analizirati promjene protočnoga režima u razdoblju od 1981. do 2020. godine. Protočni režim tipično opisuje godišnji hod srednjih mjesečnih protoka te kretanje i varijabilnost drugih karakterističnih hidroloških veličina koji su odraz geografskih obilježja porječja (Beckinsale, 1969; Riđanović, 1993; Čanjevac, 2013).

## Istraživano područje

Budući da se istražuju protoci u riječnom sustavu Bregane, istraživano područje ovoga rada jest njezino porječje (sl. 1). Bregana je glavni desni pritok Save na granici Hrvatske sa Slovenijom. U srednjem i donjem dijelu svojega toka Bregana je granična tekućica. Porječje Bregane većim se dijelom nalazi u zapadnom dijelu Središnje Hrvatske, a manjim dijelom u Sloveniji. U hrvatskom dijelu obuhvaća dio Samoborskoga gorja te dio Žumberačkoga gorja, pri čemu ta dva gorja međusobno razdvajaju doline rječica Bregane i Drage – Vovlačice (Buzjak i dr., 2011). Porječju pripada i malen dio prisavske nizine uz ušće Bregane u Savu. Prema mjerenjima za potrebe ovoga istraživanja (podloga TK 1 : 25 000, Curman, 2021) površina porječja iznosi 88,53 km<sup>2</sup>, a duljina površinske razvodnice 55,44 km. Ukupna duljina svih tokova iznosi 164,3 km, a glavna tekućica Bregana duga je 26,49 km<sup>1</sup>. Najveći pritok Bregane je Breganica, čija duljina iznosi 9,71 km. Desna strana porječja zauzima 47,83 km<sup>2</sup> (54,03 % ukupne površine porječja), a lijeva 40,70 km<sup>2</sup> (45,97 %), što daje razmjerno malu asimetriju, no i prirodnu mogućnost istodobnoga pritjecanja visokih voda u korito, što pogoduje poplavama (Orešić, 1995).

Porječje je rijetko naseljeno, a većina je stanovništva na njegovu sjeveroistoku, gdje se na-

1 Bregana kao glavna tekućica porječja ima tri izvorišna kraka. Do sutoka triju krakova dolazi podno vrha Kružec. Jedan izvorišni krak je u Dupinjoj dragi i njegova duljina do sutoka triju tokova iznosi 2,23 km. Drugi je krak u Kovačevoj dragi i njegova duljina do sutoka iznosi 2,16 km. Treći je krak u Dubokom dolu i njegova duljina do sutoka iznosi 2,68 km. Zbog najveće duljine za izvor je uzet krak u Dubokom dolu. Izvor u tom kraku nalazi se kod naselja Brezovac Žumberački na 668,93 m nadmorske visine.

## Introduction

The aim of this paper is to display the characteristics of the discharge (streamflow) regimes in the Bregana catchment and to analyse changes in 1981 to 2020 period. The discharge regime typically describes the annual course of the mean monthly discharge and the distribution and variability of other characteristic hydrologic values, which reflect the various climatological and other geographical features of the drainage basin (Beckinsale, 1969, Riđanović, 1993, Čanjevac, 2013).

## Research area

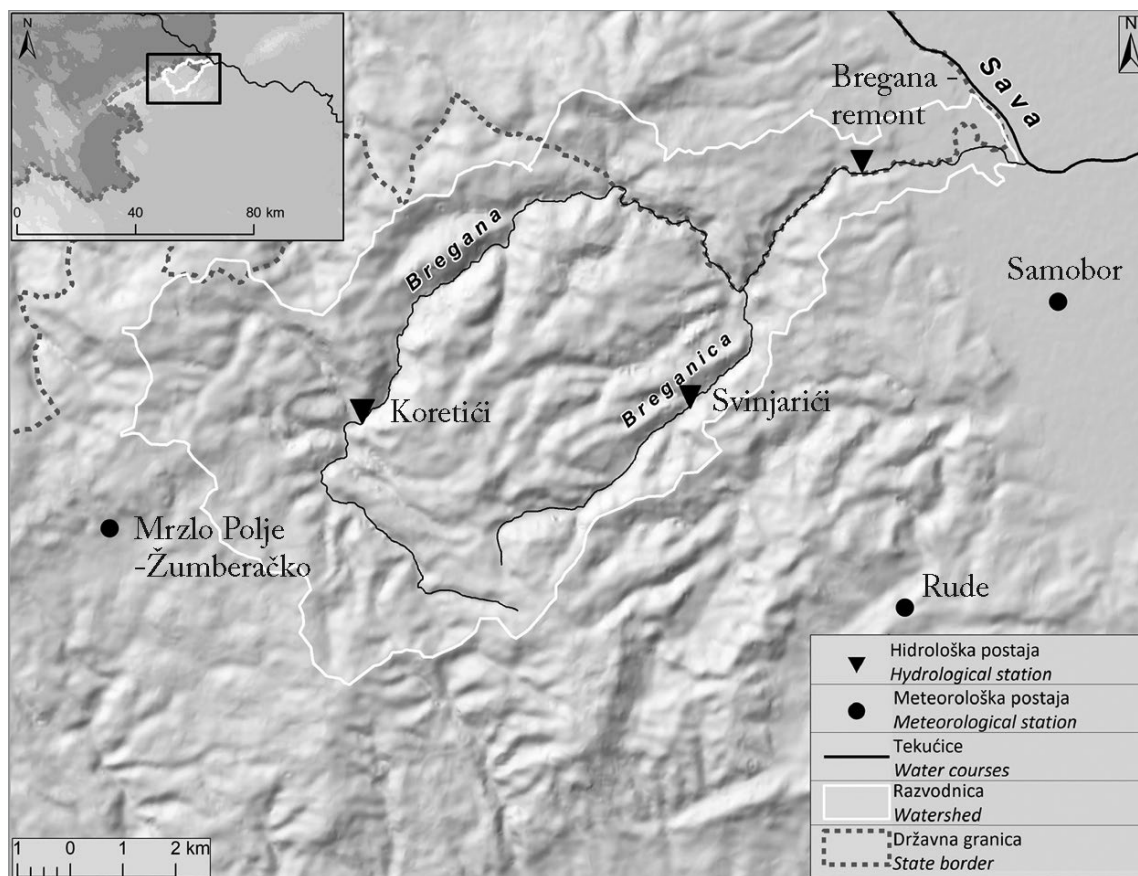
Given that discharge is researched in the river system of Bregana, the research area is its drainage basin (catchment) (Fig. 1). The Bregana River is the main right tributary of the Sava River. In its middle and lower course the Bregana River forms part of the border between Croatia and Slovenia. Most of its drainage area is in the western part of Central Croatia, and a smaller part is in Slovenia. In Croatia it includes part of the Samobor highlands and part of the Žumberak highlands, with the two highlands being separated by the valleys of Bregana and Draga - Vovlačica (Buzjak et al., 2011). The catchment also includes a small part of the Sava River lowland at the mouth of the Bregana River. According to measurements for the purposes of this research (TK 1: 25000, Curman, 2021), the drainage area is 88.53 km<sup>2</sup>, and its surface watershed length is 55.44 km. The total length of all the watercourses is 164.3 km, and the length of the Bregana River alone is 26.49 km<sup>1</sup>. The main tributary of Bregana River is the Breganica River, the length of which is 9.71 km. The right side of the drainage basin area is 47.83 km<sup>2</sup> (54.03% of the total drainage basin area) and the left is 40.70 km<sup>2</sup> (45.97%), which presents relatively small asymmetry indicating possible water convergence favouring occasional flooding (Orešić, 1995).

The drainage basin is sparsely populated, and most of the population is in its northeast, where most of the

1 Bregana has three source arms. The confluence of those three arms is at the foot of peak Kružec. One source arm is in Dopin Draga Valley and its length up to the mentioned confluence is 2.23 km. The second arm is in Kovač Draga Valley and its length to the confluence is 2.16 km. The third arm is in the Duboki Dol Valley and its length to the confluence is 2.68 km. Being the longest arm, Duboki Dol is taken as the source arm of the Bregana River, its spring located near the settlement of Brezovac Žumberački, at 668.93 m above sea level.

**Protočni režimi  
Bregane i Breganice**

Discharge regimes  
of the Bregana and  
Breganica rivers in  
Croatia



Sl. 1. Pregledna karta porječja Bregane

Fig. 1 General overview map of the Bregana River drainage basin

lazi većina naselja s više od 100 stanovnika. Dio porječja nalazi se unutar granica Parka prirode Žumberak – Samoborsko gorje.

Na području porječja prevladavaju karbonatne stijene mezozojske starosti. Karbonatne stijene su stijene pukotinske poroznosti čiji stupanj propusnosti i okršenosti ovisi o intenzitetu tektonskih mehaničkih utjecaja i prodoru površinskih voda u podzemlje. Najrasprostranjeniji litološki član su dolomiti pretežno slabe do osrednje vodopropusnosti tako da prevladava površinsko otjecanje te je razvijena površinska mreža otjecanja (Brkić i Čakarun, 1998). Gustoća mreže tekućica (Curman, 2021) iznosi 1,86 km/km<sup>2</sup>, što je prema Žugaju (2010) porječje sa srednjom gustoćom mreže tekućica. Infiltracija vode u podzemlje izraženija je u područjima izgrađenima od okršenih gornjokrednih vapnenačkih breča (od Novog Sela do Sv. Jane) i na površinama izgrađe-

settlements with more than 100 inhabitants. Part of the drainage basin is situated within the boundaries of the Žumberak-Samoborsko Gorje Nature Park.

In the drainage basin, carbonate rocks of the Mesozoic age prevail. Carbonate rocks are rocks of crack porosity whose degree of permeability and karstification depends on the intensity of tectonic mechanical influences and the penetration of surface waters in the underground. The most widespread carbonate rock is dolomite of predominantly poor to medium permeability; this means that most of the runoff is surface runoff, enabling a well-developed stream network (Brkić and Čakarun, 1998). The density of the stream network is 1.86 km/km<sup>2</sup> (Curman, 2021), which according to Žugaj (2010) can be considered as a medium-developed stream network. The infiltration of water into the underground is more pronounced in areas built of karstified Upper Cretaceous limestone breccia (from Novo Selo to Sveta Jana set-

nim od jurskih vapnenaca. To područje ima krška obilježja s većim brojem ponikava i špilja (Brkić i Čakarun, 1998).

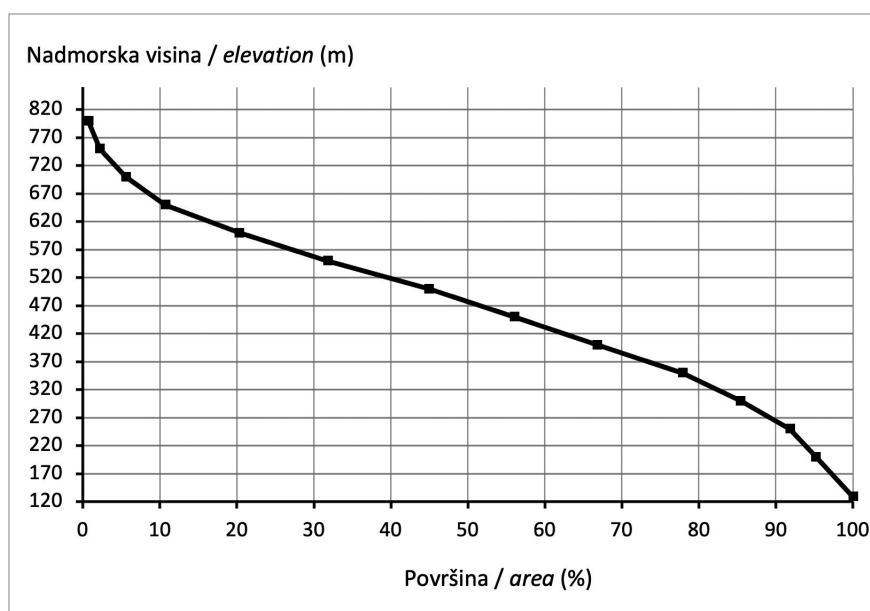
Geomorfološki se porječje nalazi u graničnom dijelu između dviju makrogeomorfoloških regija – Panonske zavale na istoku i Alpa na zapadu. Navedeno je izraženo u dinamici reljefa i morfostrukturnim i morfogenetskim obilježjima (Dujmović, 2007). U sklopu porječja razlikuju se tri orografska tipa reljefa – nizinski uz Savu, predgorski na rubovima Samoborskoga gorja i najprostraniji gorski koji čini Žumberačka gora i Samoborsko gorje. Hipsometrijski (Curman, 2021), nizinski visinski razred (od ušća Bregane na 129,37 m) do 200 m nv zauzima 4,8 % površine porječja. Razred između 200 i 300 m nv obuhvaća predgorske stepenice Samoborskoga gorja i zauzima 9,8 % površine. Razred od 300 do 400 m nv prostire se na području između rijeka Bregane i Gradne (jugoistočne granice porječja) i zauzima površinu od 18,6 %. Najviši dijelovi nalaze se na zapadu porječja. Visine iznad 400 m nv (do najviše točke na razvodnici, vrha Ravnice na 858,62 m) zauzimaju 66,8 % površine porječja (400 – 500 m 21,9 %; 500 – 600 m 24,6 %; > 600 m 20,3 %).

U sklopu porječja Bregane razmjerno je visoka zastupljenost vrlo nagnutih padina. Prema IGU

lements) and of Jurassic limestone. Those areas have characteristics of karst and there are numerous dolines and caves (Brkić and Čakarun, 1998).

Geomorphologically, the drainage basin is situated between two macro-geomorphologic regions: the Pannonian Basin in the east and the Alps in the west. This is reflected in the relief dynamics and its morphostructural and morphogenetical characteristics (Dujmović, 2007). In the Bregana drainage basin there are three main relief units: Sava River lowlands, low hills on the edges of the Samobor highlands and the largest unit is the Samobor and Žumberak highlands. River basin hypsometry (Curman, 2021) is such that the lowland altitude category, from the Bregana River mouth at 129,37 m to 200 m, takes up 4,8% of the total basin area. The category between 200 and 300 m elevation covers Samobor highland foothills and takes up 9.8% of the basin area. The category between 300 and 400 m elevation covers the area between the Bregana River and the southeastern part of the watershed and takes up 18,6% of the basin's area. The highest parts are in the western section of the Bregana River basin. Altitudes above 400 m (up to the highest point on the watershed, Ravnice Peak at 858.62 m) take up 66.8% of the basin area (400–500 m: 21.9%; 500–600 m: 24.6%; >600 m 20.3%).

In the Bregana drainage basin there is a relatively high proportion of steep slopes. Accord-



Sl. 2. Hipsometrijska krivulja porječja Bregane; najviša kota 858,62 mnv (vrh Ravnice), najniža kota (ušće u Savu) na 129,37 mnv

Fig. 2 Hypsometric curve of the Bregana River basin: highest elevation point - 858.62 m (Ravnice Peak); lowest elevation point - (Bregana River mouth) at 129.37 m

Izvor: Curman, (2021)

Source: Curman, (2021)



klasifikaciji nagiba (Gilewska i Klimek, 1968) značajno nagnuti tereni i izrazito nagnuti tereni (12 do 32°) zauzimaju 50,05 % površine porječja i karakteristični su za strane uvala, udolina i jaruga, a vrlo strmi tereni (32° do 55°) i strmci (> 55°) 9,04 % površine porječja i obilježje su rasjedno preduvjetovanih dolinskih strana Bregane, Breganice, Rakovca i drugih manjih tokova (Curman, 2021).

Hipsometrijska krivulja i posebno zastupljenost jako nagnutih terena govore u prilog razmjerno brzom evakuaciji voda u otjecanju, što je dodatno olakšano razmjerno razvijenom mrežom tekućica. Takva situacija pogoduje bujičenju i povremenim poplavama u području porječja Bregane. Izlivanje vode iz korita češće je u dolinskim proširenjima u dijelu doline Bregane od Grdanjca nizvodno (*FRISCO1*, n.d.). Uvjeti otjecanja bili bi nepovoljniji da nije slabe naseljenosti i šumovitosti (78,2 % šuma u porječju, Corine Land Cover, 2018; Curman, 2021), posebno u brdskom dijelu porječja. Regulacijski zahvati razmjerno su mali, dijelom i zbog ograničenja u PP Žumberak – Samoborsko gorje, te ograničeni uglavnom na naseljeni nizinski dio porječja, odnosno donji tok Bregane.

## Prethodna istraživanja

Iako je objavljeno mnogo hidroloških znanstvenih radova koji su se bavili statističkim analizama i praćenjem trendova karakterističnih protoka na različitim razinama, općenito je u Hrvatskoj i susjednim državama malo onih koji su se pozabavili promjenama protočnih režima, odnosno usporedbom godišnjih hodova protoka iz nekih uzastopnih ili dijelom preklapajućih podrazdoblja.

Za ovaj rad relevantni su oni koji se bave promjenama protočnih režima – izravno usporedbom godišnjih hodova protoka iz dvaju podrazdoblja ili između ostaloga donose sezonske trendove protoka, na razini Hrvatske ili na regionalnoj razini u koju je uključeno istraživano područje. Tako Čanjevac (2012) piše o promjenama protočnih režima u hrvatskom dijelu porječja Dunava uspoređujući razdoblje 1980. – 2009. s klimatološki standardnim razdobljem 1961. – 1990., no među 12 analiziranih

ing to IGU slope classification (Gilewska, and Klimek, 1968), sloping and highly sloping terrain (12°–32°), making up 50.05% of the basin area typically as depression, valley, and gully sides. Very steep slopes (32°–55°), and escarpments (>55°) take up 9.04% of the basin area and are found at tectonically predisposed valley sides of Bregana, Breganica, Rakovac and other smaller watercourses (Curman, 2021).

