



Ognjen Bonacci, Pavla Pekárová, Pavol Miklánok

## ANALIZA DUGIH VREMENSKIH NIZOVA PROTOKA I TEMPERATURA VODE DUNAVA KOD BRATISLAVE (SLOVAČKA)

Vodomjer Bratislava nalazi se na 1868,8 riječnom kilometru rijeke Dunava, a njegova slivna površina iznosi 131.338 km<sup>2</sup>. Kota nule mu iznosi 129,08 m nad Baltičkim morem. U članku su analizirane vrijednosti maksimalnih, srednjih i minimalnih godišnjih, mjesecnih i dnevnih protoka mjerjenih u razdoblju 1876.-2006. Prosječni godišnji protok u tom razdoblju iznosio je 2060 m<sup>3</sup>/s, dok su minimalni i maksimalni protoci iznosili 580 m<sup>3</sup>/s i 10810 m<sup>3</sup>/s. Mjerenja temperature vode postoje od 1926. godine. Vrijednost ovako dugih nizova podataka (131 godina protoka i vodostaja te 80 godina temperature vode) neprocjenjivo je velika, a važnost njihova izučavanja posebno je značajna u posljednjih nekoliko desetljeća kad se intenzivno izučavaju utjecaji klimatskih i antropogenih promjena na hidrološki režim. U tom smislu u radu su izvršene brojne obradbe te su na osnovi njih doneseni zaključci zanimljivi ne samo s hidrološkoga stajališta. Nisu opažene pojave statistički značajnih trendova porasta ili opadanja minimalnih, srednjih i maksimalnih godišnjih protoka. Uočena je preraspodjela srednjih mjesecnih i srednjih dnevnih protoka tijekom godine. U posljednjih 26 godina (od 1981. do danas) došlo je do povećanja protoka vode tijekom hladnog dijela godine (posebno u ožujku i travnju), te smanjivanja tijekom toplih ljetnih mjeseci (najviše u lipnju i srpnju). Razlog tomu vjerojatno je preraspodjela temperatura zraka u gornjem dijelu slija Dunava koja je uzrokovala promjenu oborinskog režima i sve manje količine snježnih oborina te njihovo kraće zadržavanje na sliji. Primjenom RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums) metode utvrđeno je da su od 1981. naglo porasle srednje godišnje temperature vode na vodomjernom profilu Bratislava.

Ključne riječi: protok, temperatura vode, Dunav, Bratislava (Slovačka)

### ANALYSIS OF LONG TEMPORAL SERIES OF DISCHARGES AND TEMPERATURES OF THE DANUBE WATER AT BRATISLAVA (SLOVAKIA)

The water meter Bratislava is located at the 1868.8 r. km of the Danube River, whose catchment area covers 131,338 km<sup>2</sup>. Its zero elevation is 129.08 m above the Baltic Sea. The paper analyzes the values of the maximum, medium and minimum annual, monthly and daily discharges measured in the period 1876-2006. The average annual discharge in this period was 2,060 m<sup>3</sup>/s, while the minimum and maximum discharges equalled 580 m<sup>3</sup>/s i.e. 10,810 m<sup>3</sup>/s. The measurements of water temperature exist from 1926. The value of such long data series (131 years for discharges and water levels and 80 years for water temperature) is invaluable, while the importance of their studying has been particularly significant in the past several decades of intensive studies of the impacts of climatic and anthropogenic changes on the hydrological regime. In view of this, the paper contains numerous analyses, based on which interesting conclusions were drawn, and these not only from hydrological standpoint. Although there have been no occurrences of statistically significant trends of increase or decrease in minimum, medium or maximum annual discharges, a redistribution of mean monthly and mean daily discharges throughout the year has been observed. In the past 26 years (from 1981 until today), there has been an increase in water discharge during the cold part of the year (particularly March and April) and a decrease in the warm summer months (mostly June and July). The reason is probably a redistribution of air temperatures in the upper part of the Danube River basin, which caused a change in the precipitation regime, a decrease of snowy precipitation and its shorter duration in the basin. By using the Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) method, it was determined that in 1981 there was a sudden increase in the mean annual water temperatures at the water meter Bratislava.

Key words: discharge, water temperature, Danube, Bratislava (Slovakia)

### ANALYSE DER LANGJÄHRIGEN ZEITREIHEN DER DURCHFLÜSSE UND WASSERTEMperatureN DER DONAU BEI BRATISLAVA (SLOWAKEI)

Der Pegel Bratislava befindet sich auf dem Donau-Flusskilometer 1868,8, der Zusammenflussbereich Donau beträgt 131.338 Km<sup>2</sup>, und der Nullpegel befindet sich auf 129,08 m über dem Baltischen See. Im Artikel werden die Werte von maximalen, mittleren und minimalen jährlichen, monatlichen und täglichen Durchflüssen analysiert, die im Zeitraum zwischen 1876 und 2006 gemessen wurden. Der durchschnittliche Jahresdurchfluss in diesem Zeitraum betrug 2060 m<sup>3</sup>/s, während die minimalen und maximalen Durchflüsse 580 m<sup>3</sup>/s bzw. 10810 m<sup>3</sup>/s waren. Die Wassertemperaturen wurden ab 1926 gemessen. Solche langjährigen Reihen von Daten (131 Jahre für Durchflüsse und Pegel und 80 Jahre für Wassertemperaturen) sind von unschätzbarem Wert, und die Analyse dieser Daten ist von besonderer Bedeutung namentlich in den letzten Jahrzehnten, wenn die Auswirkungen der Klimaänderungen und anthropogene Einflüsse auf das hydrologische Regime intensiv untersucht werden. In diesem Sinne wurden in diesem Beitrag zahlreiche Analysen durchgeführt und Schlussfolgerungen gezogen, die nicht nur vom hydrologischen Standpunkt interessant sind. Keine statistisch signifikanten Aufstiegs- oder Niedergangstrends für minimale, mittlere und maximale Jahresdurchflüsse konnten beobachtet werden. Allerdings konnte eine Umverteilung von mittleren monatlichen und mittleren täglichen Durchflüssen im Laufe des Jahres beobachtet werden. In den letzten 26 Jahren (von 1981 bis heute) ist es zur Erhöhung der Durchflüsse in der kalten Jahreszeit (vor allem im März und April) und zur Herabsetzung der Durchflüsse in warmen Sommermonaten (namentlich im Juni und Juli) gekommen. Die Ursache dafür ist wahrscheinlich die Umverteilung von Lufttemperaturen im oberen Flussbereich der Donau, die eine Veränderung des Niederschlagsregimes und immer kleinere Mengen des Schneeniederschlags und kürzere Schneedecken auf dem Flussbereich zur Folge hatte. Unter Anwendung der Methode RAPS (Rescaled Adjusted Partial Sums) konnte festgestellt werden, dass ab dem Jahr 1981 zur raschen Steigerung der mittleren jährlichen Wassertemperaturen im Pegelprofil Bratislava gekommen ist.

Schlüsselwörter: Durchfluss, Wassertemperatur, Donau, Bratislava (Slowakei)

## 1. UVOD

Dunav je poslije Volge druga po veličini rijeka u Europi s površinom sliva 817.000 km<sup>2</sup>, što iznosi oko 17 posto njezine površine (Stančik i sur., 1988.; Bonacci 2000.). U području sliva Dunava smješteno je sljedećih trinaest zemalja: Njemačka, Austrija, Češka, Slovačka, Mađarska, Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Srbija, Rumunjska, Bugarska, Ukrajina i Moldavija. Manji doprinos slivnome području daje još šest zemalja: Italija, Švicarska, Poljska, Crna Gora, Albanija i Makedonija.

U članku je s hidrološkoga gledišta izvršena analiza dugih vremenskih nizova protoka i temperatura vode izmjerjenih na vodomjernoj postaji Bratislava (Slovačka) (Pekárová i sur., 2008.). Vodomjer Bratislava nalazi se na 1868,8 riječnom kilometru Dunava. Površina pripadnog mu sliva je 131.338 km<sup>2</sup>. Kota nule vodomjera iznosi 129,08 m nad Baltičkim morem. Prva mjerena protoka na ovom profilu bila su izvršena 1882. godine. S neprekinitim mjerjenjima vodostaja i protoka raspolaže se od 1876. godine. U radu su obrađene vrijednosti srednjih godišnjih, mjesecnih i dnevnih protoka u razdoblju od 131 godine (1876. - 2006.).

Mjerena temperatura vode na istom profilu postoje od 1926. godine (Pekárová i sur., 2008.). U radu su analizirane vrijednosti srednjih godišnjih i mjesecnih temperatura vode u razdoblju od 80 godina (1926. - 2005.).

S gledišta hidrološke znanosti, ali i prakse vrijednost ovako dugih nizova podataka (131 godina protoka te 80 godina temperature vode) neprocjenjiva je. Njihova detaljna analiza omogućava utvrđivanje veličine i vremena pojave promjena koje su se zbile tijekom tog razdoblja. Uzvodni dio sliva Dunava, kao i samo korito rijeke u tom su razdoblju bili izloženi golemim antropogenim utjecajima. Izvedeni su brojni i veliki zahvati čiji opseg na žalost nije dovoljno poznat te ih stoga nije bilo moguće preciznije izučiti, a potom povezati s uočenim promjenama.

Promjene hidrološkog režima na profilu Dunava kod Bratislave trebale bi posvjedočiti o ukupnom utjecaju svih

antropogenih zahvata izvršenih u uzvodnom dijelu sliva i korita rijeke. Pritom se ne smiju zanemariti ni utjecaji prirodnih varijacija, prije svega klime na hidrološki režim. Treba biti svjestan da je za sada vrlo teško (u biti nemoguće) odvojiti utjecaje antropogenih od prirodnih promjena. Posebno je važno naglasiti važnost izučavanja ovako dugih vremenskih nizova protoka i temperatura vode u kontekstu aktualnih, vrlo živilih i kontroverznih rasprava o utjecaju globalnih klimatskih promjena na hidrološki režim. Ovaj rad nadopuna je istraživanja objavljenih u knjizi „Hydrologic scenarios for the Danube River at Bratislava“ (Pekárová i sur., 2008.).

Osnovni cilj analiza izvršenih u ovom radu bio je usmjeren na utvrđivanje postojanja ili nepostojanja promjena u hidrološkom režimu, definiranja vremena njihova početka, njihova trajanja i njihove veličine tijekom razdoblja u kojem se raspolažalo s mjernim podacima. Za pouzdano utvrđivanje razloga pojave promjena bilo bi potrebno raspolažati s brojnim različitim pouzdanim mjernim podacima i podlogama koje nisu vezane samo s hidrologijom i klimatologijom. Kako takvih podloga uglavnom nema, razloge utvrđenih promjena hidrološkog režima Dunava kod Bratislave nije bilo moguće pouzdano determinirati već su iznesene manje ili više pouzdane pretpostavke. Praćenje i objašnjavanje promjena hidrološkog režima od velike je važnosti u prvom redu zato što je prijeko potrebno pripremiti se za neizvjesnu budućnost vezanu uz raspoložive vodne resurse. Rijeka Dunav i njezin hidrološki režim u tom su smislu od posebnog interesa za našu zemlju.

## 2. ANALIZA PROTOKA

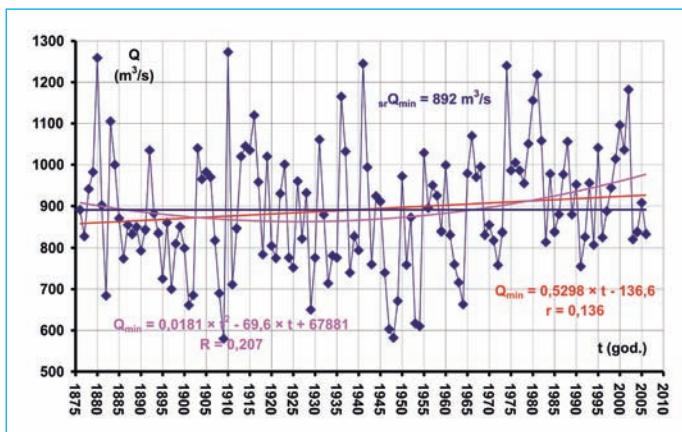
Protok vode kroz bilo koji profil otvorenog vodotoka rezultanta je procesa složene transformacije oborina palih na sliv. Transformacija oborine u otjecanje upravljana je brojnim čimbenicima koji u određenom vremenu egzistiraju na danom slivu. Ti su čimbenici manje ili više promjenjivi tijekom vremena transformacije i unutar prostora na kojem se ona zbiva. Utjecaj efekta mjerila (*scale effect*) prostora i vremena uvijek je i svuda prisutan te je bitan je za razumijevanje i objašnjavanje hidroloških procesa (TorgerSEN, 1994.). On se različito odražava na podatke protoka određenih za razna vremenska razdoblja (trenutačne, srednje dnevne, srednje mjesecne, srednje sezonske, srednje godišnje itd.). Analizom protoka definiranih na istom poprečnom presjeku definiranih za različita vremenska razdoblja moguće je stoga donijeti razne i mnogobrojne zaključke vezane s hidrološkim režimom izučavanog vodotoka. U ovom radu izvršene su analize nizova: 1) godišnjih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) protoka; 2) srednjih mjesecnih protoka; 3) srednjih dnevnih protoka.

### 2.1. Analiza godišnjih protoka

Na slici 1. ucrtan je niz opaženih minimalnih godišnjih protoka izmjerениh u razdoblju 1876. - 2006. na

mjesec	GODIŠNJI MAKSIMUMI		GODIŠNJI MINIMUMI	
	M	M* (%)	M	M* (%)
I	9	6,9	38	29,0
II	8	6,1	25	19,1
III	8	6,1	6	4,6
IV	8	6,1	1	0,8
V	11	8,4	0	0,0
VI	20	15,3	0	0,0
VII	28	21,4	0	0,0
VIII	17	13,0	0	0,0
IX	11	8,4	1	0,8
X	3	2,3	8	6,1
XI	3	2,3	15	11,5
XII	5	3,8	37	28,2
ZBROJ	131	100	131	100

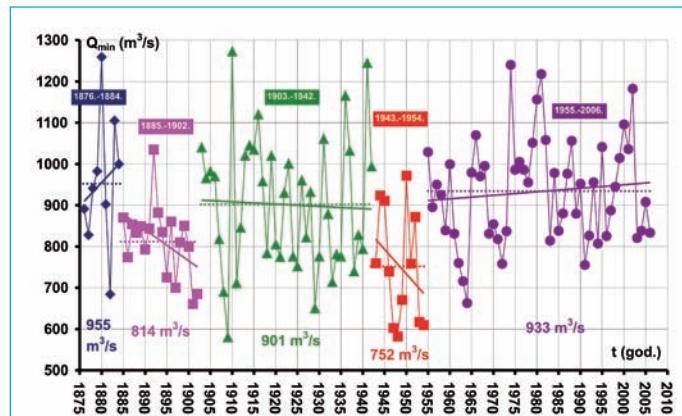
Tablica 1. Broj puta M u pojedinom mjesecu godine u kojima su se pojavili godišnji maksimumi i godišnji minimumi u razdoblju 1876.-2006. (M\* izražen u postocima od ukupnog broja godina uključenih u analizu koji iznosi 131)



Slika 1. Niz minimalnih godišnjih protoka Dunava kod Bratislave izmjerениh u razdoblju 1876.-2006. s ucrtanim pravcem i parabolom regresije

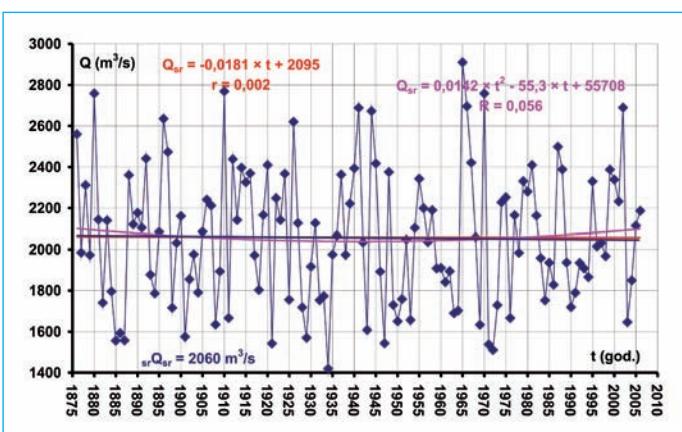
vodomjeru Bratislava. Minimalna opažena vrijednost od  $580 \text{ m}^3/\text{s}$  pojavila se 1909. godine. Prosječna minimalna godišnja vrijednost u razmatranom razdoblju iznosila je  $892 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok se najviša u iznosu od  $1273 \text{ m}^3/\text{s}$  pojavila 1910. godine. Primjenom teorije najmanjih kvadrata za ovaj niz proračunati su pravac i parabola regresije koji pokazuju da u razmatranom nizu ne postoji statistički bitan trend porasta minimalnih godišnjih protoka.