Hypsometric characteristics and high proportion of steep slopes enable quick surface water evacuation, enhanced by the relatively well-developed stream network. This favours torrential flows and occasional floods in the Bregana catchment. Riverbed overflow typically happens in valley widenings in the Bregana course section downstream of the Grdanjec settlement (*FRISCO1*, n.d.). Runoff conditions would be even less favourable if it were not for low population density and abundance of forests (forests cover 78.2% of the basin area, Corine Land Cover, 2018; Curman, 2021), especially in the hills and mountains. Watercourse regulations are scarce, in part due to Žumberak-Samoborsko Gorje Nature Park restrictions and are largely limited to more densely populated lower course of the Bregana River.

## Previous research

Although many hydrological scientific papers have been published that dealt with statistical analyses and monitoring of trends of characteristic annual discharges, in Croatia and neighbouring countries there are few researchers that have dealt with changes in discharge regimes, specifically regarding comparison of the annual courses of monthly mean discharges from two consecutive (or partly overlapping) time periods.

For this research, those that deal with the changes of discharge regimes, either directly by comparing the annual course of discharge from two periods, or those that, among other things, address seasonal discharge trends, in Croatia in general or at the regional level, encompassing the researched area, are most relevant. Čanjevac (2012) wrote about changes in discharge regimes of rivers in the Croatian part of the Danube River basin, comparing the 1980–2009 period with

postaja nije bilo onih iz porječja Bregane. Promjene godišnjih i sezonskih protoka na razini Hrvatske u razdoblju 1990. – 2009. razmatrali su Čanjec i Orešić (2015), a među 53 analizirane postaje bila je i Bregana-remont na Bregani, na kojoj je zabilježeno ljetno smanjenje protoka, no nisu zabilježeni statistički značajni trendovi. U još jednom radu Čanjec i Orešić (2018) razmatraju promjene protočnih režima u Hrvatskoj usporedbom razdoblja 1961. – 1990. i 1991. – 2009. na razini tipova protočnih režima te za peripanonski kišni režim općenito navode da je u većini slučajeva zabilježen pad vrijednosti mjesečnih koeficijenata protoka od veljače do kolovoza. Barbalić i Kuspilić (2014) analizirali su trendove 33 hidrološka parametra na 84 hidrološke postaje iz cijele Hrvatske u razdoblju 1980. – 2009. među kojima su sve tri postaje u porječju Bregane. Prema tom radu u podjeli na tekućice s manjim i većim antropogenim utjecajem Bregana i Breganica svrstane su u tekućice s manjim antropogenim utjecajima, na kojima u navedenom razdoblju trend srednjih godišnjih protoka nije statistički značajan. U analizi trendova srednjih mjesečnih protoka na velikom broju analiziranih postaja, među kojima je i postaja Bregana-remont, zabilježen je statistički značajan negativan trend svibanjskih i lipanjskih protoka. Ti i drugi razmatrani indikatori upozoravaju na produženje sušnih ljetnih razdoblja te povećanje dinamičnosti hidrograma na velikom dijelu istraživanoga područja. Većina promjena odgovara scenarijima o klimatskim promjena koji predviđaju povećanje suša te intenzivnije i učestalije ekstreme (Barbalić i Kuspilić, 2014).

Iako nema objavljenih hidroloških znanstvenih radova o Bregani u Sloveniji (na kojoj nema hidrološke postaje sa slovenske strane), među mnogim radovima koji se uglavnom bave trendovima karakterističnih protoka na slovenskim postajama za ovo istraživanje od posebnog je interesa noviji rad skupine autora (Oblak i dr., 2021) u kojem se, na nizovima iz 1961. – 2013., uz analizu trendova karakterističnih godišnjih protoka, razmatraju i sezonske promjene protoka. Među 40 hidroloških postaja za usporedbu su zanimljivi rezultati za obližnju postaju Podbočje na Krki. Na njoj je zabilježen statistički značajan trend pada srednjih godišnjih protoka te statistički značajan trend pada srednjih ljetnih protoka.

the climatologically standard 1961–1990 period, although out of 12 analysed hydrological stations there where none from the Bregana catchment. Čanjec and Orešić (2015) analysed trends in annual and seasonal discharge for rivers in Croatia in 1990–2009, and among the 53 analysed hydrological stations, Bregana-remont station on the Bregana River was included, and on it summer discharge decline was registered, but there were no statistically significant trends. In another paper, Čanjec and Orešić (2018) compared discharge regimes from the 1961–1990 and 1991–2009 periods in Croatia at the level of discharge types. For the peri-Pannonian pluvial-nival regime type (to which the Bregana basin belongs) they concluded that there was a decline of monthly discharge coefficients from February to August in most cases. Barbalić and Kuspilić (2014) analysed the trends of 33 hydrological parameters at 84 hydrological stations from Croatia in the 1980–2009 period, including all three stations in the Bregana catchment. According to that study, the Bregana and Breganica rivers are classified as streams with low anthropogenic influence, without statistically significant trend of mean annual discharge. In the analysis of mean monthly discharge trends, a statistically significant negative trend of May and June discharge is recorded at many analysed stations, including the Bregana-remont station. These and other considered indicators warn of the prolongation of dry summer periods in a large part of research area (Barbalić and Kuspilić, 2014).

Although there are no published hydrological scientific papers regarding the Bregana River in Slovenia (there is no hydrological station on the Slovenian side), among many papers that mostly deal with the trends of characteristic discharge at Slovenian hydrological stations, the most interesting for this research is the recent paper by Oblak et al. (2021) in which, for the 1961–2013 period, beside trends of characteristic annual discharge, changes in seasonal discharge are considered. Among the 40 Slovenian hydrological stations, there are interesting results for the nearby Podbočje station on the Krka River. They show a statistically significant declining trend of mean annual discharge, and a statistically significant declining trend of mean summer discharge.

Jedini objavljeni hidrološki znanstveni rad koji se izravno bavio istraživanim područjem, odnosno porječjem Bregane jest rad Ivezića, Filipana i Kadića (2019) o maksimalnim vodostajima i protocima na Bregani. U radu se zaključuje da u analiziranom razdoblju (postaja Bregana-remont 1970. – 2015. te Koretići i Svinjarići 1980. – 2012.) postoji trend povećanja maksimalnih godišnjih protoka i vodostaja na svim trima hidrološkim postajama u porječju, koji je posebno izražen nakon 2000. godine.

Od ostalih istraživanja na istraživanom području problematikom ekstrema i poplava te mogućnostima zaštite od štetnoga djelovanja visokih voda bavilo se osam ustanova i tvrtki iz Slovenije i Hrvatske unutar projekta Flood Risk Slovenia-Croatia Operations (*FRISCO1*, n.d.) od 2016. do 2019. godine. U sklopu toga projekta izrađene su studije o prekogranično usklađenom upravljanju rizicima od poplava za svako od šest prekograničnih porječja, pa tako i za porječje Bregane.

Također, osim spomenutih hidrogeografskih radova, nekoliko se geografskih znanstvenih radova manjim dijelom dotiče uvjeta otjecanja u istraživanom području, no nijedan se ne bavi konkretno protocima u porječju Bregane. O geomorfološkim obilježjima Žumberačke gore pišu Dujmović i Bognar (1995). Buzjak 2002. godine iznosi rezultate istraživanja i analizu značajki jama i spilja od kojih se nekolicina nalazi unutar porječja (Buzjak, 2002). Dujmović je 2007. objavio znanstvenu monografiju o fizičkogeografskim obilježjima Samoborskoga gorja u kojoj je kratko pisao i o tekućicama istraživanoga područja te s Bognarom i Pahernikom iste godine objavljuje i geomorfološku kartu Samoborskoga gorja i Plješivičkoga prigorja (Dujmović, 2007; Dujmović i dr., 2007). U znanstvenoj knjizi „Samobor, zemljopisno-povijesna monografija” (Buzjak i dr., 2011) više autora objavilo je pregled prirodno-geografskih i društveno-geografskih obilježja širega Samoborskog kraja.

## Izvori podataka i metode

Za potrebe mjerenja osnovnih hidromorfoloških veličina korišten je digitalni model reljefa (DEM) rezolucije 25 x 25 metara preuzet s internetske stra-

The only published hydrological scientific paper that directly deals with the research area is the paper of Ivezić, Filipan and Kadić (2019) on maximum water levels and maxima discharges on the Bregana and Breganica rivers. The paper concluded that, in the analysed period (Bregana-remont station 1970–2015 and Koretići and Svinjarići stations 1980–2012), there was a trend of increasing annual maxima discharges and water levels for all three hydrological stations in the basin, which was especially pronounced after the year 2000.

Of other research concerning the researched area there was a project Flood Risk Slovenia-Croatia Operations (*FRISCO1*, n.d.) implemented from 2016 to 2019 to deal with the problem of extremes and floods; possibilities for protection against flooding were studied by eight institutions and companies from Slovenia and Croatia. As part of this project, for each of the six cross-border drainage basins selected for the project, a study on coordinated flood risk management was undertaken, the Bregana drainage basin among them.

Apart from the aforementioned hydrogeographic scientific papers there are several geographical studies touching on the runoff conditions in the research area to some extent, but none of them deal with discharge in Bregana catchment. Dujmović and Bognar (1995) wrote about geomorphological characteristics of Žumberak Mountain. In 2002, Buzjak presented the results of research and analysis of the features of speleological objects, several of which are located within the basin (Buzjak 2002). In 2007, Dujmović published a scientific monograph on the physical-geographic features of the Samobor highlands, in which he also briefly wrote about the watercourses, and in the same year, together with Bognar and Pahernik, he published a geomorphological map of the Samobor highlands and Plješivica hills (Dujmović, 2007; Dujmović et al., 2007). In the scientific book *Samobor, geographical-historical monograph* (Buzjak et al., 2011), several authors published an overview of the natural-geographical and social-geographical features of the Samobor region.

## Data and methods

To measure the basic hydromorphological elements, the digital model of the relief (DEM) in resolution of 25x25 meters was used from the Copernicus

nice Copernicus (2016). Na temelju DEM-a u softveru QGIS 3.16.10 određeno je porječje Bregane koje je po potrebi ispravljeno prema topografskoj karti 1 : 25 000. Pojedine dostupne karte su georeferencirane.

Hidrološki podaci preuzeti su od Sektora za hidrologiju DHMZ-a (Baza hidroloških podataka – HIS2000, DHMZ, n.d.) koji u porječju Bregane vodi hidrološke postaje: postaju Bregana-remont i Koretići na Bregani te postaju Svinjarići na Breganici (vidi tab. 1). Sve tri hidrološke postaje opremljene su vodokazima i limnigrafima. Najnižvodnija postaja je Bregana-remont. Nalazi se na rijeci Bregani i s radom je počela 1969. godine, a potpuni podaci na raspolaganju su od 1970. do 2020. godine. Postaja Koretići također se nalazi na rijeci Bregani. S radom je počela 1980., a potpuni podaci na raspolaganju su od 1981. do 2020. godine. Postaja Svinjarići nalazi se na rijeci Breganici. S radom je počela 1980. godine, ali je u listopadu 2015., uslijed velikih voda koje su uništile dio obale i srušile limnigraf, prestala s radom. U rujnu 2016. postaja je obnovljena, ali nedostaju hidrološki podaci do 2020. godine. Nedostaju također podaci za srpanj, kolovoz i rujan 2007. godine.

S obzirom na raspoložive podatke o protocima za obje postaje na Bregani bilo je moguće pratiti potpune podatke o mjesečnim srednjacima kako u klimatološki standardnom razdoblju 1991. – 2020. da bi se utvrdila obilježja protočnog režima tako i usporedno u dva zadnja dvadesetogodišnja razdoblja 1981. – 2000. i 2001. – 2020. da bi se razmotrile i promjene protočnih režima. Postaja Svinjarići na Breganici

website (2016). Using QGIS 3.16.10 software, the Bregana drainage basin was determined and where necessary corrected according to the topographic map at 1: 25,000.

Hydrological data is taken from the Hydrology sector of the National Meteorological and Hydrological Service (Hydrological database - HIS2000, DHMZ, n.d.), which runs three hydrological stations in the basin: Bregana-remont and Koretići on the Bregana River and Svinjarići on the Breganica River (see Tab. 1). All are equipped with both staff gauges and recording gauges. The most downstream station is Bregana-remont on the Bregana River which started operating in 1969 and complete data is available from 1970 to 2020. Koretići station is also located on the Bregana River. It started operating in 1980, with complete data available from 1981 to 2020. The Svinjarići station is located on the Breganica River. It started operating in 1980, but in October 2015 it was demolished by flooding. In September 2016, the station was restored, but the hydrological data is missing up to 2020. Also, data for July, August and September 2007 is missing.

Considering the available data, for both stations on Bregana River, it was possible to observe mean monthly discharges in the climatologically standard period of 1991–2020 to determine the characteristics of discharge regime, as well as in the most recent two twenty-year periods (1981–2000 and 2001–2020) to determine changes in discharge regimes. The Svin-

Tab. 1. Osnovni podatci o hidrološkim postajama u porječju Bregane  
Tab. 1 Basic data on hydrological stations in the Bregana River catchment

Postaja / Station	Tekućica / Watercourse	Razdoblje rada / Station operation period(s)	Kota nula vodokaza / Gauge zero elevation	Geografske koordinate / Geographic coordinates	Udaljenost od ušća / Distance from river mouth	Površina slijevna područja / Drainage area
3012 Bregana-remont	Bregana	1969. – 2020.	152,332 m	φ: 45° 50' 27" N λ: 15° 40' 28" E	3,5 km	88,5 km <sup>2</sup>
3254 Koretići	Bregana	1980. – 2020.	332,288 m	φ: 45° 47' 57" N λ: 15° 33' 08" E	19,5 km	34,8 km <sup>2</sup>
3252 Svinjarići	Breganica	1980. – 2007.; 2007. – 2015.; 2016. – 2020.	235,120 m	φ: 45° 48' 00" N λ: 15° 37' 44" E	10,6 km	4 km <sup>2</sup>

Izvor: DHMZ, prema historijatima postaja, osim vlastito mjerenje za udaljenosti od ušća za postaje Bregana-remont i Koretići  
Source: DHMZ, hydrologic station data, excepting the author's measurement for the Bregana-remont and Koretići stations' distance from river mouth (river kilometers).



ne pruža potpune podatke o protoku te ima malu sljevnu površinu, ali je mogla poslužiti kao dopuna u razmatranjima.

Da bi se usporedila obilježja i promjene u protočnom režimu s obilježjima i promjenama u režimu padalina i temperature zraka, korišteni su podatci DHMZ-a s odabranih meteoroloških postaja. Unutar prostora porječja ne nalazi se ni jedna meteorološka postaja zbog čega su u obzir za razmatranje klimatoloških obilježja uzete najbliže postaje. Od klimatoloških postaja kao najbliža i ona s najpotpunijim podacima odabrana je postaja Samobor<sup>2</sup>. Klimatološka postaja Sošice prikladno se nalazi u Žumberačkom gorju, no nema dovoljno duge ni potpune nizove podataka. Od ostalih meteoroloških postaja razmjerno su blizu porječju Bregane kišomjerna postaja Mrzlo Polje Žumberačko, s malo iskoristivih podataka<sup>3</sup>, te kišomjerna postaja Rude, koja ima gotovo potpune podatke od početka motrenja, ali tek od 1991. godine.

Za statističku analizu vremenskih nizova korišten je MS Excel i statistička aplikacija XLSTAT (Adinsoft, verzija 2021 4.1). Homogenost svih korištenih nizova provjerena je Pettittovim testom (Pettitt, 1979) uz signifikantnost  $\alpha = 0,05$ . Svi nizovi srednjih godišnjih i srednjih mjesečnih protoka homogeni su za sva razmatrana razdoblja. Statistička značajnost trendova provjerena je Mann-Kendallovim testom (Mann, 1945; Kendall, 1975), a u radu je odabrana uobičajena 95 %-tna razina pouzdanosti testa (signifikantnost  $\alpha = 0,05$ ).

Jarići station on the Breganica River does not provide a continuous record of discharge, and it has a small drainage area, but it was considered as a supplemental source of information.

In order to compare the characteristics and changes in the discharge regimes with the characteristics and changes in precipitation and air temperature, Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) data from selected meteorological stations were used. There are no meteorological stations within the catchment, so the Samobor station was selected as it is the closest and has the most complete data<sup>2</sup>. Although the Sošice climatological station is situated more appropriately in the Žumberak highlands, it does not have long enough nor complete sets of data. Of the other meteorological stations relatively close to the Bregana catchment there is the Mrzlo Polje Žumberačko precipitation station, which has little useful data<sup>3</sup>, and the Rude precipitation station, which has an almost complete data series, but only since 1991.

For statistical analysis of the time series, MS Excel and its statistical application XLSTAT were used (Adinsoft, version 2021 4.1). The homogeneity of all used series is checked by the Pettitt test (Pettitt, 1979) with the significance level  $\alpha = 0.05$ . All sets of mean annual and mean monthly discharges are homogeneous for all periods considered. Statistical significance of trends was checked using the Mann-Kendall test (Mann, 1945; Kendall, 1975) at the usual significance level  $\alpha = 0.05$  (95% confidence).

2 Najbliža klimatološka postaja je Samobor. Budući da je ta klimatološka postaja u nizini (smještena na 45° 49' 09" s.g.š. i 15° 43' 12" i.g.d.), na 141 m nadmorske visine, te se nalazi istočno od gorskoga područja Žumberka i Samoborskoga gorja, u padalinskoj sjeni u odnosu na generalno zapadno strujanje, ona nije idealno položena u odnosu na porječje Bregane u cjelini. Naime, porječje Bregane pretežno je gorsko područje s 45 % površine porječja iznad 500 m nv i svega oko 5 % porječja ispod 200 m nv. Klimatološka postaja Sošice je, iako znatno dalje od razvodnice od Samobora, potencijalno reprezentativnija klimatološka postaja zbog svojeg položaja na Žumberačkoj gori (45° 45' 0" s.g.š 15° 22' 56" i.g.d., na 520 m nv). Međutim, ona ipak nije mogla biti uzeta u razmatranje s obzirom na raspoloživost podataka od 1996., a osim toga, niz za mjesečne i godišnje količine padalina u Sošicama nije potpun, tako da u različitim godinama nedostaje od dva do sedam podataka mjesečnih količina padalina te nedostaje čak 13 od 24 podatka o godišnjoj količini padalina. Na toj postaji nedostatni su i nizovi za temperature zraka i broj dana sa snježnim pokrivačem  $\geq 1$  cm (DHMZ, HIS2000).