Za potrebe detaljnije analize vremenskih nizova u radu je primijenjena RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) metoda. Ona omogućava vizualizaciju i kvantificiranje ne samo trenda već i fluktuacije trendova unutar analiziranog vremenskog niza (Garbrecht i Fernandez, 1994.; Bonacci i sur., 2008a.; 2008b.). Njezinom se primjenom osigurava jasan i gotovo nedvojben vizualni prikaz promjena (postojanje trendova, naglih smanjivanja ili povećanja vrijednosti, grupiranja podataka, neregularnih ponašanja, periodičnih ponavljanja itd.) koje se tijekom vremena zbivaju unutar analiziranog niza, a izbjegava se utjecaj malih sustavnih i slučajnih pogrešaka koje se uobičajeno kod njega pojavljuju. Međutim, treba priznati da ni ova metoda nije lišena svih slabosti te da i kod nje određenu ulogu imaju subjektivne procjene.

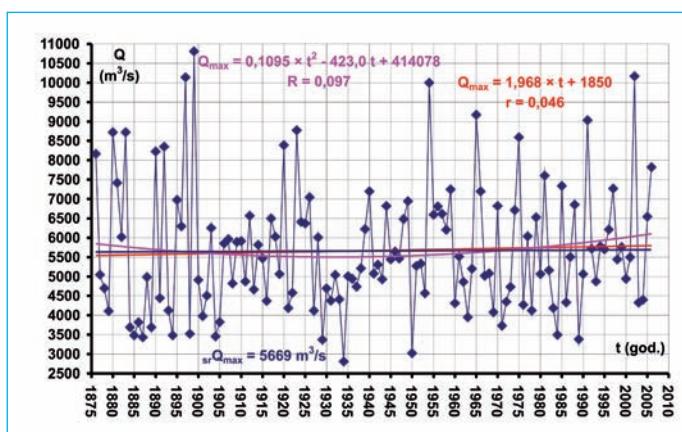


Slika 2. Grafički prikaz pet podnizova (1876.-1884., 1885.-1902., 1903.-1942., 1943.-1954. i 1955.-2006.) minimalnih godišnjih protoka izmjerениh na Dunavu kod Bratislave s ucrtanim prvcima regresije koji upućuju na moguće trendove

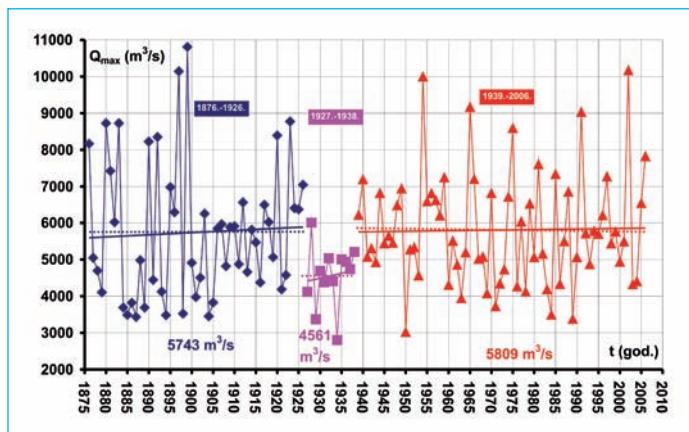
Primjenom RAPS metode ustanovljeno je da u nizu minimalnih godišnjih protoka u razdoblju 1876.-2006. postoji sljedećih pet podrazdoblja s različitim karakteristikama: 1) 1876.-1884. ( $955 \text{ m}^3/\text{s}$ ); 2) 1885.-1902. ( $814 \text{ m}^3/\text{s}$ ); 3) 1903.-1942. ( $901 \text{ m}^3/\text{s}$ ); 4) 1943.-1954. ( $752 \text{ m}^3/\text{s}$ ); 5) 1955.-2006. ( $933 \text{ m}^3/\text{s}$ ). U zagradi iza svakog podrazdoblja upisane su vrijednosti prosječnih minimalnih godišnjih protoka. Uporabom *t-testa* ustanovljene su statistički bitne razlike između vrijednosti svih uzastopnih prosječnih vrijednosti na razini vjerojatnosti  $p < 1\%$ . Na slici 2. grafički je prikazano pet prethodno navedenih podnizova minimalnih godišnjih protoka izmjerениh na Dunavu kod Bratislave s ucrtanim prvcima regresije koji upućuju na moguće trendove. Važno je uočiti da od 1955. godine do danas postoji statistički nebitni trend porasta minimalnih godišnjih protoka te da je samo u prvom podrazdoblju (1876.-1884.) prosječna vrijednost bila nešto viša od one današnje. Moguće je zaključiti da smanjivanja minimalnih godišnjih protoka na analiziranom profilu nema, što je s gledišta iskorištavanja vodnih resursa u kritičnim situacijama povoljno.



Slika 3. Niz srednjih godišnjih protoka Dunava kod Bratislave izmjerениh u razdoblju 1876.-2006. s ucrtanim pravcem i parabolom regresije



Slika 4. Niz maksimalnih godišnjih protoka Dunava kod Bratislave izmjerениh u razdoblju 1876.-2006. s ucrtanim pravcem i parabolom regresije

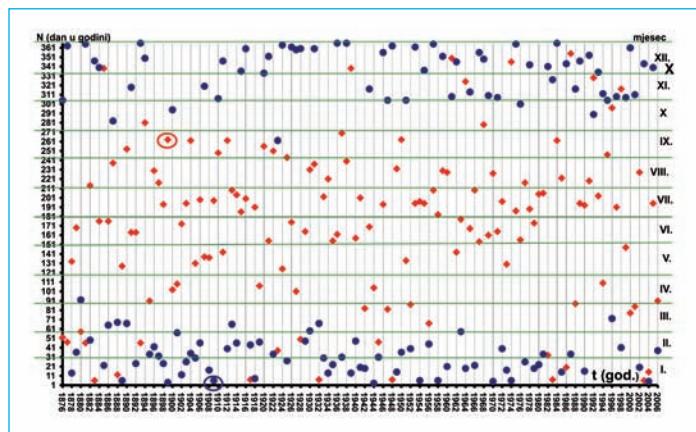


Slika 5. Grafički prikaz tri podniza (1876.-1926., 1927.-1938. i 1939.-2006.) maksimalnih godišnjih protoka izmjerjenih na Dunavu kod Bratislave s ucrtanim pravcima regresije koji upućuju na moguće trendove

Na [slici 3.](#) prikazan je niz srednjih godišnjih protoka izmjerjenih u razdoblju 1876. - 2006. opažen na vodomjeru Bratislava. Maksimalni opaženi srednji godišnji protok od 2910 m<sup>3</sup>/s pojavio se 1965. godine. Prosječna srednja godišnja vrijednost protoka u razmatranom razdoblju iznosila je 2060 m<sup>3</sup>/s, dok se najniža u iznosu od 1420 m<sup>3</sup>/s pojavila 1934. godine. Primjenom teorije najmanjih kvadrata za ovaj niz proračunati su pravac i parabola regresije koji pokazuju da u razmatranom razdoblju ne postoji nikakav trend već srednji godišnji protoci variraju oko prosječne vrijednosti sa standardnom devijacijom od 328 m<sup>3</sup>/s.

Na [slici 4.](#) prikazan je niz maksimalnih godišnjih protoka izmjerjenih u razdoblju 1876. - 2006. opažen na vodomjeru Bratislava. Najveći opaženi maksimalni godišnji protoci od 10810 m<sup>3</sup>/s pojavili su se 1899. godine. Prosječna maksimalna godišnja vrijednost protoka u razmatranom razdoblju iznosila je 5669 m<sup>3</sup>/s, dok se najniži u iznosu od 2807 m<sup>3</sup>/s pojavio 1934. godine, dakle najsušnije godine u razmatranom razdoblju.