3 Na kišomjernoj postaji Mrzlo Polje Žumberačko podatci su nepotpuni i dijelom poništeni te je u razdoblju 1981. – 2020. svega 14 podataka o godišnjoj količini padalina i 17 o godišnjem broju dana sa snježnim pokrivačem  $\geq 1$  cm.

2 The closest climatological station is Samobor. Since this climatological station is in the lowlands (located at  $\phi$  45° 49' 09" N and  $\lambda$  15° 43' 12" E), at 141 m above sea, and is located east of the Žumberak and Samobor highlands in the precipitation shadow of the general western flow, it is not ideally positioned in relation to the Bregana catchment. Specifically, the Bregana catchment is a predominantly hilly and mountainous area with 45% of the catchment above 500 m elevation and only about 5% of it is below 200 m elevation. The climatological station Sošice, although significantly farther from the watershed than Samobor, is a potentially more representative due to its position on Žumberak Mountain ( $\phi$  45° 45' 0" N,  $\lambda$  15° 22' 56" E, at 520 m a.s.l.). However, it could not be selected since the data are available only from 1996, and besides, the series for monthly and annual rainfall in Sošice is not complete, and in various years it lacks two to seven monthly amounts of precipitation and so missing as many as 13 of 24 annual rainfall amounts. There are also incomplete series for air temperature and the number of days with snow cover  $\geq 1$  cm (DHMZ, HIS2000).

3 At the Mrzlo Polje Žumberačko precipitation station, the data are incomplete and partly invalidated, and in the period 1981–2020 there are only 14 data on the annual amount of precipitation and 17 on the annual number of days with a snow cover  $\geq 1$  cm.

Protočni režim podrazumijeva prvenstveno kretanje srednjih mjesečnih i drugih karakterističnih protoka tijekom godine (Čanjevac, 2012). Protočni režimi, odnosno protoci najstabilnija su sastavnica hidrološkoga ciklusa te nam analiza dugih vremenskih nizova podataka može dati vrijedne informacije o trendovima i varijacijama klime nekoga područja (Chiew and McMahon, 1996). Stoga je posebno važno praćenje promjena protočnih režima, a posebice na razini porječja i dijelova porječja da bi se točnije odredili uzroci i posljedice promjena protočnih režima (Čanjevac, 2012; 2013). U tom smislu javljaju se i noviji radovi o promjeni protočnih režima na toj razini (npr. Orešić i dr., 2018 za porječje Ilove; Čanjevac i dr., 2023 za područje Plitvičkih jezera) te su mogli biti metodološkim uzorom, ali nažalost ne odnose se na područja bliska istraživanom području prostorno ili tipom protočnoga režima.

U radu su najprije prikazana obilježja protočnoga režima na postajama na Bregani i Breganici u standardnom klimatološkom razdoblju 1991. – 2020. godine. U nastavku je određeno najdulje razdoblje za koje raspoložemo podatcima za sve tri postaje, a to je četrdesetogodišnje razdoblje od 1981. godine do 2020. godine. Za ovo razdoblje utvrđeni su linearni trendovi srednjega godišnjeg protoka te maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka na svim trima postajama u porječju Bregane. Treba naglasiti da u oba razdobljima (1981. – 2020. i 1991. – 2020.) svi nizovi mjesečnih i godišnjih srednjih protoka nisu pokazali statistički značajan trend prema Mann-Kendalovu testu uz signifikantnost  $\alpha = 0,05$ . Ipak, određene su promjene očite, stoga je za praćenje suvremenih promjena protočnoga režima odabrana metoda usporedbe vrijednosti prosječnih srednjih (i maksimalnih i minimalnih) godišnjih i mjesečnih protoka iz dvaju podrazdoblja, tako da je zajedničko četrdesetogodišnje razdoblje podijeljeno na starije podrazdoblje od 1981. do 2000. godine i novije podrazdoblje od 2001. do 2020. godine. Promjena prosjeka srednjih te maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka iz obaju razdoblja iskazana je indeksom promjene. Promjena prosjeka srednjih mjesečnih protoka iz obaju razdoblja iskazana je stopom promjene.

The discharge regime primarily implies the yearly course of average mean monthly and other characteristic discharges (Čanjevac, 2012). The discharge regimes are most stable component of the hydrological cycle, and the analysis of the long-term series of discharges can provide us with valuable information on the trends and variations of the climate of an area (Chiew and McMahon, 1996). Therefore, it is especially important to monitor the changes of discharge regimes, and especially at the catchment and parts of the catchment levels to determine the causes and consequences of changes in discharge regimes (Čanjevac, 2012; 2013). Recently, in Croatia, some research has been published dealing with discharge regime changes at a smaller scale (e.g. Orešić et al., 2018 for the Ilova River catchment; Čanjevac et al., 2023 for the area of Plitvice Lakes), and although they provide a methodological framework, their results refer to rivers (hydrological stations) which are relatively distant from our research area and have different discharge regime types.

In this paper, the characteristics of the discharge regimes at the stations on the Bregana and Breganica rivers in the 1991–2020 standard climatological period are presented. Then the longest period for which we have data for all three stations was analysed, which is the forty-year period from 1981 to 2020. For this period, linear trends of mean annual discharge and annual maxima and minima discharges were determined at all three stations in the Bregana basin. It should be emphasized that in both of these periods (1981–2020 and 1991–2020), all series of monthly and annual mean discharges did not show a statistically significant trend according to the Mann-Kendall test with a significance of  $\alpha = 0.05$ . Nevertheless, certain changes are evident and, therefore, to monitor contemporary changes in the discharge regimes, a method of comparing the values of the average mean (as well as maxima and minima) annual and monthly discharges from two sub-periods were chosen, so that the common forty-year period was divided into an older sub-period from 1981 to 2000 and the recent sub-period from 2001 to 2020. The change in average annual mean and maxima and minima discharges from both periods is expressed by the change index. The change in the average of the mean monthly discharges from both periods is expressed by the rate of change.

Od usporedbe promjena apsolutnih vrijednosti još je važnije bilo utvrditi je li došlo do relativne preraspodjele protoka u godišnjem hodu. To je učinjeno metodom usporedbe godišnjega hoda mjesečnih modulnih koeficijenata iz dvaju podrazdoblja. Njihova promjena također je iskazana stopom promjene. Modulne koeficijente uveo je hidrolog geograf Maurice Pardé (1933), a njihova je prednost mogućnost usporedbe tekućica različitih veličina jer je riječ o relativnim vrijednostima. Izraz za izračun modulnoga koeficijenta za svaki mjesec je:  $M_k = SQ_{mj.}/SQ_{god.}$ , odnosno srednji protok svakoga mjeseca dijeli se srednjim godišnjim protokom.

Naposljetku su utvrđene promjene u intenzitetu i položaju primarnih i sekundarnih maksimuma i minimuma u godišnjem hodu srednjih mjesečnih protoka, odnosno modulnih koeficijenata iz dvaju podrazdoblja.

## Rezultati i rasprava

### Obilježja protočnoga režima 1991. – 2020.

Sve tri hidrološke postaje u porječju Bregane imaju dovoljno dug (reprezentativni niz) i gotovo potpun niz podatka o srednjim, maksimalnim i minimalnim mjesečnim protocima za klimatološki standardno razdoblje 1991. – 2020. Bregana-remont i Koretići na Bregani imaju potpune nizove, a Svinjarići na Breganici raspolažu podacima za najmanje 25 godina. To znači da je moguće na svim trima postajama utvrditi tip protočnoga režima odnosno njegova obilježja. Osnovni parametri srednjaka protoka 1991. – 2020. prikazani su u tab. 2.

Kako bi bila olakšana usporedba i utvrđivanje tipa protočnoga režima, uobičajeno se koriste modulni koeficijenti. Postavimo li na istom dijagramu modulne koeficijente hidroloških postaja u porječju Bregane, lako možemo usporediti protočne režime u klimatološki standardnom razdoblju 1991. – 2020 (sl. 3).

Even more important than the comparison of changes in absolute values was to determine whether there was a relative redistribution of the flow over the course of the year. This was done by comparing the annual course of the monthly modular coefficients from the two sub-periods. Their change is also expressed by the rate of change. Modular coefficients were introduced by a hydrologist-geographer named Maurice Pardé (1933), and they allow comparison of rivers of different sizes (flows) because they are relative values. The expression for calculating the module coefficient for each month is:  $M_k = MQ_{month}/MQ_{year}$ , i.e. the mean discharge of each month is divided by the mean annual discharge.

Finally, the changes in the intensity and position of the primary and secondary maximum and minimum in the annual course of the mean monthly discharges, i.e. the modular coefficients from the two sub-periods, were determined.

## Results and discussion

### Characteristics of the 1991–2020 discharge regime

All three hydrological stations in the Bregana catchment have a sufficiently long (representative) and almost complete series of data on mean, maxima and minima monthly discharges for the 1991–2020 climatological standard period. Bregana-remont and Koretići stations on the Bregana River have complete series, and Svinjarići station on the Breganica River has data for at least 25 years. This means that it is possible to determine the type of discharge regime or its characteristics at all three stations. Basic parameters for mean monthly and yearly discharges are displayed in Tab. 2.

To determine and compare the discharge regime types, modular (Pardé) coefficients are commonly used. Discharge regimes in the 1991–2020 climatological standard period for all three hydrological stations in the Bregana catchment can be easily compared by presenting the modular coefficients (Fig. 3). The primary maximum at both

Tab. 2. Osnovni parametri nizova srednjih mjesečnih i srednjih godišnjih protoka ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) za hidrološke postaje Bregana-remont i Koretići na Bregani te Svinjarići na Breganici u klimatološki standardnom razdoblju 1991. – 2020. godine; N = broj članova niza, MQ = prosječni protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), SD = standardna devijacija, CVr = koeficijent varijacije

Tab. 2 Basic parameters for series of mean monthly and mean yearly discharges ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) at the Bregana-remont and Koretići hydrological stations on the Bregana River, and Svinjarići station on the Breganica River for the 1991–2020 climatological standard period; N = number of records, MQ = mean discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), SD = standard deviation, CVr = coefficient of variation

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
<b>Hidrološka postaja Bregana-remont na Bregani / Bregana-remont hydrological station on the Bregana River</b>													
N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MQ	1,32	1,53	1,80	1,67	1,35	1,00	0,82	0,85	1,04	1,11	1,38	1,66	1,29
SD	0,56	0,80	1,08	0,75	0,73	0,33	0,19	0,51	0,67	0,55	0,67	0,76	0,32
CVr	0,43	0,53	0,60	0,45	0,54	0,33	0,23	0,60	0,64	0,50	0,48	0,46	0,24
<b>Hidrološka postaja Koretići na Bregani / Koretići hydrological station on the Bregana River</b>													
N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
MQ	0,46	0,56	0,70	0,67	0,51	0,35	0,28	0,28	0,36	0,43	0,53	0,58	0,48
SD	0,19	0,31	0,52	0,38	0,27	0,13	0,08	0,17	0,22	0,22	0,26	0,27	0,12
CVr	0,42	0,56	0,75	0,56	0,53	0,38	0,27	0,60	0,62	0,51	0,49	0,47	0,26
<b>Hidrološka postaja Svinjarići na Breganici / Svinjarići hydrological station on the Breganica River</b>													
N	26	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25	24
MQ	0,18	0,20	0,22	0,22	0,20	0,17	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,20	0,17
SD	0,04	0,08	0,10	0,07	0,12	0,09	0,06	0,08	0,08	0,04	0,05	0,07	0,04
CVr	0,24	0,39	0,45	0,33	0,58	0,53	0,44	0,54	0,50	0,26	0,30	0,37	0,22

Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ

Source: Calculated from the source data of DHMZ

Primarni maksimum na objema postajama na Bregani javlja se u ožujku, na postaji Bregana-remont vrijednost modulnoga koeficijenta iznosi 1,39, a na postaji Koretići 1,47. Na Breganici (postaja Svinjarići) maksimum je pomaknut na travanj s modulnim koeficijentom 1,28. Sekundarni maksimumi su na svim trima postajama u prosincu i vrijednosti modulnoga koeficijenta iznose: Bregana-remont 1,28, Koretići 1,21, Svinjarići 1,14. Minimumi su na svim postajama u istim mjesecima, primarni se javlja srpnju, s vrijednostima modulnoga koeficijenta: Bregana-remont 0,63, Koretići 0,58, Svinjarići 0,84, a sekundarni u siječnju, s vrijednostima modulnoga koeficijenta: Bregana-remont 1,02, Koretići 0,97 i Svinjarići 1,06.

Iznadprosječni protoci se u načelu javljaju od rujna do svibnja, a očekivano su ispod godišnjega prosjeka u razmjerno toplim mjesecima kada je evapotranspiracija viša. Pomalo iznenađuje da su na postaji Svinjarići modulni koeficijenti ujednačeni tijekom godine s ob-

stations on the Bregana River occurs in March; at the Bregana-remont station the modular coefficient value is 1.39, and at the Koretići station 1.47. At the Breganica River (Svinjarići station), the maximum is shifted to April with a modular coefficient value of 1.28. The secondary maximum occurs in December at all three stations, and the modular coefficient values are: Bregana-remont 1.28, Koretići 1.21, and Svinjarići 1.14. The minima are at all stations in the same months; the primary occurs in July, with the following modular coefficient values: Bregana-remont 0.63, Koretići 0.58, and Svinjarići 0.84. The secondary minimum occurs in January, with the following modular coefficient values: Bregana-remont 1.02, Koretići 0.97, and Svinjarići 1.06.

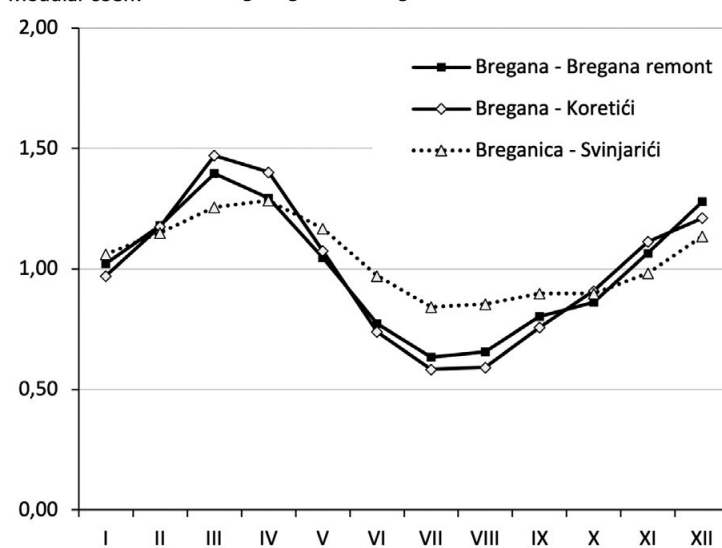
Above-average streamflow generally occurs from September to May, and expectedly it is below the annual average in relatively warm months when evapotranspiration is higher. It is somewhat surprising that the modular coefficients at the Svinjarići station are more uniform throughout



**Protočni režimi  
Bregane i Breganice**

Discharge regimes  
of the Bregana and  
Breganica rivers in  
Croatia

Protočni režimi u porječju Bregane 1991.-2020. /  
Discharge regimes in Bregana catchment 1991-2020



Sl. 3. Protočni režimi iskazani modulnim koeficijentima na postajama Bregana-remont i Koretići na Bregani i Svinjarići na Breganici u klimatološki standardnom razdoblju 1991. – 2020. godine

Fig. 3 Discharge regimes expressed by modular (Pardé) coefficients for Bregana-remont and Koretići stations on the Bregana River and Svinjarići station on the Breganica River in the 1991–2020 climatological standard period

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ

zirom na to da se radi o malom slijevnom području postaje (4 km<sup>2</sup>).

Prema navedenim obilježjima protočnoga režima sve tri postaje u porječju Bregane imaju peripanonski kišno-snježni režim prema tipologiji riječnih režima u Hrvatskoj (Čanjevac, 2013). Peripanonski kišno-snježni režim općenito ima dva maksimuma i dva minimuma tijekom godine. Prvi maksimum javlja se u ožujku (kao na Bregani) ili travnju (kao na Breganici). Drugi je maksimum uglavnom izraženiji (što ovdje nije slučaj) i javlja se u prosincu (kao na svim trima postajama u porječju Bregane) ili iznimno u studenom. Primarni minimum javlja se u kolovozu ili rjeđe, kao što je slučaj u porječju Bregane, u srpnju (razlika srpanjskoga modulnog koeficijenta u odnosu na onaj u kolovozu je 0,3 za Breganu-remont, a svega 0,1 za Koretiće i Svinjariće). Sekundarni minimum najčešće je u veljači (u porječju Bregane u siječnju). Iznadprosječne vrijednosti protoka kod peripanonskoga kišno-snježnog režima javljaju se uglavnom od studenoga do travnja, a u porječju Bregane koje je pretežito šumovita brdskog karaktera (razmjerno niske temperature i evapotranspiracija) produljene su do svibnja.