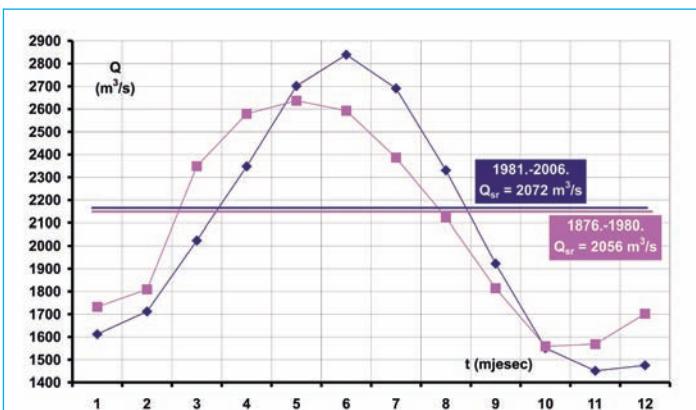
Primjenom RAPS metode ustanovljeno je da u nizu minimalnih godišnjih protoka u razdoblju 1876.-2006. postoje sljedeća tri podrazdoblja s različitim karakteristikama: 1) 1876.-1926. (5743 m<sup>3</sup>/s); 2) 1927.-1938. (4501 m<sup>3</sup>/s); 3) 1939.-2006. (5809



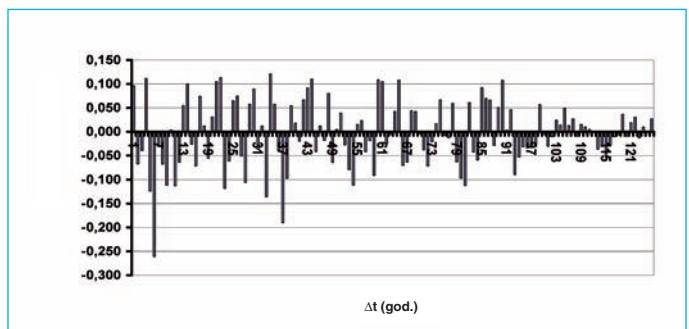
Slika 6. Grafički prikaz dana u godini N i mjeseca (na osi ordinate) kad se tijekom pojedine godine t (na osi apscise) pojavio maksimalni godišnji protok (označen crvenim rombom) i minimalni godišnji protok (označen modrim krugom) na vodomjeru Bratislava na Dunavu u razdoblju 1876.-2006.

m<sup>3</sup>/s). U zagradi iza svakog podrazdoblja upisane su vrijednosti prosječnih minimalnih godišnjih protoka. Korištenjem *t-testa* ustanovljene su statistički bitne razlike između vrijednosti svih uzastopnih prosječnih vrijednosti na razini vjerojatnosti p<1%. Na [slici 5.](#) grafički su prikazana tri prethodno navedena podniza maksimalnih godišnjih protoka izmjerjenih na Dunavu kod Bratislave s ucrtanim pravcima regresije koji upućuju na moguće trendove. Moguće je zaključiti da je u kratkom vremenu došlo do naglog smanjenja maksimalnih protoka te da već dugo vremena od 1939. nema promjena u režimu pojave maksimalnih godišnjih protoka.

Na [slici 6.](#) grafički su prikazani dani N i mjeseci u godini (na osi ordinate) kad se tijekom pojedine godine t (na osi apscise) pojavio maksimalni godišnji protok (označen crvenim rombom) i minimalni godišnji protok (označen modrim krugom) na vodomjeru Bratislava na Dunavu u razdoblju 1876.-2006. Zaokruženi su datumi pojave najvećeg maksimalnog i najnižeg minimalnog protoka. U [tablici 1.](#) dane su numeričke vrijednosti vezane sa [slikom 6.](#)



Slika 8. Dva niza prosječnih srednjih mjesečnih vrijednosti protoka Dunava kod Bratislave izmjerjenih u podrazdobljima 1876.-1980. i 1981.-2006. s ucrtanim srednjim godišnjim protocima za oba podrazdoblja



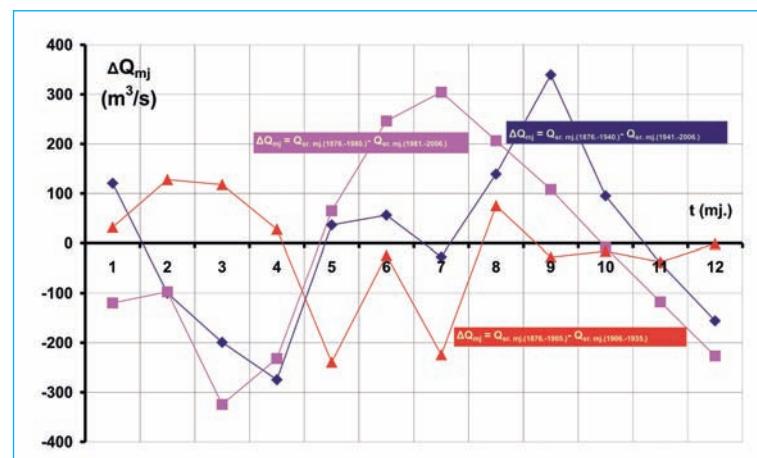
Slika 7. Autokorelogram srednjih godišnjih protoka Dunava kod Bratislave u razdoblju 1876.-2006.

Broj M u [tablici 1.](#) označava koliko su se puta u pojedinih mjesecu godine pojavili godišnji maksimumi i godišnji minimumi u razdoblju 1876. - 2006., dok su brojem M\* iste vrijednosti izražene u postocima od ukupnog broja godina uključenih u analizu koji iznosi 131. Zaključak koji se nameće analizom [slike 6.](#) i [tablice 1.](#) jest da se tijekom analiziranog razdoblja nisu dogodile promjene u režimu vremena pojave ekstremnih godišnjih protoka. Minimalni se protoci javljaju u više od 80 posto slučajeva u razdoblju od studenoga do veljače i nikada se nisu javili u razdoblju od svibnja do kolovoza. Maksimalni godišnji protoci mogu se očekivati u svakom mjesecu tijekom godine. Najčešće, u oko 50 posto slučajeva javljaju se tijekom lipnja, srpnja i kolovoza, a rjeđe od listopada do travnja. Najveći protok od  $10810 \text{ m}^3/\text{s}$  javio se 19. rujna 1899. godine. Variraju od  $580 \text{ m}^3/\text{s}$  do  $10810 \text{ m}^3/\text{s}$ , dakle u odnosu 1:18,6 ili rasponu od  $10230 \text{ m}^3/\text{s}$ . S gledišta izučavanja hidrološkog ponašanja Dunava kod Bratislave potrebno je naglasiti da je najmanji maksimalni godišnji protok koji se pojавio 1934. godine ( $2807 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bio niži od najvećeg srednjeg godišnjeg protoka koji se pojавio 1965. godine ( $2910 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Prethodno navedene vrijednosti upućuju na visoku neravnomjernost hidrološkog režima.

Na [slici 7.](#) ucrtan je autokorelogram srednjih godišnjih protoka Dunava kod Bratislave u razdoblju 1876.-2006. Iz ovog prikaza može se zaključiti da ne postoji veza između uzastopnih srednjih godišnjih protoka, tj. da su oni međusobno nezavisni. Isto tako nije moguće utvrditi niti naznake cikličnosti unutar analiziranog niza srednjih godišnjih protoka Dunava kod Bratislave.

## 2.2. Analiza mjesecnih protoka

Na [slici 8.](#) prikazana su dva niza prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti protoka Dunava kod Bratislave izmjerena u podrazdobljima 1876.-1980. i 1981.-2006. s ucrtanim srednjim godišnjim protocima za oba podrazdoblja. Uočava se znatna razlika između prosječnih mjesecnih srednjih protoka u dva izabrana podrazdoblja. Dva prethodno spomenuta podrazdoblja izabrana su nakon detaljne statističke analize. Bit ove analize bila je u računanju apsolutnog zbroja razlika među prosječnim srednjim mjesecnim protocima u dva izabrana podrazdoblja te u primjeni *t-testa* za ispitivanje statističke bitnosti razlika po pojedinim mjesecima. Ispitivani su parovi podrazdoblja od 1876.-1925. i 1926.-2007. do 1876.-1995. i 1996.-2007. Analiza je definitivno pokazala da se najveći apsolutni zbroj razlika javlja u izabranim podrazdobljima 1876.-1980. i 1981.-2006., prikazanim na [slici 8.](#) Ovaj je zaključak potvrđen i testiranjem *t-testom*. Na sličan zaključak došli su Bonacci i Trninić (2006.). Očito je da je došlo do preraspodjele analiziranih protoka tijekom godine kao vremenske jedinice te da se ta preraspodjela stabilizirala negdje oko 1981. godine do danas. Ne postoje razlike u prosječnim godišnjim srednjim protocima u dva analizirana podrazdoblja. U prvom (1876.-1980.) prosječni srednji godišnji protok iznosi  $2056 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok u dru-

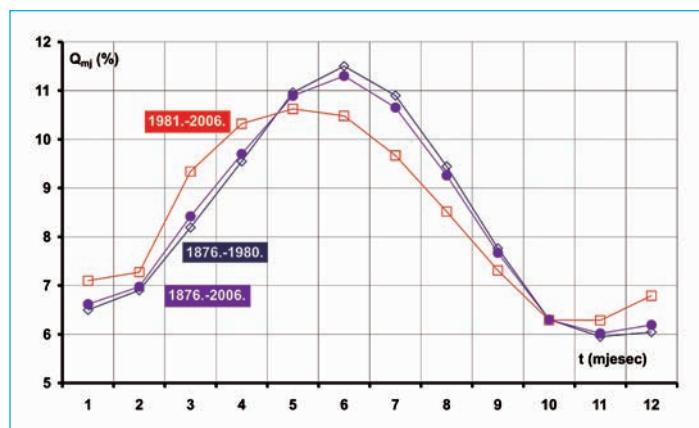


Slika 9. Tri niza razlika  $\Delta Q$  prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti protoka Dunava kod Bratislave izračunatih za sljedeća tri izabrana para podrazdoblja: 1) (1876.-1905.) - (1906.-1935.); 2) (1876.-1940.) - (1941.-2006.); 3) (1876.-1980.) - (1981.-2006.).

gome (1981.-2006.) iznosi  $2072 \text{ m}^3/\text{s}$ . Prosječni srednji mjesecni protoci u podrazdoblju koje obuhvaća zadnjih 26 godina (1981.-2006.) veći su tijekom hladnog dijela godine od studenoga do travnja, gotovo su isti u svibnju i listopadu, a niži su u toploj dijelu godine od lipnja do rujna.

Na [slici 9.](#) ucrtana su tri niza razlika prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti protoka Dunava kod Bratislave  $\Delta Q$  izračunatih za sljedeća tri izabrana para podrazdoblja: 1) (1876.-1905.) - (1906.-1935.); 2) (1876.-1940.) - (1941.-2006.); 3) (1876.-1980.) - (1981.-2006.). U prvom analiziranom paru podrazdoblja [(1876.-1905.) - (1906.-1935.)] radilo se o analizi promjena srednjih mjesecnih protoka u prvih 60 godina raspoloživih protoka (označeno crvenom bojom). Sa [slike 9.](#) ne može se uočiti nikakva pravilnost u preraspodjeli prosječnih srednjih mjesecnih protoka u dva analizirana podrazdoblja. Iz toga se može zaključiti da u prvih 60 godina nije bilo sustavnih promjena, već su se javljale samo slučajne varijacije srednjih mjesecnih protoka tijekom godine. Ni u ovom slučaju ne postoje razlike u prosječnim godišnjim srednjim protocima u dva analizirana podrazdoblja. U prvom (1876.-1905.) prosječni srednji godišnji protok iznosi je  $2045 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je u drugom (1906.-1935.) iznosi  $2050 \text{ m}^3/\text{s}$ .

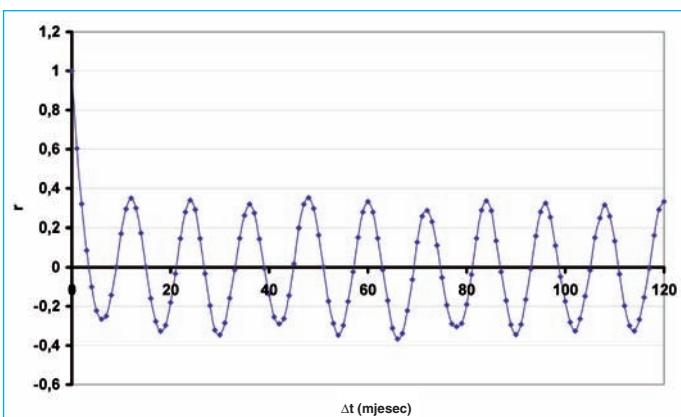
U drugom analiziranom paru podrazdoblja [(1876.-1940.) - (1941.-2006.)] (označeno modrom bojom) raspoloživi vremenski niz od 131 godine podijeljen je na dvije polovice. U ovom slučaju već se naslućuje pojava preraspodjele srednjih mjesecnih protoka tijekom godine. U drugom podrazdoblju (1941.-2006.) protoci u ožujku i travnju znatno su veći nego u prvom podrazdoblju (1876.-1940.), dok su u rujnu znatno niži. Ni u ovom slučaju ne postoje razlike u prosječnim godišnjim srednjim protocima u dva analizirana podrazdoblja. U oba slučaja prosječni srednji godišnji protok iznosi je  $2060 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 10. Prikaz tri niza prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti protoka Dunava kod Bratislave izmjerena u razdobljima 1876.-1980., 1981.-2006. i 1876.-2006. izraženih u postocima od godišnjih protoka

U trećem analiziranom paru razdoblja [(1876.-1980.) - (1981.-2006.)] (označeno ljubičastom bojom na [slici 9.](#)) ucrtane su razlike dva niza prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti protoka prikazanih na [slici 8.](#). Treba napomenuti da su ispitane sve varijante razlika prosječnih srednjih mjesecnih protoka različitih razdoblja te da je ova prikazana na [slici 8.](#) imala najveću apsolutnu razliku. Na [slici 10.](#) nalazi se grafički prikaz tri niza prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti protoka Dunava kod Bratislave izmjerena u postocima od godišnjih protoka izmjerena u razdobljima: 1) 1876.-1980.; 2) 1981.-2006.; 3) 1876.-2006. Uočava se da je riječ o znatnim razlikama samo u slučaju razdoblja (1981.-2006.) koje uključuje posljednjih 26 godina. Razlike u cijelom raspoloživom razdoblju (1876.-2006.) i razdoblju (1876.-1980.) nisu znatne.

Na [slici 11.](#) ucrtan je autokorelogram srednjih mjesecnih protoka Dunava kod Bratislave u razdoblju siječanj 1876.-prosinac 2006. Uočava se jasan utjecaj sezonske cikličnosti u pojavi srednjih mjesecnih protoka. Maksimalne vrijednosti koeficijenata linearne autokorelacije koje ne



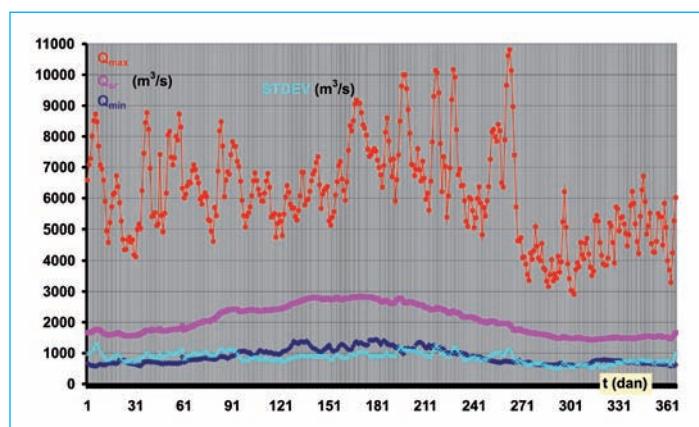
Slika 11. Autokorelogram srednjih mjesecnih protoka Dunava kod Bratislave u razdoblju siječanj 1876. - prosinac 2006.

премају величину од 0,38 upućuju на то да уједно постоји снажна случajna компонента.

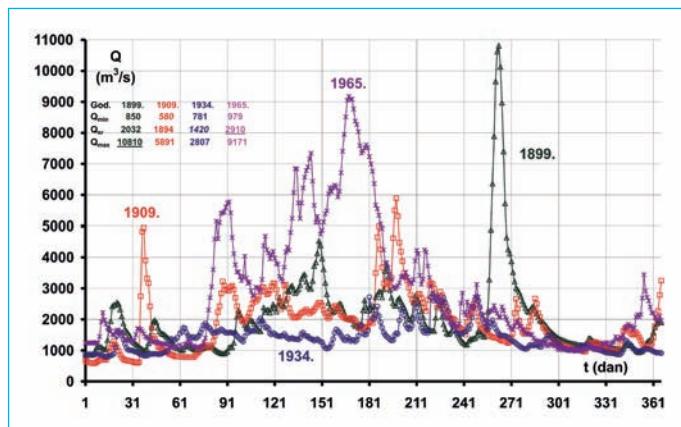
### 2.3. Analiza dnevnih protoka

Na [slici 12.](#) ucrtani su nizovi prosječnih karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) dnevnih vrijednosti te standardnih devijacija protoka Dunava kod Bratislave izmjerena u razdoblju 1876.-2006. Ponašanje maksimalnih srednjih dnevnih protoka je najnepravilnije. Protoci veći od 7000 m<sup>3</sup>/s tijekom godine nisu se javili od kraja rujna do kraja prosinca. U istom razdoblju standardne devijacije srednjih dnevnih protoka nešto su niže (ali ne znatno) nego u razdoblju od početka siječnja do sredine rujna. Minimalni i prosječni srednji dnevni protoci upućuju na то да је хидрошки рејим Dunava kod Bratislave у анализираном раздoblju bio prevladavajuће lednički.