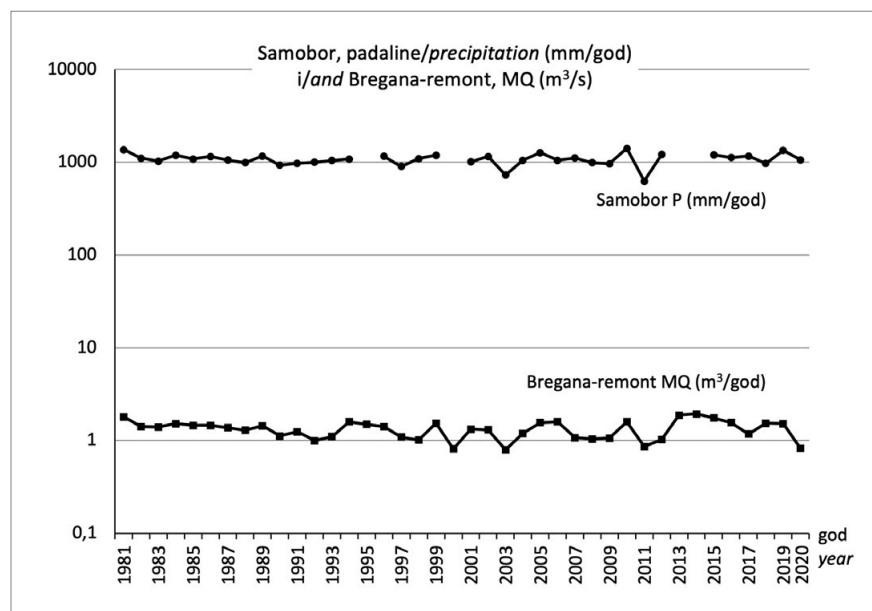
the year, given that the drainage area of the station is small (4 km<sup>2</sup>).

According to main characteristics of the discharge regime, all three stations in the Bregana drainage basin have a peri-Pannonian pluvial-nival regime according to the typology of river regimes in Croatia by Čanjevac (2013). The peri-Pannonian pluvial-nival regime generally has two maxima and two minima during the year. The first maximum occurs in March (like the Bregana River) or April (like the Breganica River). The second maximum is generally more pronounced (which is not the case here) and occurs in December (like all three stations in the Bregana catchment) or occasionally in November. The primary minimum occurs in August or sometimes, as is the case in the Bregana catchment, in July (the difference in the July modular coefficient compared to that of August is 0.3 for Bregana-remont, and only 0.1 for Koretići and Svinjarići). The secondary minimum mostly occurs in February (in the Bregana catchment in January). Above-average streamflow in the peri-Pannonian pluvial-nival regime occur mainly from November to April, and in the Bregana drainage basin, which is predominantly wooded and mountainous (relatively low temperatures and evapotranspiration), they are prolonged until May.

## Suvremene promjene protočnoga režima

Kretanje srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka

Kretanje srednjih godišnjih protoka povezano je s kretanjem srednjih godišnjih količina padalina. To pokazuje usporedba nizova godišnjih količina padalina u meteorološkim postajama Rude i Samobor i srednjih godišnjih protoka na Bregani na postaji Bregana-remont (sl. 4 i sl. 5), koja se nalazi nedaleko od ušća Bregane u Savu te dobro odražava otjecanje u porječju u cjelini.



Sl. 4. Usporedba kretanja godišnjih količina padalina na kišomjernoj postaji Rude (mm) i srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Bregana-remont na Bregani (m<sup>3</sup>/s) u razdoblju 1981. – 2020. godine

Sl. 4 Comparison of the annual precipitation amounts at the Rude precipitation station (mm) and mean annual discharges for the Bregana-remont hydrological station (m<sup>3</sup>/s) in the 1981–2020 period

Izvor: DHMZ

Source: DHMZ

U kojoj su mjeri te dvije varijable povezane može se kvantificirati Pearsonovim koeficijentom korelacije  $r$ , odnosno koeficijentom determinacije  $r^2$ . U slučaju godišnjih količina padalina postaje Samobor i srednjih godišnjih protoka na postaji Bregana-remont Pearsonov koeficijent korelacije iznosi  $r = 0,66$  i koeficijent determinacije  $r^2 = 0,436$ , a u slučaju godišnjih količina padalina postaje Rude i srednjih godišnjih protoka na postaji Bregana-remont Pearsonov koeficijent korelacije iznosi  $r = 0,77$  i koeficijent determinacije  $r^2 = 0,599$ . Dakle, u oba slučaja pokazuje se srednje jaka veza<sup>4</sup>, a ona je

<sup>4</sup> Prema Šošić i Serdar (1994) vrijednost Pearsonova koeficijenta korelacije  $r$  od 0,80 je granica od korelacije srednje jačine prema čvrstoj ko-

## Contemporary changes in discharge regime

Mean annual, annual maxima and minima discharges

Mean annual discharge course is related to the mean annual rainfall course. This is shown by a comparison of the time series of annual precipitation amounts in the Rude and Samobor meteorological stations and the mean annual discharge at the Bregana-remont hydrological station (Fig. 4 and Fig. 5), which is not far from the Bregana River mouth and thus best represents the runoff in the drainage basin as a whole.

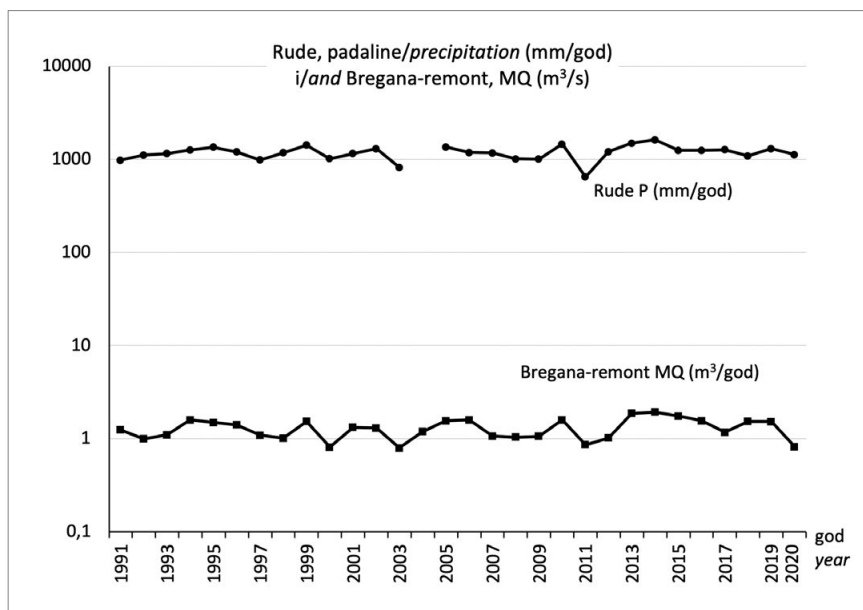
The degree to which these two variables are related can be quantified by the Pearson correlation coefficient  $r$ , and the coefficient of determination  $r^2$ . In the case of the Samobor station annual precipitation and Bregana-remont mean annual discharges, the Pearson's correlation coefficient is  $r = 0.69$  and the coefficient of determination is  $r^2 = 0.475$ ; and in the case of Rude annual precipitation and Bregana-remont mean annual discharges, the Pearson's correlation coefficient is  $r = 0.77$  and the coefficient of determination  $r^2 = 0.599$ . Therefore, in both cases, there is a medium strong relationship<sup>4</sup>

<sup>4</sup> According to Šošić and Serdar (1994) the Pearson's coefficient value  $r = 0,80$  is borderline between medium strong correlation and strong

Sl. 5. Usporedba kretanja godišnjih količina padalina na klimatološkoj postaji Samobor (mm) i srednjih godišnjih protoka na hidrološkoj postaji Bregana-remont na Bregani (m<sup>3</sup>/s) u razdoblju 1981. – 2020. godine

Sl. 5 Comparison of the annual precipitation amounts at the Samobor climatological station (mm) and mean annual discharges for the Bregana-remont hydrological station on the Bregana River (m<sup>3</sup>/s) in the 1991–2020 period

Izvor: DHMZ  
Source: DHMZ



izraženija kod Ruda, koje su s obzirom na svoj položaj u gorju reprezentativnija postaja u pogledu podataka o količinama padalina za porječje Bregane.

U zadnjem tridesetogodišnjem klimatološkom standardnom razdoblju 1991. – 2020. prosječna godišnja količina padalina za Samobor iznosi 1070,1 mm, a za Rude 1183,9 mm. Na objema meteorološkim postajama nije zabilježena statistički značajna promjena godišnjih količina padalina. To je u skladu s istraživanjima dugoročnoga kretanja godišnjih količina padalina u Hrvatskoj prema kojima je na većini meteoroloških postaja to kretanje uglavnom stagnantno (Filipčić i dr., 2013). Prema tome ne može se očekivati ni značajan trend u kretanju srednjih godišnjih protoka na hidrološkim postajama u istraživanom području.

Najdulji neprekinuti niz karakterističnih godišnjih protoka u porječju Bregane ima hidrološka postaja Bregana-remont, od 1970., te ovdje pratimo njihovo kretanje kroz 51 godinu, od 1970. – 2020. Prema prethodnim istraživanjima koja su se bavila suvremenim kretanjima srednjih godišnjih protoka općenito u Hrvatskoj (Barbalić i Kuspilić, 2014; Čanjevac i Orešić, 2015) u porječju Bregane ne možemo očekivati značajne trendove u kretanju

that it is more pronounced for Rude, which, given its position in the highlands, is a more representative station for the Bregana catchment in terms of precipitation regime.

In the last thirty-year climatological standard period from 1991 to 2020, the average annual rainfall for Samobor station was 1,070.5 mm, and 1,183.9 mm for Rude station. At both of those meteorological stations, no statistically significant change in annual rainfall was observed. This is in accordance with research into long-term trends in annual precipitation amounts in Croatia, according to which this trend is mostly stagnant (Filipčić et al., 2013). Accordingly, no significant trend of average annual discharge at the hydrological stations in the research area can be expected.

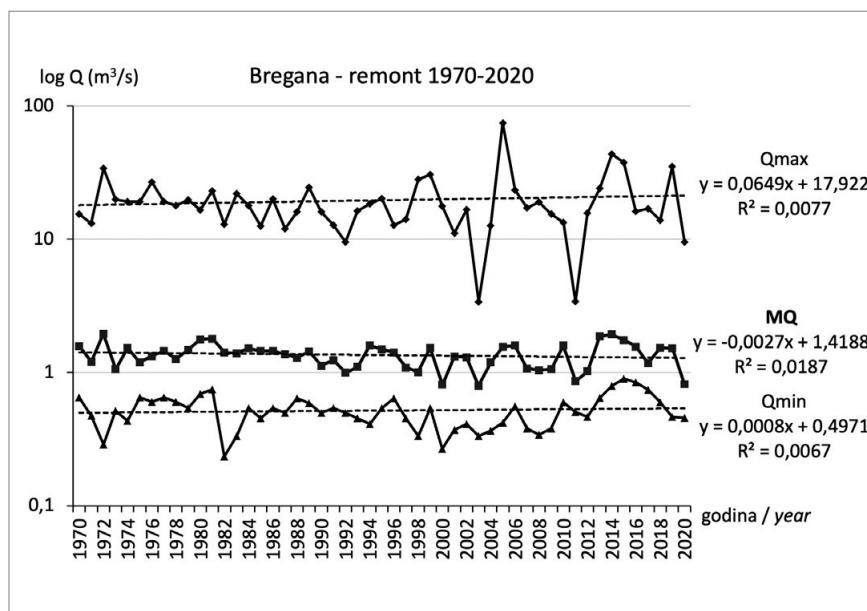
The longest continuous series of annual discharge data in the Bregana catchment is available at the Bregana-remont station: from 1970–2020. According to previous research dealing with contemporary changes in mean annual discharges in general in Croatia (Barbalić and Kuspilić, 2014; Čanjevac and Orešić, 2015), we cannot expect significant trends

relaciji. Prema Chaddockovoj ljestvici vrijednost koeficijenta od 0,64 jest granica između veze srednje jakosti i čvrste veze, a u hidrologiji se općenito smatra da je korelacijski odnos značajan ako je koeficijent determinacije veći od 0,6 (Chaddock 1925; Žugaj 2000).

corellation. According to the Chaddock scale (Chaddock, 1925), the value of a determination coefficient  $r^2$  of 0.64 is the limit between a medium strong and strong relationship. Furthermore, generally speaking, a relationship in hydrology is considered to be significant when the determination coefficient  $r^2$  is over 0.6 (Žugaj, 2000).

srednjih godišnjih protoka. Tako su na hidrološkoj postaji Bregana-remont srednji godišnji protoci u cjelokupnom razdoblju motrenja stagnantni (sl. 6) te prema Man-Kendallovu (u daljnjem tekstu M-K) testu nije potvrđen statistički značajan trend<sup>5</sup> ni u najdulje razmatranom razdoblju (1970. – 2020. M-K p-vrijednost 0,487), ni u četrdesetogodišnjem razdoblju (1981. – 2020. MK p-vrijednost 0,608) ni u klimatološki standardnom razdoblju (1991. – 2020. M-K p-vrijednost 0.475). Statistički značajan trend ne javlja se ni kod maksimalnih godišnjih protoka ni kod minimalnih godišnjih protoka ni u jednom od tih razdoblja.

in mean annual discharges in the Bregana catchment. Indeed, as expected, at the Bregana-remont hydrological station, the mean annual discharge is stagnant (Fig. 6) and, via Man-Kendall test (hereinafter M-K), no statistically significant trend<sup>5</sup> was confirmed in the total observation period (1970–2020.: M-K p-value 0.487), in the contemporary forty-year period (1981–2020: M-K p-value 0.608), or in the last climatologically standard period (1991–2020: M-K p-value 0.475). A statistically significant trend does not occur in the annual maxima discharges or annual minima discharges in any of these periods.



Sl. 6. Srednji godišnji protoci (MQ), godišnji maksimalni protoci (Qmax) i godišnji minimalni protoci (Qmin) na postaji Bregana-remont na Bregani u razdoblju 1970. – 2020.

Fig. 6. Mean annual discharges (MQ), annual maxima discharges (Qmax) and annual minima discharges (Qmin) at the Bregana-remont station on the Bregana River in the 1970–2020 period

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a  
Calculated from the source data of the DHMZ

Usporede li se podatci karakterističnih protoka na postaji Bregana-remont u dvama zadnjim dvadesetogodišnjim razdobljima (tab. 3), razvidno je da se srednji godišnji protok gotovo uopće nije promijenio. Međutim, nešto se povećao prosječni protok godišnjih maksimuma, za oko 18 %. Neznatno je porastao prosječni protok godišnjih minimuma.

Ni na hidrološkoj postaji Koretići (sl. 7), uzvodnije na Bregani, gdje raspoložemo podatcima od 1981. nema statistički značajnoga trenda u srednjim

If the characteristic discharges at Bregana-remont station are compared in last two consecutive twenty-year periods (Tab. 3), it is evident that the mean annual discharge has barely changed at all. However, the average discharge of the annual maxima increased by about 18%. The average discharge of annual minima has grown slightly.

At the Koretići station (Fig. 7) further upstream on the Bregana River, (with available data since 1981) there is also no statistically significant trend

<sup>5</sup> Mann-Kendallov test primijenjen je uz uobičajenu signifikantnost  $\alpha = 0,05$ , pa je prema tomu trend statistički značajan kad je p-vrijednost manja od 0,05.

<sup>5</sup> Mann Kendall tests here performed with commonly used significance level 0,05, so the trend is statistically significant when the p-value is less than 0.05.



Tab. 3. Srednjaci karakterističnih godišnjih protoka (m<sup>3</sup>/s) za odabrana razdoblja na postaji Bregana-remont na Bregani  
Tab. 3 Characteristic annual discharge means (m<sup>3</sup>/s) in selected periods at the Bregana-remont station on the Bregana River

Karakteristični godišnji protok / Characteristic annual discharge	Razdoblje / Period (N = broj podataka / number of records)	Prosjek / Average (m <sup>3</sup> /s)	Indeks / Index
Q <sub>max</sub>	1991. – 2020. (N=30)	20,08	-
	1981. – 2000. (N = 20)	17,84	100
	2001. – 2020. (N = 20)	21,10	118,27
MQ	1991. – 2020. (N = 30)	1,29	-
	1981. – 2000. (N = 20)	1,32	100
	2001. – 2020. (N = 20)	1,33	100,76
Q <sub>min</sub>	1991. – 2020. (N = 30)	0,51	-
	1981. – 2000. (N = 20)	0,49	100
	2001. – 2020. (N = 20)	0,53	108,16

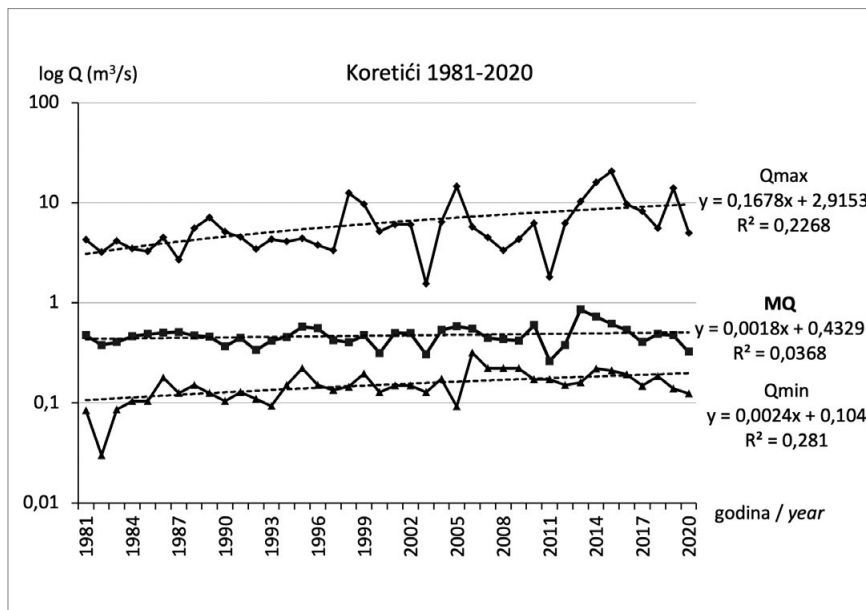
Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ-a  
Source: Calculated from the source data of the DHMZ

godišnjim protocima ni u četrdesetogodišnjem razdoblju motrenja (1981. – 2020. M-K p-vrijednost 0,470) ni u zadnjem klimatološki standardnom razdoblju (1991. – 2020. M-K p-vrijednost 0,532). No, tijekom posljednjih četrdeset godina pokazuju se nešto izraženiji porasti godišnjih maksimalnih protoka (167,8 l/god. prema linearnom regresijskom modelu) i godišnjih minimalnih protoka (2,4 l/god. prema linearnom regresijskom modelu) nego na postaji Bregana-remont. Porasti su statistički značajni prema M-K testu (Q<sub>max</sub> 1981. – 2020. M-K p-vrijednost 0,001, uz Kendallov tau<sup>6</sup> 0,35; Q<sub>min</sub> 1981. – 2020. M-K p-vrijednost 0,001, uz Kendalov tau 0,38), ali ovi četrdesetogodišnji nizovi nisu potvrđeni kao homogeni, odnosno izdvaja se novije razdoblje s nešto višim vrijednostima i veće varijabilnosti. U skladu s tim, u podjeli na dva uzastopna dvadesetogodišnja razdoblja nizovi godišnjih maksimalnih i minimalnih protoka svaki za sebe jesu homogeni, a u usporedbi se pokazao porast prosjeka svih karakterističnih veličina (tab. 4), a posebno prosjeka godišnjih maksimalnih protoka (za 58,5 %). Na maksimalne protoke postaje utjecaj imaju izrazito bujični tokovi Tisovačka Bregana i Rakovac, koji se neposredno prije postaje Koretići ulijevaju u Breganu.

in the mean annual discharges; neither in the forty-year period (1981–2020: M-K p-value 0.470), nor in the last climatologically standard period (1991–2020: M-K p-value 0.532). However, over the last forty years, an increase of annual maximum discharge (+167.8 l/year according to the linear regression model) and of annual minima discharge (+2.4 l/year according to the linear regression model) is recorded, more pronounced than at the Bregana-Remont station. Both of those trends are statistically significant according to the M-K test (Q<sub>max</sub> 1981–2020: M-K p-value 0.001, with Kendall Tau<sup>6</sup> 0.35; Q<sub>min</sub> 1981–2020: M-K p-value 0.001, with Kendall Tau 0.38). These forty-year streamflow maxima and minima series are not homogeneous, as somewhat higher values and greater variability was registered in later years. However, when divided into two consecutive twenty-year periods, they are homogeneous and, consequently, when compared there is an increase in average values of extreme discharges (Tab. 4), and especially the average of annual maxima discharges (for 58.5%). Maxima discharges at Koretići station are under the influence of extremely torrential tributaries Tisovac Bregana and Rakovac, which feed into the Bregana River just upstream of the station.

<sup>6</sup> Kendallov tau je koeficijent korelacije rangova s vrijednostima između -1 i +1; vrijednosti su pozitivne kod rastućega trenda i negativne kod padajućega; vrijednosti Kendallova tau manje od +/- 0,1 znače vrlo slabu korelaciju, od +/- 0,1 do 0,19 slabu, +/- 0,20 do 0,29 umjerenu te +/- 0,30 i više jaku korelaciju.

<sup>6</sup> Kendall's tau is a rank correlation coefficient which varies between -1 and 1; it is positive when the trend increases and negative when the trend decreases. Kendall's Tau values less than +/- 0.1 signify a very weak correlation, values between +/- 0,1 and 0,19 signify a weak correlation, values between +/- 0,20 and 0,29 signify a moderate correlation, and values over +/- 0.30 a strong correlation.



Sl. 7. Srednji godišnji protoci (MQ), godišnji maksimalni protoci (Q max) i godišnji minimalni protoci (Q min) na postaji Koretići na Bregani u razdoblju 1981. – 2020.

Fig. 7. Mean annual discharges (MQ), annual maxima discharges (Qmax) and annual minima discharges (Qmin) at the Koretići station on the Bregana River in the 1981–2020 period

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Calculated from the source data of the DHMZ

Tab. 4. Vrijednosti srednjaka karakterističnih protoka (m³/s) u odabranim razdobljima na postaji Koretići na Bregani  
Tab. 4 Characteristic annual discharge means (m³/s) in selected periods at the Koretići station on the Bregana River

Karakteristični godišnji protok / Characteristic annual discharge	Razdoblje / Period (N = broj podataka / number of records)	Prosjek / Average (m³/s)	Indeks / Index
Q max	1991. – 2020. (N = 30)	7,03	-
	1981. – 2000. (N = 20)	4,92	100
	2001. – 2020. (N = 20)	7,80	158,54
MQ	1991. – 2020. (N = 30)	0,48	-
	1981. – 2000. (N = 20)	0,45	100
	2001. – 2020. (N = 20)	0,50	111,11
Q min	1991. – 2020. (N = 30)	0,17	-
	1981. – 2000. (N = 20)	0,13	100
	2001. – 2020. (N = 20)	0,18	138,46

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ

S nešto više opreza s obzirom na nedostatak podataka valja promotriti i podatke za postaju Svinjarići na Breganici (sl. 8, tab. 5). Kao i kod postaja na Bregani, i na ovoj postaji na Breganici potvrđuje se da nema trenda u kretanju srednjih godišnjih protoka u četrdesetogodišnjem razdoblju motrenja (1981. – 2020., N = 34: M-K p-vrijednost 0,470) ni u zadnjem klimatološki standardnom razdoblju (1991. – 2020., N = 24, M-K p-vrijednost 0,532), a bilježi se porast minimalnih i maksimalnih godišnjih protoka. Iako nizovi u dvama

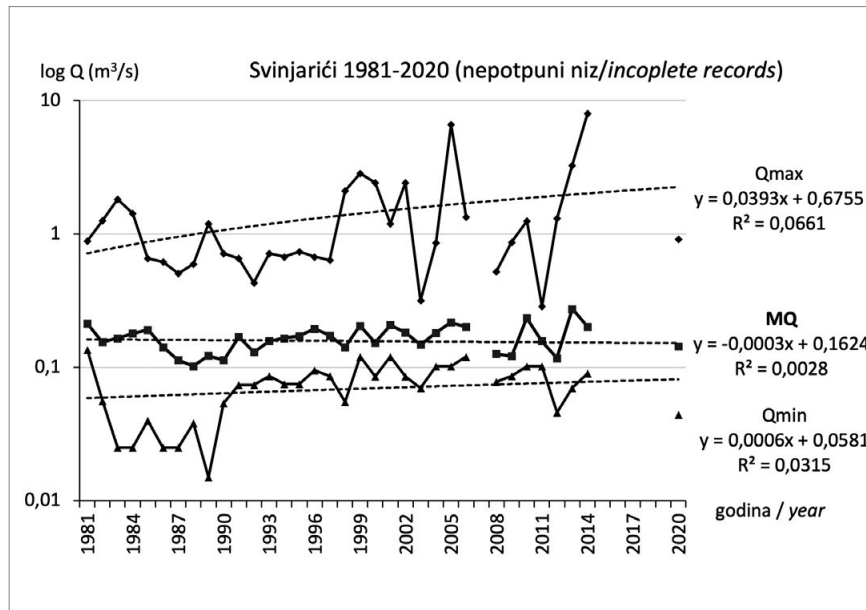
With a bit more caution, given the lack of records, the data for the Svinjarići station on the Breganica River are to be taken into account (Fig. 6, Tab. 5). As with the stations on the Bregana River, for the station on the Breganica River there is also no trend in mean annual discharges in the forty-year period (1981–2020, n = 34: M-K p-value 0.470) nor in the last climatologically standard period (1991–2020, n = 24, M-K p-value 0.532), and a positive trend in annual minima and maxima discharges was also established. Although the series in two consecutive

Sl. 8. Srednji godišnji protoci (MQ), godišnji maksimalni protoci (Q max) i godišnji minimalni protoci (Q min) na postaji Svinjarići na Breganici u razdoblju 1981. – 2020.

Fig. 8. Mean annual discharges (MQ), annual maxima discharges (Qmax) and annual minima discharges (Qmin) at the Svinjarići station on the Breganica River in 1981–2020 period

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ



Tab. 5. Vrijednosti srednjaka karakterističnih protoka (m3/s) u odabranim razdobljima na postaji Svinjarići na Breganici  
Tab. 5 Characteristic annual discharge means (m3/s) in selected periods at the Svinjarići station on the Breganica River

Karakteristični godišnji protok / Characteristic annual discharge	Razdoblje / Period (N = broj podataka / number of records)	Prosjeak / Average (m <sup>3</sup> /s)	Indeks / Index
Q <sub>max</sub>	1991. – 2020. (N = 24)	1,71	-
	1981. – 2000. (N = 20)	1,08	100
	2001. – 2020. (N = 14)	2,08	192,59
MQ	1991. – 2020. (N = 24)	0,17	-
	1981. – 2000. (N = 20)	0,16	100
	2001. – 2020. (N = 14)	0,18	112,5
Q <sub>min</sub>	1991. – 2020. (N = 24)	0,09	-
	1981. – 2000. (N = 20)	0,06	100
	2001. – 2020. (N = 14)	0,09	150

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ

uzastopnim dvadesetogodišnjim razdobljima nisu posve usporedivi zbog nedostatka 6 godišnjih vrijednosti u razdoblju 2001. – 2020., izmjereni porast prosječnih vrijednosti godišnjih minimuma i maksimuma jest indikativan i najviši je od sve tri postaje, pa je prosjek minimalnih godišnjih protoka za 50 % veći, a prosjek maksimalnih godišnjih protoka gotovo udvostručen u odnosu na prethodno razdoblje. U tom smislu važna je odlika bujičnost Breganice, odnosno lokacija postaje koja ima svega 4 km<sup>2</sup> slijevno područja, što znači da

twenty-year periods are not entirely comparable due to lack of 6 annual values in 2001–2020, the calculated increase in the average value of the annual minima and maxima discharges is indicative and the highest of all three stations: the average of annual minima discharges rose by 50% and the average of annual maxima discharges almost doubled compared to the previous period. In this matter, the torrential character of the Breganica River (actually a stream) is important, as well as the location of the station that has a drainage area of only 4 km<sup>2</sup>, meaning that

se na njoj najbrže i najintenzivnije od svih triju postaja u porječju odražavaju utjecaji povremenih pljuskova. Tako je, primjerice, u listopadu 2015. velika voda uništila dio obale, srušila limnigraf i postaja je morala biti obnovljena. Općenito je porast prosjeka maksimalnih godišnjih protoka u zadnjem dvadesetogodišnjem razdoblju u odnosu na prethodno dvadesetogodišnje razdoblje na svim trima postajama u porječju (tab. 3, 4, 5) bio pod utjecajem povremenih izrazito obilnih kišnih padalina u novije doba zbog kojih je bilo i nekoliko poplava u porječju Bregane (u godinama 2005., 2014., 2015., 2016. i 2019.), (FRISCO1, n.d.).

#### Promjene godišnjega hoda srednjih mjesečnih protoka

Najnižvodnija postaja, na kojoj se odražava stanje razmjerno malog porječja Bregane u cjelini, jest postaja Bregana-remont. Za dva zadnja dvadesetogodišnja razdoblja izračunati su srednji mjesečni protoci (tab. 6, sl. 9) i modulni koeficijenti (tab. 7, sl. 10) da bi se usporedila obilježja protočnih režima u dvama zadnjim dvadesetogodišnjim razdobljima.

Može se zaključiti da je u protočnom režimu na postaji Bregana-remont u razdoblju 2001. – 2020. došlo do određenih promjena u odnosu na 1981. – 2000. Posebno su važne promjene modulnih koeficijenata koje govore da je došlo do preraspodjele protoka tijekom godine. Primjetan je porast modulnih koeficijenata u kasnu zimu i rano proljeće (II–IV mj.) s najvećim porastom u veljači (21 %). Praktički nema izrazite promjene modulnih koeficijenata u kasno ljeto i glavni jesi (VIII–X mj.), a izdvaja se porast u studenom (22 %). S druge strane, zabilježen je relativni pad protoka u prosincu i siječnju, kao i od svibnja do srpnja, pri čemu se ističe lipanjski pad modulnoga koeficijenta (20 %). Promjene apsolutnih iznosa srednjih mjesečnih protoka sukladne su promjenama modulnih koeficijenata.

U usporedbi godišnjih hodova primarni maksimum (u ožujku) u novijem je dvadesetogodišnjem razdoblju izraženiji nego što je u starijem dvadesetogodišnjem razdoblju, dok je sekundarni maxi-

it has the fastest and most intense runoff response to occasional showers of all three stations in the catchment. Thus, for example, in October 2015, torrential streamflow destroyed part of the bank, demolished the recording gauge and the station had to be rebuilt. An increase in the average of annual maxima discharges in the last twenty-year period compared to the previous twenty-year period for all three stations in the catchment (Tabs. 3–5) was generally influenced by occasional extremely heavy rainfall in recent years, which had led to several floods in the Bregana drainage basin (in the years 2005, 2014, 2015, 2016, and 2019), (FRISCO1, n.d.).

#### Changes in the annual course of mean monthly discharges

The furthest downstream hydrological station, thus representing this relatively small Bregana catchment as a whole, is Bregana-remont station. For the latest two twenty-year periods, mean monthly discharges (Tab. 6, Fig. 9) and modular coefficients (Tab. 7, Fig. 10) are given so that the comparison of drainage regimes in those two periods may be made.

It can be concluded that there were certain changes in the discharge regime at the Bregana-remont station in the 2001–2020 period compared to 1981–2000. The changes in the modular coefficients, which attest to streamflow redistribution in the annual course, are especially indicative. There is a noticeable increase in modular coefficients in late winter and early spring (II–IV months) with the highest increase in February (21%). There is no significant change in the modular coefficients in late summer and most of autumn (VIII–X months), but the increase in November (22%) stands out. On the other hand, a relative drop of mean streamflow was recorded in December and January, as well as from May to July, where the June drop in the modular coefficient (20%) particularly stands out. Changes of absolute values of mean monthly discharges are consistent with the changes of the modular coefficients.

In annual course comparison, the primary maximum (in March) is more pronounced in the recent twenty-year period than in the previous twen-



Tab. 6. Usporedba srednjih mjesečnih protoka (m<sup>3</sup>/s) za hidrološku postaju Bregana-remont na Bregani u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020.  
Tab. 6 Comparison of mean monthly discharges (m<sup>3</sup>/s) at the Bregana-remont hydrological station on the Bregana River in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	1,43	1,36	1,87	1,66	1,41	1,28	0,96	0,85	1,03	1,12	1,18	1,74	1,32
2001. – 2020.	1,22	1,65	2,07	1,71	1,37	1,02	0,82	0,89	1,07	1,13	1,44	1,53	1,33
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	-0,21	0,28	0,20	0,06	-0,03	-0,25	-0,14	0,05	0,04	0,01	0,26	-0,21	0,00
Razlika / Difference (%)	-15,0	+20,9	+10,5	+3,5	-2,4	-19,9	-14,8	+5,4	+3,5	+0,9	+22,0	-12,2	0,2

Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ  
Source: Calculated from the source data of DHMZ

Tab. 7. Usporedba modularnih koeficijenata srednjih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Bregana-remont na Bregani u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020.

Tab. 7 Comparison of modular coefficients at the Bregana-remont hydrological station on the Bregana River in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	1,08	1,03	1,41	1,25	1,06	0,96	0,73	0,64	0,78	0,85	0,89	1,32	1,00
2001. – 2020.	0,92	1,24	1,56	1,29	1,03	0,77	0,62	0,67	0,81	0,85	1,09	1,15	1,00
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	-15,2	+20,7	+10,3	+3,3	-2,5	-20,0	-14,9	+5,2	+3,4	+0,7	+21,8	-12,3	-

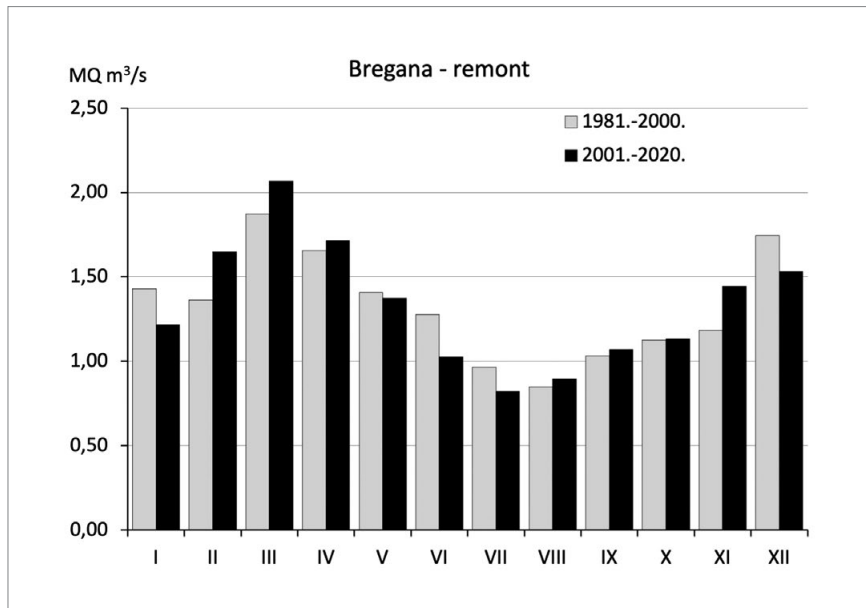
Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ  
Source: Calculated from the source data of DHMZ

mum (u prosincu) manje izražen. Došlo je do pomaka minimuma, pa je primarni minimum pomaknut ranije u ljetu, s kolovoza na srpanj, dok je sekundarni minimum pomaknut s veljače na siječanj.

Na postaji Koretići (tab. 8, sl. 11 te tab. 9, sl. 12), uzvodnije na Bregani, postoje određene sličnosti i razlike u odnosu na promjene na postaji Bregana-remont. Na postaji Koretići je, kao i na postaji Bregana-remont, zabilježen porast modularnih koeficijenata u kasnu zimu i proljeće (II–IV mj.), opet najviše u veljači (20 %), a prilično i u ožujku (14 %). Slično kao na postaji Bregana-remont, i na postaji Koretići nema značajnije promjene modularnih koeficijenata u ranu jesen, no s izraženim porastom modularnoga koeficijenta izdvojio se kolovoz (17 %). Jednako kao i na postaji Bregana-remont, i na postaji Koretići zabilježen je apsolutni i relativni pad protoka u prosincu i siječnju, kao i relativni ljetni

ty-year period, while the secondary maximum (in December) is less pronounced. There was a shift of the minima, so the primary minimum moved to earlier in the summer, from August to July, while the secondary minimum moved from February to January.