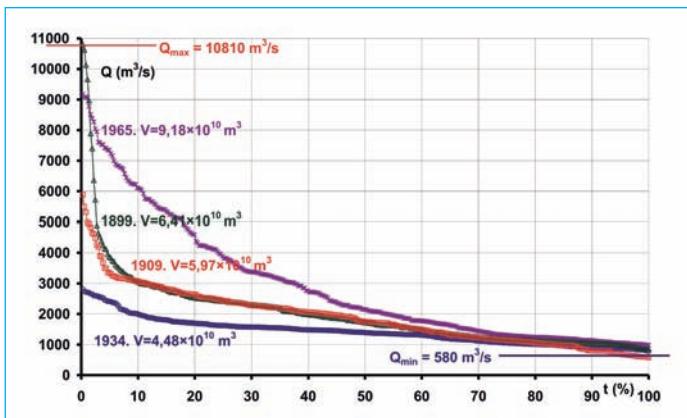
Iz prikaza danog na [slici 12.](#) moglo se uočiti да је raspon srednjih dnevnih protoka tijekom svih dana godine velik, tj. да је неpravilnost могуће pojave tijekom godine vrlo velika. На [slici 13.](#) dan je primjer za то. На њој су ucrtani hidrogrami srednjih dnevnih protoka Dunava



Slika 12. Nizovi prosječnih karakterističnih dnevnih vrijednosti (minimalnih, srednjih i maksimalnih) te standardnih devijacija protoka Dunava kod Bratislave izmjereni u razdoblju 1876.-2006.



Slika 13. Hidrogrami srednjih dnevnih protoka Dunava kod Bratislave definirani за слjedeће четири карактеристичне године: 1899.; 1909.; 1934.; 1965.



Slika 14. Krivulje trajanja protoka Dunava kod Bratislave definirane za sljedeće četiri karakteristične godine: 1899.; 1909.; 1934.; 1965.

kod Bratislave definirani za sljedeće četiri karakteristične godine: 1899.; 1909.; 1934.; 1965. Godine 1899. pojavio se maksimalni srednji dnevni protok od  $10.810 \text{ m}^3/\text{s}$ , a njezin srednji godišnji protok iznosio je  $2032 \text{ m}^3/\text{s}$ . Godine 1909. pojavio se minimalni srednji dnevni protok od  $580 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok je njezin srednji godišnji protok je iznosio  $1894 \text{ m}^3/\text{s}$ . Godina 1934. bila je najsušnija u analiziranom razdoblju sa srednjim godišnjim protokom od  $1420 \text{ m}^3/\text{s}$ . Godina 1965. bila je najbogatija vodom u analiziranom razdoblju sa srednjim godišnjim protokom od  $2910 \text{ m}^3/\text{s}$ . Namjera ove slike bila je da upozori na doista velike razlike u hidrološkom režimu Dunava kod Bratislave kako između pojedinih godina tako i tijekom godine. Raspodjelje protoka tijekom godina ekstremno se razlikuju, što upućuje na velik utjecaj slučajne komponente. U najsušnjoj godini (1934.) nije se pojavio najniži protok ( $580 \text{ m}^3/\text{s}$  1909.) kao što se u najvlažnijoj godini (1965.) nije pojavio maksimalni protok ( $10.810 \text{ m}^3/\text{s}$  1899.). Maksimalni protok u najsušnjoj godini ( $2807 \text{ m}^3/\text{s}$  1934.) bio je niži od srednjeg godišnjeg protoka najvlažnije godine ( $2910 \text{ m}^3/\text{s}$  1965.). Ovim se prikazom željelo upozoriti na postojanje velike varijabilnosti hidrološkog režima od godine do godine i



Slika 15. Hidrogrami prosječnih dnevnih protoka Dunava kod Bratislave određeni za sljedeća dva podrazdoblja: 1) 1876.-1980.; 2) 1981.-2006.

tijekom godine na profilu koji ima znatnu površinu sliva od  $131.338 \text{ km}^2$ .

Na [slici 14.](#) prikazane su krivulje trajanja protoka Dunava kod Bratislave definirane za sljedeće četiri karakteristične godine čiji su hidrogrami ucrtani na [slici 13.](#) Ovaj prikaz dodatno potvrđuje prethodno iznesene zaključke. S gledišta upravljanja vodnim resursima bitno je poznavati ukupni volumen vode (izražen u  $\text{m}^3$ ) koji može proteći kroz analizirani poprečni presjek otvorenog vodotoka tijekom jedne godine. U slučaju Dunava kod Bratislave on se kreće u rasponu od minimalno  $4,48 \times 10^{10} \text{ m}^3$  (1934. godine) do maksimalno  $9,18 \times 10^{10} \text{ m}^3$  (1965. godine). Na [slici 14.](#) unesene su vrijednosti volumena protekle vode za sve četiri prikazane godine.

Na [slici 15.](#) prikazani su hidrogrami prosječnih dnevnih protoka Dunava kod Bratislave određeni za sljedeća dva podrazdoblja: 1) 1876.-1980.; 2) 1981.-2006. Na [slici 16.](#) ucrtana je razlika između prosječnih dnevnih protoka Dunava kod Bratislave određena za prethodna dva podrazdoblja (podaci prikazani na [slici 15.](#)). Iz prikaza danih na [slikama 15.](#) i [16.](#) moguće je detaljno (na razini dana) uočiti preraspodjelu protoka tijekom godine, o čemu je već prije bilo govora pri analizi prosječnih srednjih mjesecnih protoka (vidi [slike 8., 9. i 10.](#)).

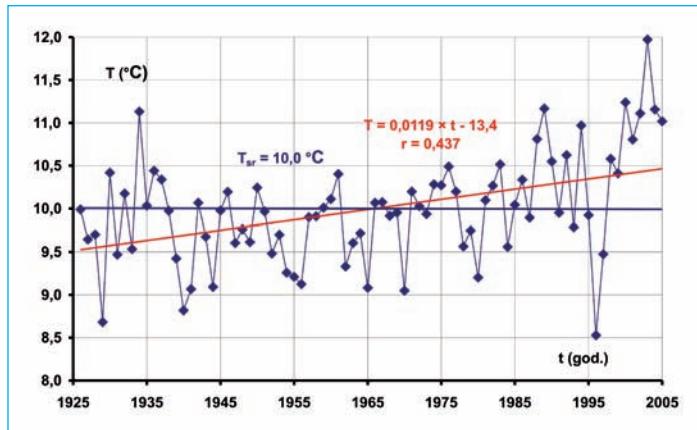
### 3. ANALIZA TEMPERATURE VODE

Temperatura vode u rijekama istodobno je fizikalni (hidrološki) parametar i parametar kakvoće vode, tj. važan kemijski i ekološki čimbenik (Rose, 1967.; Gore, 1992.; Walling i Webb, 1992.). U ovom je radu temperatura vode tretirana isključivo s hidrološkoga gledišta.

Bez detaljnih istraživanja režima temperature vode nije moguće razumjeti i objasniti složene ekološke procese unutar riječnog sustava. Ova su izučavanja posebno važna u današnje vrijeme kada je uočen trend porasta temperature zraka i vode u mnogim regijama i na brojnim



Slika 16. Razlika između prosječnih dnevnih protoka Dunava kod Bratislave određena za sljedeća dva podrazdoblja: 1) 1876.-1980.; 2) 1981.-2006. (podaci prikazani na [slici 15.](#))



Slika 17. Niz srednjih godišnjih temperatura vode Dunava kod Bratislave izmjereni u razdoblju 1926.-2005. s ucrtanim pravcem regresije

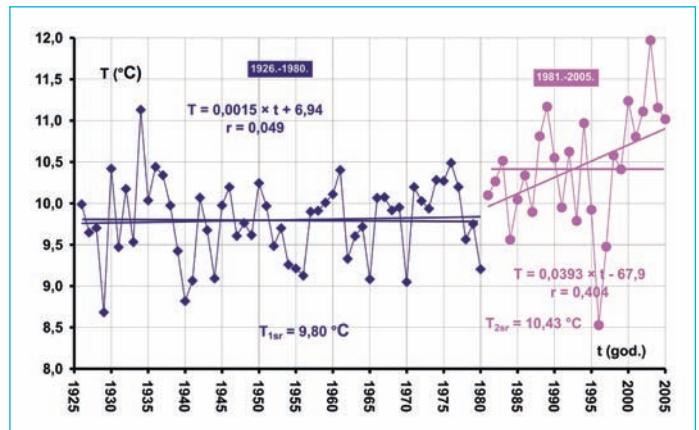
vodotocima (Webb i Nobilis, 2007.; Zweimuller 2007.; Bonacci i sur. 2008a.; 2008b.). Ona su prijeko potrebna kako bi se pronašli učinkoviti odgovori na izazove koje nameću novi i vrlo vjerojatno snažniji porasti temperaturi zraka, a time i vode u budućnosti.