At the Koretići station (Tab. 8, Fig. 11 and Tab. 9, Fig. 12), further upstream at Bregana, there are certain similarities and differences compared to the Bregana-remont station. At the Koretići station, as well as at the Bregana-remont station, an increase in modular coefficients is recorded in late winter and spring (II–IV months), again the highest in February (20%), and a considerable amount in March (14%). Like at the Bregana-remont station, there was no significant change in the modular coefficients in autumn at the Koretići station, but August (17%) stood out with a marked

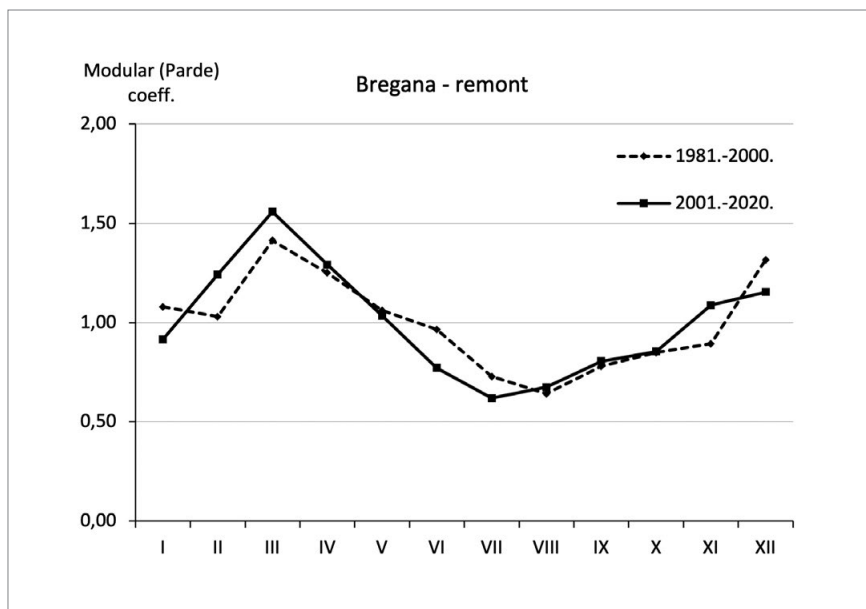


Sl. 9. Usporedba protočnih režima na postaji Bregana-remont u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. godine izražena godišnjim hodom srednjih mjesečnih protoka (MQ) u m<sup>3</sup>/s

Fig. 9 Comparison of discharge regimes at the Bregana-remont station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods expressed as annual course of mean monthly discharges (MQ) in m<sup>3</sup>/s

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ



Sl. 10. Usporedba protočnih režima na postaji Bregana-remont u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. izražena godišnjim hodom modularnih koeficijenata srednjih mjesečnih protoka

Fig. 10 Comparison of discharge regimes at the Bregana-remont station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods expressed by modular (Pardé) coefficients

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Calculated from the source data of the DHMZ

pad od svibnja do srpnja, s tim da je ljetni pad modularnih koeficijenata nešto manje izražen (a u promjenama apsolutnih vrijednosti bilježi se samo u lipnju).

Promjene u položaju i izrazitost maksimuma i minimuma u protočnom režimu gotovo su istovjetne na postaji Koretići kao na postaji Bregana-remont. Tako je primarni maksimum (u ožujku) u novijem dvadesetogodišnjem razdoblju

increase in the modular coefficient. Just as at the Bregana-remont station, an absolute and relative decrease of mean streamflow was recorded at the Koretići station in December and January, as well as a relative summer decrease from May to July. However, the summer decrease in modular coefficients is somewhat less pronounced (and in terms of change in absolute discharge values, it was recorded only in June).

Tab. 8. Usporedba srednjih protoka (m<sup>3</sup>/s) za hidrološku postaju Koretići na Bregani u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020.

Tab. 8 Comparison of mean monthly discharges (m<sup>3</sup>/s) at the Koretići hydrological station on the Bregana River in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	0,46	0,45	0,65	0,60	0,49	0,40	0,27	0,23	0,34	0,41	0,44	0,60	0,45
2001. – 2020.	0,44	0,60	0,83	0,71	0,54	0,37	0,28	0,30	0,36	0,43	0,54	0,53	0,50
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	-0,02	0,15	0,17	0,11	0,05	-0,02	0,01	0,07	0,03	0,03	0,10	-0,06	0,05
Razlika / Difference (%)	-5,2	+33,7	+26,8	+17,6	+9,7	-5,5	+3,0	+30,1	+7,6	+6,2	+22,1	-10,5	+11,2

Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ

Source: Calculated from the source data of DHMZ

Tab. 9. Usporedba modularnih koeficijenata srednjih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Koretići na Bregani u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020.

Tab. 9 Comparison of modular coefficients at the Koretići hydrological station on the Bregana River in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	1,04	1,01	1,46	1,36	1,10	0,89	0,62	0,52	0,76	0,91	0,99	1,34	1,00
2001. – 2020.	0,88	1,22	1,67	1,44	1,09	0,75	0,57	0,61	0,73	0,87	1,09	1,08	1,00
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	-14,8	+20,2	+13,9	+5,7	-1,4	-15,1	-7,5	+16,9	-3,3	-4,6	+9,8	-19,6	-

Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ

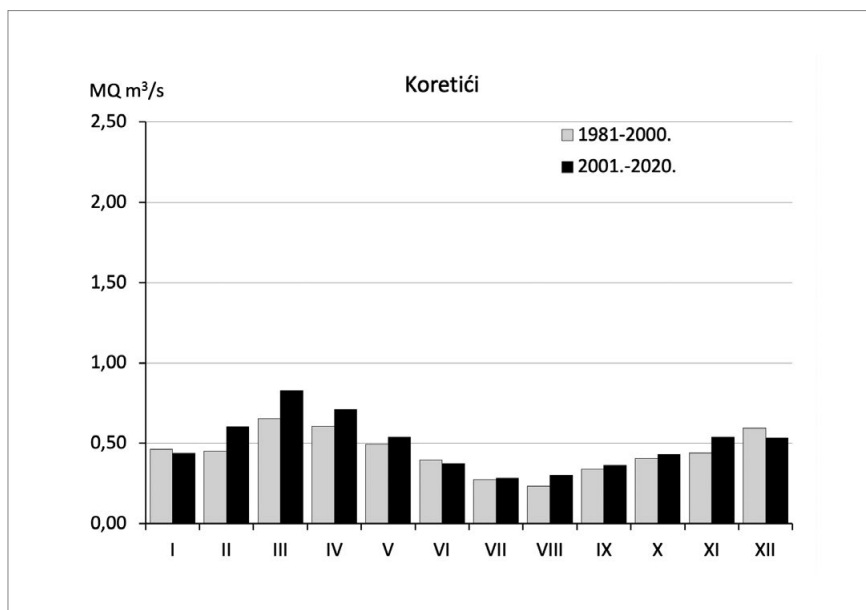
Source: Calculated from the source data of DHMZ

izraženiji nego što je u starijem dvadesetogodišnjem razdoblju, a sekundarni maksimum manje je izražen, ali na postaji Koretići više nije formalno u prosincu, već u studenom (iako su vrijednosti mjesečnih modularnih koeficijenata vrlo blizu). Kao i kod postaje Bregana-remont došlo je do istovjetna pomaka minimuma, tj. primarni minimum pomaknut je s kolovoza na srpanj, dok je sekundarni minimum pomaknut s veljače na siječanj.

Razmatranju promjena protočnih režima na postaji Svinjarići na Breganici treba prići s oprezom s obzirom na to da nizovi nisu jednako dugi, tj. u razdoblju 1981. – 2000. ima svih 20 podataka, no u razdoblju 2001. – 2020. nedostaje četiri ili pet podataka u nizovima pojedinih mjeseca. U usporedbi protočnih režima ima određenih sličnosti, ali i razlika u odnosu na postaje na Bregani, koje dijelom mogu biti posljedica nedostatka

The changes in the position and the distinctness of the maxima and minima in the discharge regime are almost the same at the Koretići station as at the Bregana-remont station. Thus, the primary maximum (in March) in the recent twenty-year period is more pronounced than in the previous twenty-year period, and the secondary maximum is less pronounced, but at Koretići station it is no longer formally in December, rather in November (although the values of the monthly modular coefficients are very close). As with the Bregana-remont station, there was an identical shift of the minima, i.e. the primary minimum was moved from August to July, while the secondary minimum was moved from February to January.

In reviewing the changes of discharge regime at the Svinjarići station on Breganica River attention should be drawn to the fact that the series are not equally long, i.e. the period 1981–2000 has com-

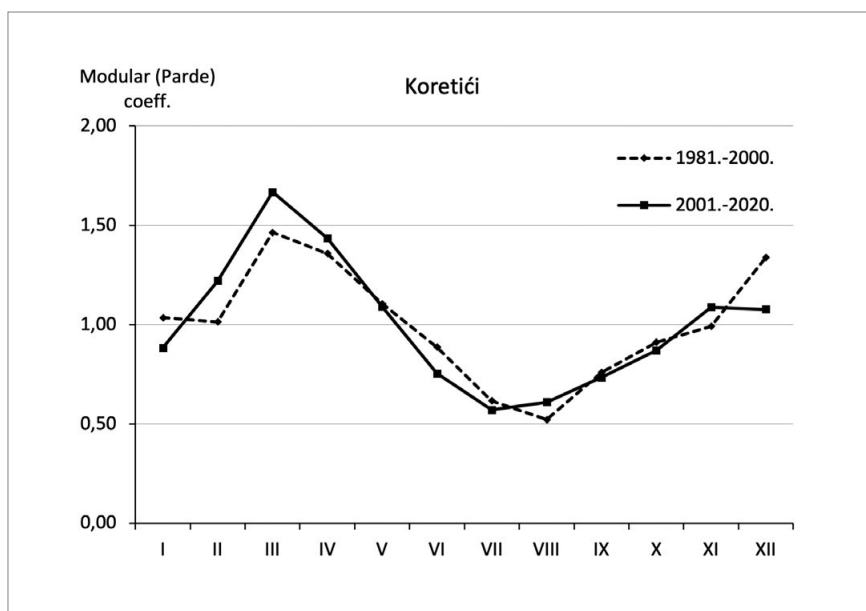


Sl. 11. Usporedba protočnih režima na postaji Koretići u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. izražena godišnjim hodom srednjih mjesečnih protoka (MQ) u m<sup>3</sup>/s

Fig. 11 Comparison of discharge regimes at the Koretići station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods expressed as annual course of mean monthly discharges (MQ) in m<sup>3</sup>/s

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ



Sl. 12. Usporedba protočnih režima na postaji Koretići u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. izražena godišnjim hodom modularnih koeficijenata srednjih mjesečnih protoka

Fig. 12 Comparison of discharge regimes at the Koretići station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods expressed by modular (Pardé) coefficients

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Calculated from the source data of the DHMZ

podataka, ali i činjenice da je postaja Svinjarići postaja s malim slijevnim područjem (4 km<sup>2</sup>) na kojem su moguće izraženije lokalne posebnosti.

plete records, but in the period 2001–2020 four or five records are missing in certain monthly series. In the comparison of discharge regimes, there are certain similarities, but also differences compared to the stations on Bregana River, which may be in part due to incomplete records, but also because the Svinjarići station is a station with a small drainage area (4 km<sup>2</sup>) where local peculiarities may be more pronounced.



Tab. 10. Usporedba srednjih protoka (m<sup>3</sup>/s) za hidrološku postaju Svinjarići na Breganici u razdobljima 1981. – 2000. (N = 20) i 2001. – 2020. (nepotpuni niz, N = 15 ili 16)

Tab. 10 Comparison of mean monthly discharges (m<sup>3</sup>/s) at the Svinjarići hydrological station on the Breganica River in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	0,17	0,16	0,21	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,13	0,13	0,15	0,19	0,16
2001. – 2020.	0,18	0,22	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,17	0,17	0,16	0,18	0,19	0,18
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	0,02	0,06	0,04	0,03	0,04	0,03	0,02	0,06	0,04	0,03	0,03	0,00	0,02
Razlika / Difference (%)	+10,2	+37,0	+18,7	+16,0	+26,8	+18,4	+19,2	+49,7	+32,1	+20,2	+17,0	+1,5	13,7

Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ

Source: Calculated from the source data of DHMZ

Tab. 11. Usporedba modularnih koeficijenata srednjih mjesečnih protoka za hidrološku postaju Svinjarići na Breganici u razdobljima 1981. – 2000. (N = 20) i 2001. – 2020. (nepotpuni niz, N = 15 ili 16)

Tab. 11 Comparison of modular coefficients at the Svinjarići hydrological station on the Breganica River in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

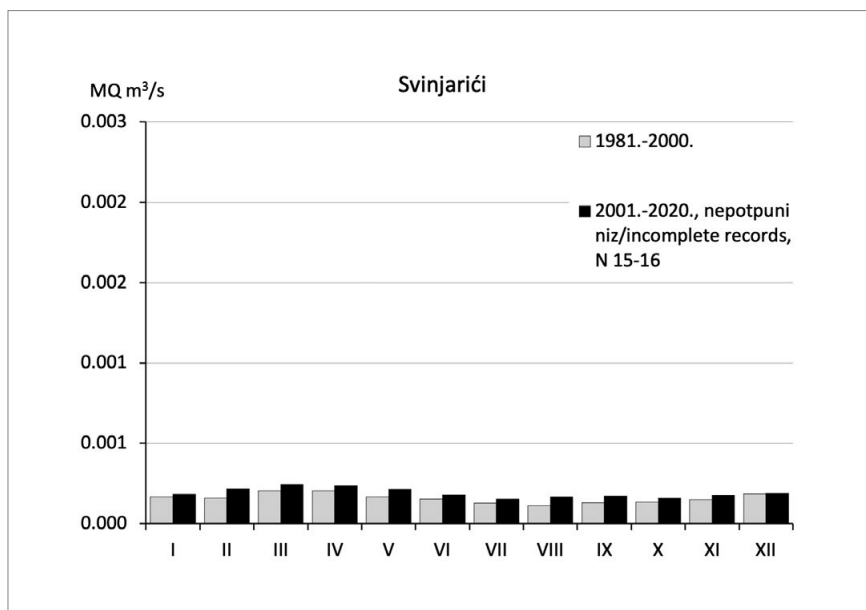
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	1,05	1,00	1,31	1,29	1,06	0,97	0,81	0,70	0,82	0,84	0,96	1,18	1,00
2001. – 2020.	1,02	1,20	1,36	1,32	1,18	1,01	0,85	0,93	0,95	0,89	0,98	1,06	1,00
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	-3,1	+20,5	+4,4	+2,0	+11,5	+4,1	+4,8	+31,6	+16,2	+5,7	+2,9	-10,7	-

Izvor: Izračunato prema podacima DHMZ

Source: Calculated from the source data of DHMZ

Posebnost je da je od triju postaja jedino na postaji Svinjarići zabilježen apsolutni porast protoka u usporedbi dvaju razdoblja, i to u svim mjesecima (tab. 10, sl. 13), u rasponu od svega 1,5 % u prosincu do čak 50 % u kolovozu. Tim je važnije promotriti modulne koeficijente u usporedbi po starijem i novijem razdoblju (tab. 11, sl. 14). Iako ima razlika, postoje određene sličnosti u promjenama godišnjega hoda modulnih koeficijenata s postajama na Bregani. U svim mjesecima, osim u prosincu i siječnju, bilježi se veći ili manji rast modulnih koeficijenata. Dakle, pao je udio protoka u dijelu zime kao i kod postaja na Bregani. Također se može reći da je porast u kasnu zimu i proljeće kakav bilježe postaje na Bregani donekle prisutan i na postaji Svinjarići, odnosno predstavljen značajnijim porastom modulnoga koeficijenta u veljači (20,5 %). Najvažnija je razlika u odnosu na postaje na Bregani da

It is interesting that, of the three stations, only the Svinjarići station recorded an absolute mean discharge increase in comparison of the two twenty-year periods, in all months (Tab. 10, Fig. 13), ranging from only 1.5% in December to as much as 50% in August. It is, therefore, all the more important to compare the modular coefficients of the two periods (Tab. 11, Fig. 14). Although there are differences, there are certain similarities in the changes of the annual course of the modular coefficients with the stations on the Bregana River. In all months, except for December and January, a greater or lesser growth of modular coefficients was recorded. Therefore, as is the case at stations on the Bregana River, the discharge share fell in the early winter. The increase in late winter and spring, as recorded at stations on the Bregana River, was also detected at the Svinjarići station, represented by a significant increase in the modular coefficient for February (20.5%). The most

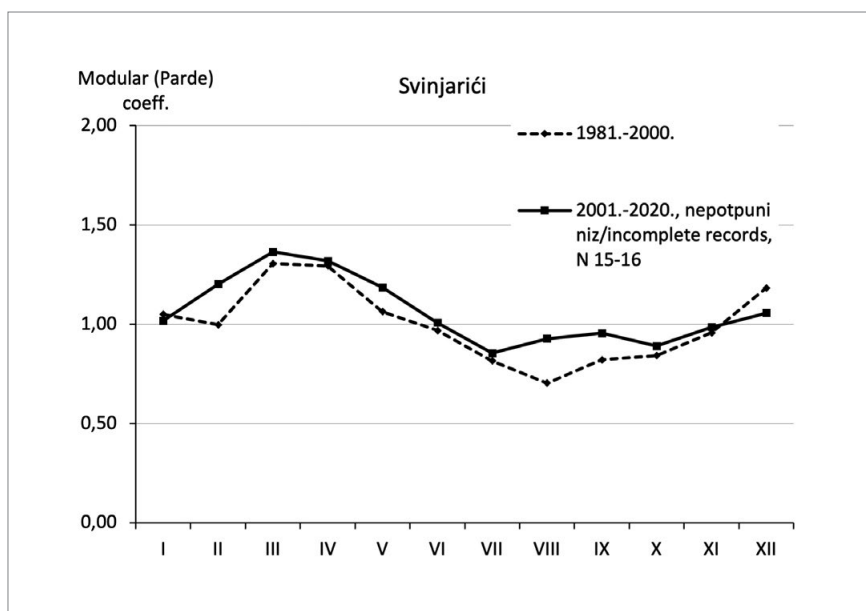


Sl. 13. Usporedba protočnih režima na postaji Svinjarići u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. izražena godišnjim hodom srednjih mjesečnih protoka (MQ) u m<sup>3</sup>/s

Fig. 13 Comparison of discharge regimes at the Svinjarići station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods expressed as annual course of mean monthly discharges (MQ) in m<sup>3</sup>/s

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Source: Calculated from the source data of the DHMZ



Sl. 14. Usporedba protočnih režima na postaji Svinjarići u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. izražena godišnjim hodom modularnih koeficijenata srednjih mjesečnih protoka

Fig. 14 Comparison of discharge regimes at the Koretici station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods expressed by modular (Pardé) coefficients

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ-a

Calculated from the source data of the DHMZ

na postaji Svinjarići na Breganici, prema doduše nepotpunom nizu novijega razdoblja, nije zabilježen apsolutni ni relativni ljetni pad protoka, odnosno nema nekih značajnijih promjena modularnih koeficijenata u razdoblju od ožujka do srpnja. Kao i kod Koretića, bilježi se izraženi porast u kolovozu (32 %) koji se u Svinjarićima nastavlja i na rujnu (16 %).