Temperatura zraka glavni je čimbenik koji utječe na temperaturu vode (Webb i Nobilis, 1997.; Webb i sur., 2003.; Ahmadi-Nedushan i sur., 2007.; Bonacci i sur., 2008a.; 2008b.). Analizirajući dugotrajne vremenske nizove temperature vode austrijskih rijeka, Webb i Nobilis (2007.) utvrdili su njihov nagli porast u razdoblju poslije sedamdesetih godina. U posljednjih deset godina dvadesetog stoljeća i početkom dvadesetprvog stoljeća nisu uočili ublažavanje ovog trenda porasta. Zweimuller (2007.) je ustanovila da se temperatura vode rijeke Dunava u Austriji povećava za oko 1 °C svakih deset godina u posljednjih nekoliko dekada. Najveći porast bilježi se tijekom zime i u ljetu, dok su u jesen i proljeće temperature vode u rijekama ostale gotovo nepromijenjene.

Utjecaj protoka na promjenu odnosa temperature vode i temperature zraka nije se pokazao značajnim čak ni u slučajevima malih voda (Webb i sur., 2003.). Do istog zaključka došli su i Bonacci i sur. (2008.a; 2008.b) izučavajući odnose temperature zraka i vode na vodomjernim postajama na slivovima Save, Drave, Kupe i Dunava u Hrvatskoj čije su se veličine kretale u rasponu od 208 km<sup>2</sup> do 250.000 km<sup>2</sup>. Promjene klime, a posebno mogućnost globalnog zagrijavanja kao i opasnosti koje se u vezi s tim mogu odraziti na ugrožavanje količina i kakvoće vode u otvorenim vodotocima daje izučavanju temperature riječnih voda prioritetno značenje.

### 3.1. Analiza godišnjih temperatura vode

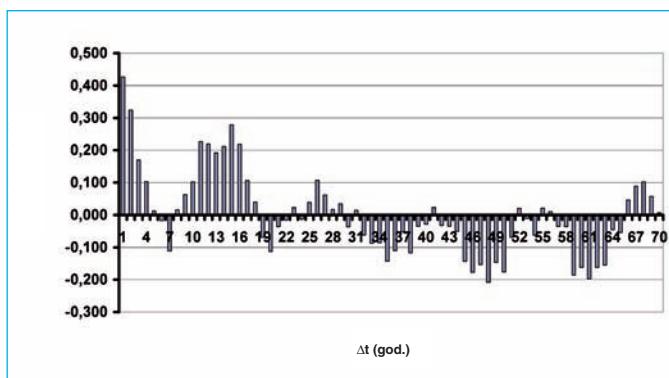
Na slici 17. ucrtan je niz srednjih godišnjih temperatura vode izmjereni u razdoblju 1926.-2005. na vodomjernoj postaji Bratislava na rijeci Dunavu. Ucrtan je i pravac linearne regresije koji upućuje na postojanje



Slika 18. Grafički prikaz dva podniza (1926.-1980. i 1981.-2005.) srednjih godišnjih temperatura vode izmjerena na Dunavu kod Bratislave s ucrtanim pravcima regresije koji upućuju na moguće trendove

trenda porasta srednjih godišnjih temperatura vode u razmatranom razdoblju. Prosječna srednja godišnja temperatura iznosila je 10,0 °C. Na slici 18. ucrtan je RAPS izračunat za niz srednjih godišnjih temperatura vode prikazanih na slici 17. S ove se slike uočava da je 1981. godine došlo do naglog porasta srednjih godišnjih temperatura. U prvom podrazdoblju (1926.-1980.) prosječna srednja godišnja temperatura zraka bila je 9,80 °C, dok je u drugom podrazdoblju (1981.-2005.) porasla na 10,43 °C. Primjenom *t-testa* utvrđena je statistički bitna razlika između dviju spomenutih vrijednosti. Pritom treba naglasiti da se 1996. (dakle u drugom podrazdoblju) pojavila najniža vrijednost srednjega godišnjeg protoka u iznosu od 8,53 °C. Valja uočiti da u prvom podrazdoblju (1926.-1980.) nije postojao nikakav trend (ni porasta ni opadanja) temperatura te da je od 1981. na dalje uočen statistički bitan trend porasta srednjih godišnjih temperatura. Pouzdano objašnjenje za ovakvo ponašanje temperature vode u ovom trenutku nije moguće naći. Levi (2008.) navodi da su sedamdesetih i osamdesetih godina prošloga stoljeća brojni istraživači različitih geofizičkih fenomena uočili pojmom naglih promjena (skokova ili padova). Međutim, ni ona ne daje objašnjenje za ovu pojavu već smatra da se ona teško može uskladiti sa široko prihvaćenim mišljenjem o globalnoj promjeni klime, čija je osnovna posljedica globalno zagrijavanje.

Na slici 19. prikazan je autokoreogram niza srednjih godišnjih temperatura vode Dunava kod Bratislave. Uočava se mnogo veća povezanost članova ispitivanog vremenskog niza srednjih godišnjih temperatura nego srednjih godišnjih protoka. Treba upozoriti i na moguće postojanje ciklusa između 11 i 15 godina. Stacionarno ponašanje članova ovog niza nadvladava slučajnu komponentu. Kako je temperatura vode na nekom profilu izravno i najviše uvjetovana temperaturama zraka u dijelu sliva, bilo bi nužno izučiti i režim temperature zraka uzvodno od vodomjernog profila Bratislava.



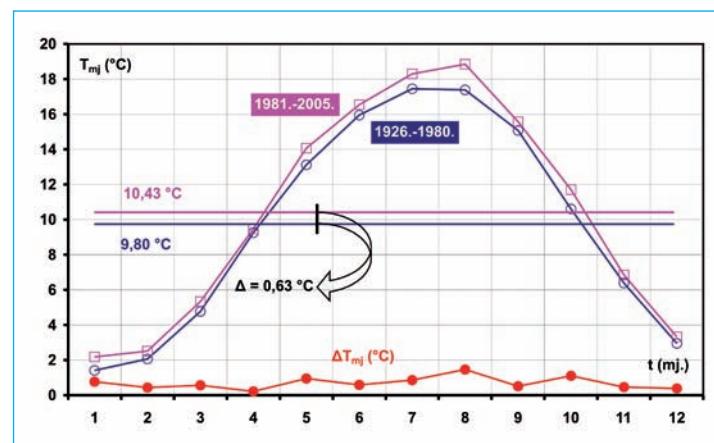
Slika 19. Autokoreogram srednjih godišnjih temperaturi vode Dunava kod Bratislave u razdoblju 1926.-2005.

### 3.2. Analiza mjesecnih temperatura vode

Na [slici 20.](#) ucrtana su dva niza prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti temperaturi vode Dunava kod Bratislave izmjerena u podrazdobljima 1926.-1980. i 1981.-2006. Ujedno su ucrtani i srednji godišnji protoci za oba podrazdoblja te razlika prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti  $\Delta T$  između ta dva podrazdoblja. Uočava se da su temperature vode u posljednjih 26 godina više tijekom svih mjeseci, ali da se najveća apsolutna razlika javlja u kolovozu.

Gotovo identičan zaključak može se donijeti i na osnovi pregleda [slike 21.](#) na kojoj su prikazana dva para nizova prosječnih minimalnih (crtkana linija) i maksimalnih (puna linija) mjesecnih vrijednosti temperaturi vode Dunava kod Bratislave izmjerena u podrazdobljima 1926.-1980. i 1981.-2006.

Na [slici 22.](#) ucrtan je autokoreogram srednjih mjesecnih temperaturi vode Dunava kod Bratislave u razdoblju siječanj 1926. - prosinac 2005. Uočava se snažan utjecaj sezonske cikličnosti u vremenskom nizu srednjih mjesecnih protoka. Maksimalne vrijednosti koeficijenata linearne autokorelacije prelaze veličinu od 0,9, što upućuje na to da je utjecaj slučajne komponente vrlo malen.