Kao što je to na postajama na Bregani, na po-

important difference compared to the stations on the Bregana River is that at the Svinjarići station on the Breganica River (although there is incomplete data from the recent twenty-year period) neither absolute nor relative summer discharge decline was recorded, i.e. there were no significant changes in modular coefficients in the period from March to July. As at Koretici station, at Svinjarići station there is a marked increase in August (32%), which continues in September (16%).

staji Svinjarići na Breganici došlo je do pomaka primarnoga minimuma s kolovoza na srpanj i sekundarnoga minimuma s veljače na siječanj. Također, kao što je to na postajama na Bregani, i na postaji Svinjarići primarni maksimum nešto je izraženiji, a sekundarni je manje izražen.

Može se zaključiti da je na svim trima postajama u porječju Bregane u usporedbi dvaju uzastopnih dvadesetogodišnjih razdoblja (1981. – 2000. i 2001. – 2020.) zabilježeno smanjenje udjela protoka u ranu zimu (prosinao i siječanj na Bregani, prosinao na Breganici) i povećanje udjela protoka u kasnu zimu i rano proljeće (uglavnom veljača i ožujak) te da je na objema postajama na Bregani zabilježen pad udjela protoka ljeti (posebno u lipnju). Na svim trima postajama primarni maksimum u ožujku nešto je izraženiji, a sekundarni maksimum u prosincu (studeni kod Koretića) manje je izražen. Postajama u porječju Bregane zajednički je i pomak primarnoga minimuma s kolovoza na srpanj i sekundarnoga minimuma s veljače na siječanj u novijem od uspoređenih razdoblja.

Utvrđivanje uzroka ovih promjena zahtijevalo bi zasebno kompleksno istraživanje, ali moguće je o njima stručno spekulirati prema podacima relevantnih meteoroloških postaja. Na klimatološkoj postaji Samobor mogu se pratiti padaline i temperature 1981. – 2020., a na kišomjernoj postaji Rude mogu se pratiti samo padaline, i to od 1991. godine. Na temelju usporedbe srednjaka mjesečnih padalina i temperatura zraka na klimatološkoj postaji Samobor iz dvaju dvadesetogodišnjih razdoblja možemo pretpostaviti da je jedan od uzroka ljetnoga smanjenja protoka u porječju Bregane (posebno u lipnju) utvrđeni pad padalina u klimatološkom ljetu, posebno u lipnju (tab. 12) te ljetno povećanje srednjih mjesečnih temperatura zraka (opet posebno u lipnju, tab. 13), što znači veću evapotranspiraciju i manje otjecanje. Na kišomjernoj postaji Rude nije moguća istovjetna usporedba, no podatci o mjesečnim padalinama u razdoblju 1991. – 2021. potvrđuju pad ljetnih padalina, u lipnju, srpnju i kolovozu, iako prema M-K testu ni u jednom od njih nije statistički značajan.

Valja istaknuti da se na klimatološkoj postaji Samobor pokazalo da je srednja godišnja

Like at the stations on the Bregana River, there was a shift of the primary minimum from August to July and of the secondary minimum from February to January at the Svinjarići station on the Breganica River. Also, the primary maximum is somewhat more pronounced, and the secondary maximum is less pronounced.

It can be concluded that for all three stations in the Bregana catchment, when comparing two consecutive twenty-year periods (1981–2000 and 2001–2020), there was a decrease in the early winter discharge share (December and January on the Bregana River, December on the Breganica River) and an increase of the late winter and early spring discharge share (mostly February and March), and that for both stations on the Bregana River, a reduction in the summer discharge share (especially in June) was recorded. At all three stations, the primary maximum in March is slightly more pronounced, and the secondary maximum in December (November at Koretići station) is less pronounced. Also, primary minimum moved from August to July and secondary minimum from February to January in the recent twenty-year period.

Determining the causes of these changes would require separate research, but it is possible to speculate on them in relation to the data of relevant meteorological stations. Samobor station recorded precipitation and air temperatures for 1981–2020, and Rude (precipitation) station has only recorded precipitation (since 1991). Based on the comparison of monthly means of precipitation and air temperature at the Samobor climatological station from two twenty-year periods, we can assume that one of the causes of the summer discharge decrease in the Bregana catchment (especially in June) is a recorded drop of precipitation in the climatological summer, especially in June (Tab. 12), and more so the summer increase in medium monthly air temperatures (again especially in June; Tab. 13), meaning greater evapotranspiration and less runoff. A comparison of the two twenty-year periods is not possible with data from the Rude station, as it began recording data in 1991, but for the period 1991–2021 a decline in summer precipitation is confirmed, i.e. in June, July and August, although according to the M-K test, in none of them are statistically significant.

Tab. 12. Usporedba srednjih mjesečnih količina padalina (mm) u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. na klimatološkoj postaji Samobor  
Tab. 12 Comparison of mean monthly precipitations (mm) at the Samobor climatological station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	50,5	54,2	65,7	68,1	89,6	129,9	101,8	117,1	110,1	106,4	96,9	88,3	1082,3
2001. – 2020.	62,7	72,4	68,7	76,5	102,3	89,8	102,4	95,9	130,9	105,7	98,8	79,9	1077,4
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	24,3	33,6	4,7	12,3	14,2	-30,8	0,6	-18,2	18,9	-0,6	2,0	-9,5	-0,5

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ  
Source: Calculated from the source data of DHMZ

Tab. 13. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura (°C) u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. na klimatološkoj postaji Samobor  
Tab. 13 Comparison of mean monthly air temperatures (°C) at the Samobor climatological station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	godina / year
1981. – 2000.	0,2	1,7	6,7	11,3	16,1	19,2	21,1	20,5	16,4	11,0	4,9	1,4	10,8
2001. – 2020.	0,9	2,5	7,3	12,5	16,9	20,9	22,5	21,7	16,4	11,7	7,0	1,8	11,8
Razlika / Difference (m <sup>3</sup> /s)	+0,7	+0,8	+0,7	+1,2	+0,8	+1,7	+1,4	+1,2	0,0	+0,7	+2,0	+0,4	+1,0

Izvor: Izračunato prema podatcima DHMZ  
Source: Calculated from the source data of DHMZ

temperatura zraka u novijem dvadesetogodišnjem razdoblju (2001. – 2020.) za čak 1 °C viša u odnosu na prethodno dvadesetogodišnje razdoblje (1981. – 2000.). Jedino je u rujnu srednja mjesečna temperatura ostala ista, dok se u svim ostalim mjesecima bilježi njezin porast. Porast srednje mjesečne temperature preko 1 °C bilježe travanj, lipanj, srpanj, kolovoz te studeni.

Na smanjenje udjela protoka u ranu zimu (u prosincu na svim trima hidrološkim postajama u porječju Bregane) vjerojatno je utjecalo smanjenje padalina u prosincu, zabilježeno u usporedbi srednjaka iz dvaju dvadesetogodišnjih razdoblja na klimatološkoj postaji Samobor, a potvrđeno i na kišomjernoj postaji Rude u razdoblju 1991. – 2021.

U čimbenike koji pak utječu na povećanje udjela protoka u kasnu zimu i rano proljeće (uglavnom veljača i ožujak) valja ubrojiti porast količine padalina u siječnju i veljači (tab. 12), ali i smanjenje broja dana sa snježnim pokrivačem

It should be pointed out that at the Samobor station, the mean annual air temperature is as much as 1 °C higher in the recent twenty-year period (2001–2020) compared to the previous twenty-year period (1981–2000). Only in September, did the mean monthly temperature remain the same, while in all other months the temperature increased. An increase in medium monthly temperature over 1 °C is recorded in April, June, July, August, and November.

Regarding the reduced early winter discharge share (in December, for all three hydrological stations), the probable influence is the decrease in December precipitation, recorded at the Samobor meteorological station in two consecutive twenty-year period comparison, and confirmed at the Rude meteorological station for the 1991–2021 period.

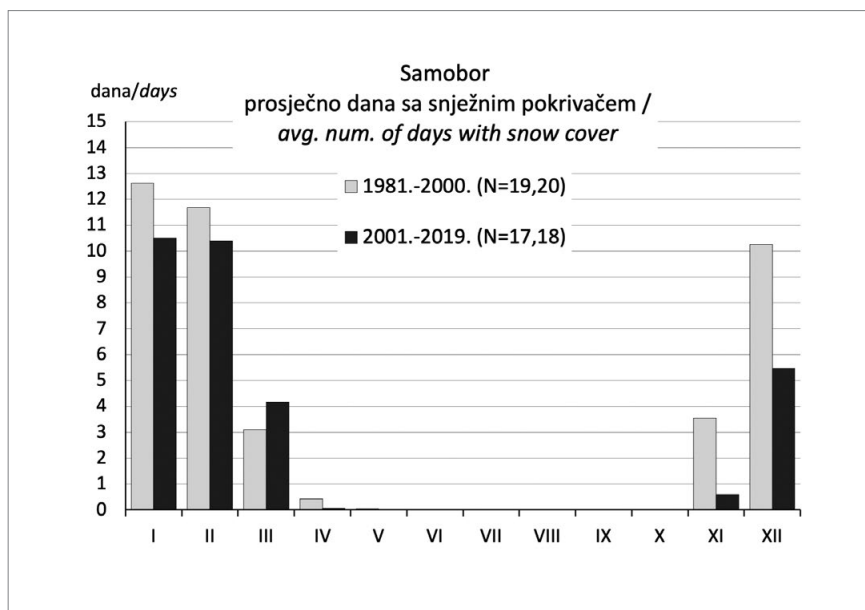
Among the factors that in turn affect the increase in the late winter and early spring discharge share (mostly February and March) there are: the increased amount of precipitation in January and February (Tab. 12), and the reduced number of days

Sl. 15. Usporedba godišnjeg hoda prosječnog broja dana sa snježnim pokrivačem (>=1cm) na klimatološkoj postaji Samobor u razdobljima 1981. – 2000. i 2001. – 2020. godine

Fig. 15 Comparison of annual courses of the average number of days with snow cover (>=1cm) at the Samobor climatological station in the 1981–2000 and 2001–2020 periods

Izvor: DHMZ

Source: DHMZ

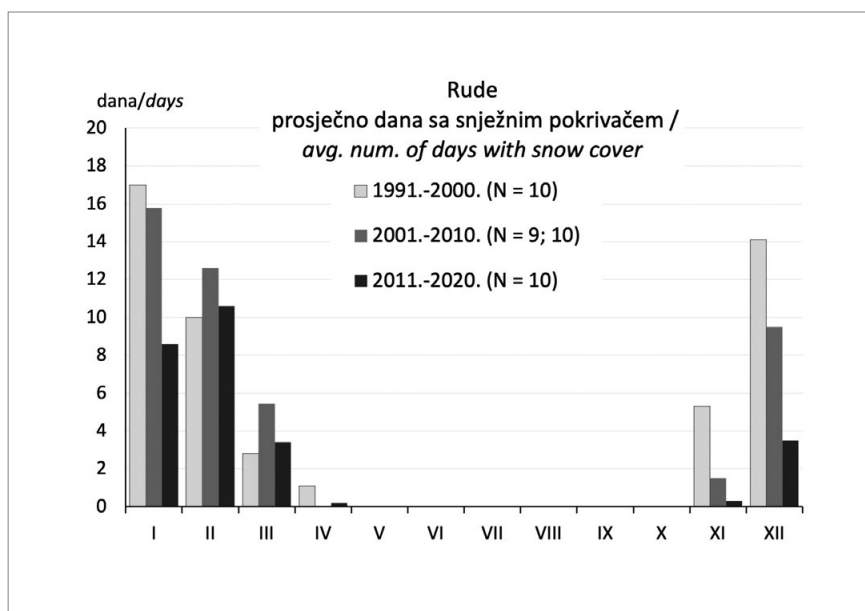


Sl. 16. Godišnji hodovi prosječnog broja dana sa snježnim pokrivačem (>=1cm) na klimatološkoj postaji Rude u tri zadnje dekade, 1991. – 2000., 2001. – 2010. i 2011. – 2020. godine

Fig. 16 Annual courses of the average number of days with snow cover (>=1c) m at the Rude precipitation station in the 1991–2000, 2001–2010 and 2011–2020 periods

Izvor: DHMZ

Source: DHMZ



(sl. 15 i 16)<sup>7</sup>, odnosno smanjenje udjela snijega u padalinama, što vodi prema većem izravnom otjecanju kišnih padalina.

with snow cover (Fig. 15 and 16)<sup>7</sup>, also meaning a reduction in the proportion of snow in precipitation, leading to a greater direct runoff of rain precipitation.

<sup>7</sup> Na meteorološkoj postaji Samobor podatci o broju dana sa snježnim pokrivačem omogućuju usporedbu u dvama zadnjim dvadesetogodišnjim razdobljima, a na meteorološkoj postaji Rude, s obzirom na duljinu niza podataka (od 1991.), provedena je usporedba zadnjih triju dekada. Postaja Mrzlo Polje Žumberačko ima previše manjkave nizove za kvalitetnu usporedbu, ali opća je slika ista kao na prethodnim dvjema postajama, a to je znatno smanjenje broja dana sa snijegom, posebno u prosincu.

<sup>7</sup> At the Samobor climatological station, the data on the number of days with snow cover enable the comparison of the two consecutive twenty-year periods, but at the Rude precipitation station the same data have only been recorded since 1991, so the last three decades are compared. The Mrzlo Polje Žumberačko precipitation station lacks many data, but the general picture is the same as on the previous two stations, which is a significant reduction in the number of days with snow, especially in December.



## ZAKLJUČAK

U porječju Bregane na svima trima hidrološkim postajama nije zabilježen trend u kretanju srednjega godišnjeg protoka. Srednji godišnji protoci u 40 godina, od 1981. do 2020. godine, praktički su stagnantni, što je u skladu s kretanjem godišnjih količina padalina na reprezentativnim meteorološkim postajama Samobor i Rude. Rezultati potvrđuju prethodno istraživanje Barbalića i Kuspilića (2014) koje je uključilo postaje na Bregani, koje su imale stagnatno kretanje srednjih godišnjih protoka u nešto kraćem nizu 1980. – 2009., kao i prethodno istraživanje Čanjevca i Orešića (2015), koje je uključivalo postaju Beganaremont, gdje također na kraćem nizu 1990. – 2009. nije bilo statistički značajna trenda promjene srednjega godišnjeg protoka.

Na sve tri hidrološke postaje postaje u porječju Bregane zabilježen je blagi porast prosjeka godišnjih minimalnih protoka i izraženiji porast prosjeka godišnjih maksimalnih protoka u zadnjem dvadesetogodišnjem razdoblju 2001. – 2020. u odnosu na prethodno dvadesetogodišnje razdoblje 1981. – 2000., što je izrazitije u postajama s manjim slijevnim područjem (Koretići na Bregani i Svinjarići na Breganici, na kojima su zabilježeni i rastući linearni trendovi godišnjih maksimalnih i minimalnih protoka). Ovaj rezultat potvrđuje i nadopunjuje prethodna istraživanja Ivezića i dr. (2019) koji su utvrdili trend povećanja maksimalnih godišnjih protoka u istraživanom području, posebno nakon 2000. godine (postaja Beganaremont 1970. – 2015. te Koretići i Svinjarići 1980. – 2012.). Spekulativno, porast godišnjih maksimuma moguća je posljedica povećanja udjela kratkotrajnijih a intenzivnijih padalina kao generalna posljedica klimatskih promjena, pri čemu manja slijevna područja imaju brz i intenzivniji odraz u protocima, no to nije bio predmet ovoga istraživanja. Ipak, indikativno je da je porast godišnjih maksimalnih protoka u zadnjem dvadesetogodišnjem razdoblju bio i pod utjecajem povremenih intenzivnih obilnih padalina zbog kojih je bilo i nekoliko poplava u porječju Bregane (2005., 2014. i 2015.).

## CONCLUSION

At all three hydrological stations in the Bregana River basin, there is no trend in the mean annual discharge. The mean annual discharges were stagnant in 40 years, i.e. from 1981 to 2020, which is in accordance with the stagnant course of annual precipitation amounts at the representative Samobor and Rude meteorological stations. The results confirm the previous research by Barbalić and Kuspilić (2014), which included stations on the Bregana River and which showed stagnant movement of mean annual discharges in a slightly shorter series from 1980–2009, as well as the previous research by Čanjec and Orešić (2015), which included the Bregana-remont station, where (also in a shorter data series: 1990–2009) there was no statistically significant trend of the mean annual discharge.

At all three stations in the Bregana catchment, there was a mild increase in the average annual minima discharges and a more pronounced increase in the average annual maxima discharges in the recent twenty-year period (2001–2020) compared to the previous twenty-year period (1981–2000) – this is increasingly evident where the station's drainage area is smaller (Koretići station on the Bregana River and Svinjarići station on the Breganica River, where increasing linear trends of annual maximum and minimum discharges were also recorded). This result confirms and complements previous research by Ivezić et al. (2019), who found a trend of increasing annual maxima discharges in the researched area, especially after the year 2000 (Bregana-remont station 1970–2015 and Koretići and Svinjarići stations 1980–2012). Speculatively, although it was not the subject of this research, the increase in annual maxima discharges is a possible consequence of an increase in the share of short-term and more intense precipitation as a general consequence of climate change, whereby there is a rapid and more intense reflection in discharge in smaller drainage areas. It is indicative that the increase in annual maxima discharges in the last twenty-year period was also influenced by occasional intensive heavy rainfall, which caused several floods in the Bregana catchment (in 2005, 2014 and 2015).

Za usporedbu, na razmjerno nedalekom dešnom savskom pritoku Krki u Sloveniji, na svim postajama utvrđen je značajan pad srednjih godišnjih protoka, pad godišnjih minimalnih protoka i značajan porast godišnjih maksimalnih protoka u gornjem dijelu toka (Ulaga, 2002; Ulaga i dr. 2008; Oblak i dr. 2021), no na također obližnjoj slovenskoj postaji Rakovec na lijevom savskom pritoku Sutli zabilježen je porast srednjih godišnjih protoka uz značajan porast godišnjih maksimalnih protoka i stagnantnih godišnjih minimalnih protoka (Ulaga, 2002).

Usporedba protočnih režima, odnosno godišnjih hodova srednjih mjesečnih protoka i mjesečnih modulnih koeficijenata protoka iz dvaju dvadesetogodišnjih razdoblja, 1981. – 2000. i 2001. – 2020., na hidrološkim postajama u porječju Bregane pokazala je da je u istraživanom području došlo do određenih promjena u novijem razdoblju. Na svim trima postajama u porječju Bregane došlo je do smanjenja udjela protoka u ranu zimu (prosinac i siječanj na Bregani, prosinac na Breganici) te povećanja udjela protoka u kasnu zimu i rano proljeće (uglavnom veljača i ožujak). Na postajama na Bregani zabilježen je pad udjela protoka od svibnja do srpnja (posebno u lipnju). Smanjenje protoka u ranu zimu pod utjecajem je smanjenja količine padalina u prosincu u usporedbi istih razdoblja, dok je povećanje protoka u kasnu zimu i rano proljeće (uglavnom u veljači i ožujku) pod utjecajem porasta količine padalina u siječnju i veljači uz smanjenje udjela snijega u padalinama, što vodi prema većem izravnom otjecanju kišnih padalina. Glavni uzrok ljetnoga smanjenja protoka u porječju Bregane, posebno u lipnju, jest ljetno povećanje srednjih mjesečnih temperatura zraka i ljetni pad količine padalina, oboje opet posebno u lipnju.

Apsolutno i relativno povećanje protoka u kasnu zimu i proljeće 2001.– 2020. u odnosu na 1981. – 2000. na postajama na Bregani u skladu je s istraživanjem Čanjevca (2012) na razini hrvatskoga dijela porječja Dunava, gdje je općenito opaženo povećanje srednjih proljetnih protoka u razdoblju 1990. – 2009., posebno kod tekućica koje imaju veći udio snježnice u prihra-

In comparison, on the Krka River, the relatively close Sava River right tributary in Slovenia, there was a significant decline in mean annual discharges at all hydrological stations, a decrease in annual minima discharges and a significant increase in annual maxima discharges in the upper part of the course (Ulaga, 2002; Ulaga et al. 2008; Oblak et al. 2021), but at the also nearby Slovenian Rakovec hydrological station on the Sutla River, a Sava River left tributary, an increase in mean annual discharges was recorded, stagnant annual minima discharges and significant increase in annual maxima discharges (Ulaga, 2002).

A comparison of discharge regimes, that is of annual courses of mean monthly discharges and of monthly modular coefficients from two twenty-year periods, 1981–2000 and 2001–2020, at the hydrological stations in the Bregana catchment revealed that certain changes have occurred in the recent period. At all three stations in the Bregana catchment, there was a decrease in the discharge share in early winter (December and January on the Bregana River, December on the Breganica River) and an increase in the discharge share in late winter and early spring (mainly February and March). At the stations on the Bregana River, a decrease in the discharge share was recorded from May to July (especially in June). The reduction of flow in the early winter is influenced by a decrease in the amount of precipitation in December comparing to the same periods, while the flow increase in late winter and early spring (mainly February and March) is influenced by the increase in the amount of precipitation in January and February with the reduction of the share of snow in total precipitation, leading to the greater direct runoff. The main cause of the summer decrease in the flow in the Bregana catchment, especially in June, is the summer increase in average monthly air temperatures and the summer drop in precipitation, both again especially in June.

Absolutely and relative increase in flow in the late winter and spring 2001–2020 compared to 1981–2000 at the Bregana River stations is in accordance with the research of Čanjevac (2012) in the Croatian part of the Danube basin, where an increase in mean spring discharge was generally observed in the period 1990–2009, especially on

ni. Pretpostavlja se da je glavni uzročnik tomu smanjenje udjela snijega na račun kiše. S druge strane, prema Čanjevac i Orešić (2018) relativno povećanje protoka u kasnu zimu i proljeće nije se pokazalo tipično za peripanonski kišno-snježni tip režima (kojem pripadaju Bregana i Breganica). U tom istraživanju se doduše radi o duljim vremenskim nizovima (1961. – 1990. i 1990. – 2009.), a uz to je istaknuto da je taj tip protočnoga režima ujedno i „najheterogeniji tip na kojem se održavaju različiti klimatski uvjeti na mezo i miko skalama” te da su „manja porječja osjetljivija na klimatske promjene i oscilacije”. Pojava proljetnoga povećanja protoka nije zabilježena ni na rijeci Krki u Sloveniji 1961. – 2013. (Oblak i dr., 2021).

Smanjenje udjela protoka od svibnja od srpnja, a posebno apsolutni i relativni pad srednjega protoka u lipnju na postajama na rijeci Bregani 2001. – 2020. u odnosu na 1981. – 2000. u skladu je s istraživanjem Barbalića i Kuspilića (2014) koji su u nešto kraćem razdoblju 1980. – 2009. na postaji Bregana-remont zabilježili statistički značajan negativni trend svibanjskih i lipanjskih srednjih protoka. Dakle, taj se ljetni pad nastavio i vjerojatno će se nastaviti s obzirom na previđeno daljnje zatopljenje i povećanje evapotranspiracije u gotovo cijeloj Hrvatskoj (Pandžić i dr., 2009). Rezultati su bili očekivani i s obzirom na opće smanjenje srednjih protoka ljeti utvrđeno u dosadašnjim hidrološkim istraživanjima: u hrvatskom dijelu porječja Dunava (Čanjevac, 2012, sezonski trendovi 1990. – 2009.) na razini peripanonskoga kišno-snježnog tipa protočnoga režima u Hrvatskoj (Čanjevac i Orešić, 2008, usporedba protočnih režima iz razdoblja 1961. – 1990. i 1990. – 2009.) i na većini postaja u Sloveniji (Oblak i dr., 2021, sezonski trendovi u razdoblju 1961. – 2013.).

Na svim je trima postajama u istraživanom području u razdoblju 2001. – 2020. u odnosu na razdoblje 1981. – 2020. primarni maksimum u ožujku nešto izraženiji, a sekundarni maksimum u prosincu (studenj kod Koretića) manje je izražen. Postajama u porječju Bregane zajednički je i pomak primarnoga minimuma s kolovoza na srpanj i sekundarnoga minimuma s veljače na

the rivers that have a higher proportion of snow runoff in their water feed. As in this research, the influence of the reduction of snow at the expense of rain and thus a more direct runoff is assumed as the main cause. However, according to Čanjevac and Orešić (2018), a relative increase in flow in the late winter and spring did not prove to be typical of the peri-Pannonian pluvial-nival regime type (to which the Bregana and Breganica rivers belong). Notably it was observed comparing longer periods (1961–1990 and 1990–2009), and the research also pointed out that this discharge regime type is also a ‘most heterogeneous one and shows the diversity of climate conditions of runoff at both the meso-regional and micro-regional levels’. Also, smaller basins are more sensitive to climatic change or oscillation (Čanjevac and Orešić, 2015). The appearance of a spring increase in flow was not recorded on the Krka River in Slovenia in 1961–2013. (Oblak et al., 2021).

The decrease in the share of flow from May to July, and especially the absolute and relative decrease of the mean discharge in June at the stations on the Bregana River 2001–2020 compared to 1981–2000 is in line with the research of Barbalić and Kuspilić (2014) who, in the somewhat shorter period of 1980–2009, recorded a statistically significant negative trend of May and June mean discharges at the station Bregana-remont. It can be concluded that summer decline continued on the Bregana River, and will probably continue given the predicted further warming and increase in evapotranspiration in almost all of Croatia (Pandžić et al., 2009). The results are also expected considering the general reduction of average flows in summer found in previous hydrological research: in the Croatian part of the Danube basin (Čanjevac, 2012, seasonal trends 1990–2009); at the level of the peri-Pannonian pluvial-nival regime type in Croatia (Čanjevac and Orešić, 2008 comparison of flow regimes from the 1961–1990 and 1990–2009 periods); and at most stations in Slovenia (Oblak et al. 2021, seasonal trends in the period 1961–2013).

At all three stations in the recent twenty-year period compared to the previous twenty-year period, the primary maximum in March is somewhat more pronounced, and the secondary maximum in De-

siječanj u novijem od uspoređenih razdoblja. Unatoč promjenama u godišnjem hodu srednjih mjesečnih protoka protočni režim i dalje po tipologiji odgovara peripanonskom kišno-snežnom režimu jer su glavna obilježja godišnjega hoda ostala očuvana.

cember (November at Koretići) is less pronounced. Also at all stations, there was a shift of the primary minimum from August to July and the secondary minimum from February to January in the latter of the compared periods. Despite the changes in the annual course of mean monthly discharges, the discharge regime still corresponds to the peri-Pannonian pluvial-nival regime type, because the main characteristics of the annual course have remained preserved.

- Barbalić, D., Kuspilić, N., 2014: Trendovi indikatora hidroloških promjena / Trends of indicators of hydrological alterations, *Građevinar* 66 (7), 613-624, DOI: 10.14256/JCE.1003.2014
- Beckinsale, R. P., 1969: River regime, in: Chorley, R. J. (ed.): *Water, Earth and Man*, Methuen, London, 176-192.
- Brkić, Ž., Čakarun, A., 1998: Osnovna hidrogeološka karta Republike Hrvatske 1:100000, Tumač za List Zagreb, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 48 pp.
- Buzjak, N., 2002: Speleološke pojave u Parku prirode „Žumberak-Samoborsko gorje”, *Geoadria* 7 (1), 31-49, DOI: 10.15291/geoadria.64
- Buzjak, N., Dujmović, I., Feletar, D., Feletar, P., Holjevac, Ž., Ibrisević, R., Petrić, H., Raguž, J., Razum, S., Sijerković, M., Somek, P., Vojak, D., Žegarac Peharnik, M., Želle, M., 2011: *Samobor, zemljopisno-povijesna monografija*, Meridijani, Samobor.
- Chaddock, R. E., 1925: *Principles and Methods of Statistics*, Houghton Mifflin Company, The Riverside Press (1<sup>st</sup> Edition), Cambridge.
- Copernicus, 2016, <https://www.copernicus.eu/hr> (12. 9. 2021.).
- Curman, V., 2021: Režim otjecanja u hrvatskom dijelu porječja Bregane, Diplomski rad (Master thesis), Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:748908> (8. 4. 2024.).
- Čanjevac I., Orešić, D., 2015: Contemporary changes of mean annual and seasonal river discharges in Croatia, *Hrvatski geografski glasnik* 77 (1), 7-27, DOI: 10.21861/HGG.2015.77.01.01.
- Čanjevac, I., 2012: Novije promjene protočnih režima u hrvatskom dijelu porijeca Dunava, *Hrvatski geografski glasnik* 74 (1), 61-74, DOI: 10.21861/HGG.2012.74.01.04.
- Čanjevac, I., 2013: Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, *Hrvatski geografski glasnik* 75 (1), 23-42, DOI: 10.21861/HGG.2013.75.01.02.
- Čanjevac, I., Martinić, I., Radišić, M., Rubinić, J., Meaški, H., 2023: Hydrology, Hydrogeology and Hydromorphology of the Plitvice Lakes Area, in: Miliša, M., Ivković, M. (ed.). *Plitvice Lakes*, Springer, Cham, 17-64, DOI: 10.1007/978-3-031-20378-7\_2.
- Čanjevac, I., Orešić, D., 2018: Changes in discharge regimes of rivers in Croatia, *Acta geographica Slovenica* 58 (2), 7-18, DOI: 10.3986/ags.2004.
- DHMZ, n. d.: Baza hidroloških podataka / Hydrological database – HIS2000, <https://hidro.dhz.hr> (15. 7. 2021.)
- Dujmović, I., 2007: *Fizičko-geografske značajke Samoborskog gorja i Plješevičkog prigorja*, Meridijani, Samobor.
- Dujmović, I., Bogнар, A., 1995: Temeljne strukturalno-geomorfološke značajke sjeveroistočnog dijela masiva Žumberačke gore (Samoborsko gorje), *Geografski glasnik* 57 (1), 21-35.
- Dujmović, I., Bogнар, A., Pahernik, M., 2007: *Geomorfološka karta Samoborskog gorja i Plješevičkog prigorja*, Meridijani, Samobor.
- Filipčić A., Orešić, D., Maradin, M., 2013: Promjene količine padalina u Hrvatskoj od sredine 20. stoljeća do danas / Changes in precipitation levels in Croatia from the mid 20<sup>th</sup> century to the present, *Geoadria* 18 (1), 29-39, DOI: 10.15291/geoadria.145.
- Frantar, P., Hrvatin, M., 2005: Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 – 2000, *Geografski vestnik* 77 (2), 115-127.
- FRISCO1, Prekogranično usklađeno slovensko-hrvatsko smanjenje rizika of poplava – negrađevinske mjere / Čezmejno usklađeno slovensko-hrvatsko zmanjševanje poplavne ogroženosti – negradbeni ukrepi, <https://frisco-project.eu/hr/> (20. 1. 2023.), report available at: <https://dokumen.tips/documents/projekt-frisco1-eni-hidrauliki-modeli-izboljani-hidravlini-modeli-unaprijeeni.html?page=1>.
- Gilewska, S., Klimek, M., 1968. Project of the Unified key to the detailed geomorphological map of the World, *Folia Geographica, Ser. Geographica-Physica* vol. II, Polska Akademia Nauk, Kraków.
- Ivezić, V., Filipan, S., Kadić, V., 2019: Hidrološki ekstremi na slivu rijeke Bregane, u: *7. Hrvatska konferencija o vodama Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode, zbornik radova* (ur. Biondić D. i dr.), Hrvatske vode, Zagreb, 231-240, <https://voda.hr/hr/zbornici-radova-hrvatskih-konferencija-o-vodama> (8. 4. 2024.).
- Kendall, M. G., 1975: *Rank correlation methods*, 4<sup>th</sup> edition. Charles Griffin, London.
- Mann, H. B., 1945: Non-parametric test of randomness against trend. *Econometrica* 13 (3), 245-259.
- Oblak, J., Konold, M., Šraj, M., 2021: The influence of climate change on discharge fluctuations in Slovenian rivers, *Acta geographica Slovenica* 61 (2), 155-169, DOI: 10.3986/AGS.9942.
- OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/#map=10/45.8202/15.3603> (12. 9. 2021.).

## Literatura References



- Orešić, D., 1995: Morfolofski pokazatelji porječja Krapine, *Acta Geographica Croatica* 30 (1), 29-38.
- Orešić, D., Čanjevac, I., Plantak, M., 2018: Promjene protoka i protočnih režima na rijeci Ilovi / Changes in flow and the discharge regime on the Ilova river, *Acta Geographica Croatica* 43/44 (1), 1-20.
- Pandžić, K., Trninić, D., Likso, T., Bošnjak, T. 2009: Long-term variations in water balance components for Croatia, *Theoretical and Applied Climatology* 95, 39-51, DOI: 10.1007/s00704-007-0366-5.
- Pardé, M., 1933: *Fleuves et Rivières*, Armand Colin, Paris.
- Pettitt, A. N., 1979: A non-parametric approach to the change point problem, *Journal of the Royal Statistical Society Series C, Applied Statistics* 28, 126-135.
- Ridanović, J., 1993: *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb.
- Šošić, I., Serdar, V., 1994: *Uvod u statistiku*, Školska knjiga, Zagreb.
- Uлага, F., 2002: Trendi spreminjanja pretokov slovenskih rek, *Dela* 18, 93-114, DOI: 10.4312/dela.18.93-114.
- Uлага, F., Kobold, M., Frantar, P., 2008: Trends of River Discharges in Slovenia, *Earth and Environmental Science* 4 (1), 1-13, DOI: 10.1088/1755-1307/4/1/012030.
- Žugaj, R., 2000: *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu i Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Žugaj, R., 2010: *Velike vode malih slivova*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

**Autori**  
**Authors**

Danijel Orešić  
prof. dr. sc., Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek  
10000 Zagreb, Hrvatska  
doresic@geog.pmf.hr

Valentina Curman  
mag. edu. geogr  
10297 Igrišće, Hrvatska  
valentina.curman@gmail.com

Vedran Majcen  
mag. ing. geod. et geoinf., Ericsson  
10000 Zagreb, Hrvatska  
vedran.majcen@ericsson.com