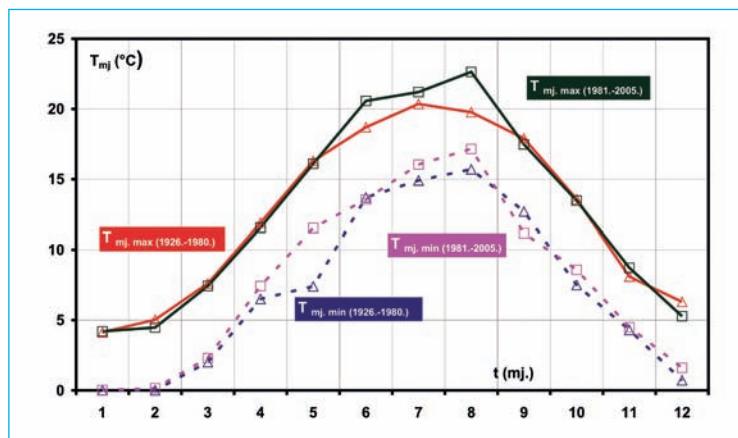


Slika 20. Dva niza prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti temperaturi vode Dunava kod Bratislave izmjerena u podrazdobljima 1926.-1980. i 1981.-2006. s ucrtanim srednjim godišnjim protocima za oba podrazdoblja te razlikom prosječnih srednjih mjesecnih vrijednosti  $\Delta T$  između ta dva podrazdoblja

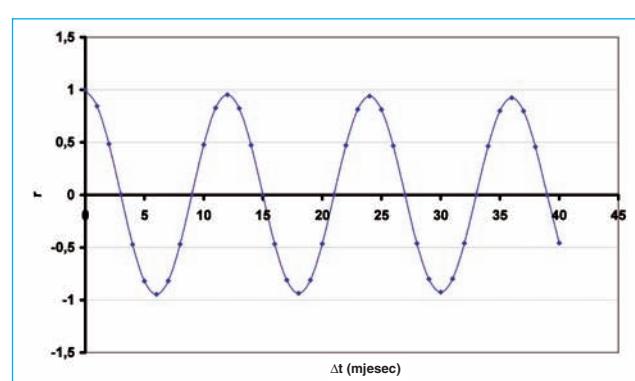
### 4. ZAKLJUČCI

Osnovni cilj ovog rada bio je da se analizom dugih nizova karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih, mjesecnih i dnevnih protoka te srednjih godišnjih i mjesecnih temperaturi vode opaženih na vodomjernoj postaji Bratislava na rijeci Dunavu utvrde procesi globalnih promjena ili varijacija te da se eventualno pokuša ustanoviti njihove uzroke.

Na osnovi ovdje izvršenih i opisanih analiza te na osnovi analiza što su ih izvršili Pekárová i sur. (2008.) može se zaključiti da općenito nije došlo do znatnijih promjena u režimu protoka i temperatura vode na analiziranom profilu. Pritom se mora priznati da se prije započinjanja analiza očekivalo da će promjene biti znatnije. Ova se pretpostavka temeljila na činjenici da je uzvodni dio sliva rijeke Dunava i njegova korita, ali i korita brojnih njegovih većih i manjih pritoka u posljednjih više od sto godina pretrpio doista goleme promjene uzrokovane radom čovjeka. Tu se prije svega misli na: regulacije korita; izgradnju brana i akumulacija; prenamjenu prirodnih površina u urbane, industrijske i poljoprivredne;



Slika 21. Dva para nizova prosječnih minimalnih (crtkana linija) i maksimalnih (puna linija) mjesecnih vrijednosti temperaturi vode Dunava kod Bratislave izmjerena u podrazdobljima 1926.-1980. i 1981.-2006.



Slika 22. Autokoreogram srednjih mjesecnih temperaturi vode Dunava kod Bratislave u razdoblju siječanj 1926. - prosinac 2005.

crpljenje velikih količina vode iz podzemlja; izgradnju velikih autocesta i plovnih kanala; masovnu sjeću šuma; masovno iskorištavanje rudnog bogatstva itd. Osnovni je problem da su sve te vrlo snažne djelatnosti najčešće nekontrolirane i nekoordinirane pa čak i nedovoljno poznate, što nije omogućilo kvantitativno izučavanje njihova utjecaja na promjene hidrološkog i termalnog režima rijeke Dunava na profilu Bratislava. Antropogeni zahvati zasigurno su utjecali na hidrološki režim, dok na termalni režim znatan utjecaj imaju promjene temperature zraka.

RAPS metoda omogućila je detaljnije ulaženje u strukturu pojedinih vremenskih nizova. Pomogla je utvrđivanju vremena početka i kraja porasta ili opadanja protoka i temperatura vode kao i pojave trendova u pojedinim podrazdobljima. Općenito se može zaključiti da osim što je srednja godišnja temperatura vode znatno porasla 1981. godine u ostalim analiziranim vremenskim serijama nisu opažene znatnije promjene koje bi se mogle povezati s globalnim promjenama klime. Čini se da se većina promjena može objasniti uobičajenim varijacijama klime.

Preraspodjela srednjih dnevnih i srednjih mjesecnih protoka u posljednjih nekoliko dekada uzrokovala je smanjivanje protoka tijekom proljetnih mjeseci, a povećanje tijekom zimskih mjeseci. Vjerovatni razlog tome je preraspodjela temperatura zraka u gornjem dijelu sliva Dunava povezana s regionalnim i lokalnim promjenama oborinskog režima. Moguće je da rijeka Dunav gubi svoj izraziti lednički hidrološki režim. Čini se da u gornjem dijelu sliva pada sve rijede snijeg, jer su zimske temperature sve više. Međutim, valja naglasiti da preraspodjela protoka tijekom godine nije utjecala ni na smanjivanje ni na povećanje karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) godišnjih protoka.

Rad je upozorio na nužnost nastavka izučavanja prije svega klimatskih karakteristika u prostoru sliva Dunava do Bratislave. Posebnu pozornost valjalo bi usredotočiti na izučavanje i objašnjavanje recentnih procesa te prognozu razvoja stanja u najbližoj budućnosti u vezi s procesima eventualnih klimatskih promjena i globalnog zagrijavanja koji bi mogli utjecati na upravljanje vodnim resursima u ovome gusto naseljenom i stoga jako ranjivom prostoru.

## LITERATURA

- Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilaire, A., Ouarda, T.B.M.J., Bilodeau, L., Robichaud É., Thiémonge, N., Bobée, B. (2007.): *Predicting river water temperatures using stochastic models: case study of the Moisie River (Québec, Canada)*. *Hydrological Processes* 21(1): 21-34.
- Bonaci, O. (2000.): *The role of international co-operation in a more efficient, sustainable development of water resources management in the Danube basin*. *European Water Management* 3(2): 26-34.
- Bonaci, O., Trninić, D. (2006.): *Analysis of discharges along the Danube River watercourse*. *23<sup>rd</sup> Conference of Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Belgrade*, CD ROM, 9 str.
- Bonaci, O., Trninić, D., Roje-Bonacci, T. (2008.a): *Analysis of the water temperature regime of the Danube and its tributaries un Croatia*. *Hydrological Processes* 22(7): 1014-1021.
- Bonaci, O., Trninić, D., Roje-Bonacci, T. (2008.b): *Analiza odnosa temperatura zraka i vode na nekoliko većih rijeku u kontinentalnom dijelu Hrvatske*. *Hrvatske vode* 16(62): 7-19.
- Garbrecht, J., Fernandez, G.P. (1994.): *Visualization of trends and fluctuations in climatic records*. *Water Resources Bulletin* 30(2): 297-306.
- Gore, J.A. (1992.): *3: Hydrological change*. U: *The Rivers Handbook Volume 2*, Calow P, Petts GE (ur). Blackwell Science, Oxford: 33-54.
- Levi, B.G. (2008.): *Trends in the hydrology of the western US bear the imprint of manmade climate change*. *Physics Today* 61(4): 16-18.
- Pekárová, P., Onderka, M., Pekár, J., Miklánek, P., Halmová, D., Škoda, P., Bačová-Mitková, V. (2008.): *Hydrologic Scenarios for the Danube River at Bratislava*. KEY Publishing, Bratislava.
- Rose, A.H. (ur.) (1967.): *Thermobiology*. Academic Press, London.
- Stančík, A., Jovanović, S., Sikora, A., Urge, I., Domokos, M. (1988.): *Hydrology of the River Danube*. Priroda, Bratislava.
- Torgersen, T. (1994.): *Modelling and testing coupled hydrological processes*. *EOS Transactions AGU* 75(7): 73-77.
- Walling, D.E., Webb B.W. (1992.): *3: Water quality I. Physical characteristics*. U: *The Rivers Handbook Volume 1*, Calow P, Petts GE (ur). Blackwell Science, Oxford: 48-72.
- Webb, B.W., Clack, P.D., Walling, D.E. (2003.): *Water-air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow*. *Hydrological Processes* 17(15): 3069-3084.
- Webb, B.W., Nobilis, F. (1997.): *Long-term perspectives on the nature of the air-water temperature relationship: a case study*. *Hydrological Processes* 11(2): 137-147.
- Webb, B.W., Nobilis, F. (2007.): *Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors*. *Hydrological Sciences Journal* 52(1): 74-85.
- Zweimüller, I. (2007.): *Temperature increase in the Austrian Danube - causes and consequences*. *Geophysical Research Abstracts* 9. 11359.

## Autori:

**prof. dr. sc. Ognjen Bonacci, dipl. ing. grad. <sup>1</sup>,**  
**Pavla Pekárová<sup>2</sup>,**  
**Pavol Miklánek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matice hrvatske 15, 21000 Split  
[obonacci@gradst.hr](mailto:obonacci@gradst.hr)

<sup>2</sup>Institute of Hydrology Slovak Academy of Science, Račia 75, 02 Bratislava, SK-831, Slovačka