

Novije promjene protočnih režima u hrvatskom dijelu poriječja Dunava

Ivan Čanjevac

U radu se daje pregled metodologije i rezultata dosadašnjih istraživanja promjena režima protoka rijeka u Njemačkoj, Švicarskoj, Austriji i Sloveniji. Nakon toga prikazani su rezultati analize promjene protočnih režima na rijekama u hrvatskom dijelu poriječja Dunava uspoređujući standardno tridesetogodišnje razdoblje (1961. – 1990.) i posljednje tridesetogodišnje razdoblje (1980. – 2009.). Za analizu su upotrijebljeni modulni (Pardé-ovi) koeficijenti dobiveni na temelju srednjih godišnjih odnosno mjesečnih vrijednosti protoka na dvanaest hidroloških postaja na jedanaest tekućica. Uz modulne koeficijente upotrijebljena je statistička metoda Kendall-Theil za analizu trenda na godišnjoj razini te po tromjesečjima (godišnjim dobima). Rezultati upućuju na promjene protočnih režima na svim tekućicama u hrvatskom dijelu poriječja Dunava. One se očituju kroz redistribuciju protoka unutar godine, povećanje jesenskih i zimskih te smanjenje ljetnih protoka te pomake u mjesecu javljanja maksimuma i minimuma. U većini slučajeva promjene se mogu objasniti promjenama padalinskog režima, ali je za detaljnije rezultate potrebno provesti istraživanja na razini poriječja.

Ključne riječi: protočni režim, trendovi protoka, poriječje Dunava, Hrvatska, hidrogeografija, hidrologija

Changes in Discharge Regimes of Rivers in the Croatian Part of the Danube River Basin

This article deals with the changes in discharge regimes of rivers in the Croatian part of the Danube River Basin. In the first part, the overview of the methodology and results of researches of discharge regimes of rivers in Germany, Switzerland, Austria and Slovenia is given. In the second part changes in runoff regimes were analyzed, comparing the standard thirty year time period (1961-1990) and the last thirty year period (1980-2009) for 12 selected hydrological stations on 11 rivers in the Croatian part of the Danube River Basin. To assess the change in regimes, comparison of module (Pardé) coefficients between the two time series was done. In addition, a Kendall-Theil (Sen) non-parametric trend test was carried for the yearly and seasonal values of discharge. The results show changes on all the analyzed rivers and stations. There is evidence of redistribution of discharge throughout the year, increase in autumn and winter discharge (especially on rivers dominantly fed by snowmelt) and decrease in summer values of discharge. In addition, we detected a change in the month of the appearance of discharge maxima and minima. The changes can be described through changes in the regime of climate elements (temperature, precipitation, evapotranspiration). Further analyzes should focus on the catchment scale in order to assess all the relevant factors influencing changes in the discharge regime of each river.

Key words: discharge regime, discharge trends, Danube River Basin, Croatia, hydrogeography, hydrology

UVOD

U posljednjih tridesetak godina opažaju se postupno povećanje srednje godišnje temperature zraka i promjene režima padalina. Procjene povećanja temperature zraka na površini Zemlje u posljednjih stotinu godina kreću se od 0,5 do 0,9 °C, pri čemu se naglašava ubrzanje trenda rasta u posljednjih pedeset godina (Bates et al., 2008). Takvo povećanje veće je i od kojega u bilo kojem stoljeću u posljednjih tisuću godina (Kundzewicz, 2004, prema: IPCC, 2001). Na meteorološkim postajama u Hrvatskoj zabilježen je u XX. stoljeću porast srednje godišnje temperature zraka od 0,2 do 0,7 °C (*Peto nacionalno izvješće RH*, prema: UNFCCC, 2009). Povećanje temperature općenito za posljednicu ima ubrzanje hidrološkog ciklusa, čime dolazi do prostornih i vremenskih promjena padalinskih režima i režima evapotranspiracije. Te su promjene glavni pokretač prirodnih promjena protočnih režima. Protočni režimi, odnosno protoci najstabilnija su (s aspekta mjerenja) komponenta hidrološkog ciklusa te nam analiza dugih vremenskih nizova podataka može dati vrijedne informacije o trendovima i varijacijama klime nekoga područja (Chiew and McMahon, 1996). Naravno, pri analizi protočnih režima i razloga njihovih promjena treba voditi računa o utjecaju čovjeka prije svega kroz izgradnju hidrotehničkih objekata, promjene iskorištavanja zemljišta i druge zahvate u poriječju.

Promjene protočnih režima rijeka zbog promjene klimatskih elemenata ponajprije se u Europi odnose na način opskrbe rijeka, odnosno vrstu njihove prihrane. Smanjenje udjela sniježnice i sočnice ima za posljednicu ranije javljanje prvih (proljetnih) maksimuma te više protoke u zimskom¹ dijelu godine. Iz dosadašnjih istraživanja razvidno je i smanjenje vrijednosti minimalnih protoka kada se oni javljaju u toplijem dijelu godine (Bates et al., 2008; Arnell, 1999). To se posebno odnosi na šire područje europskog dijela Sredozemlja, za koje se predviđa daljnje smanjenje padalina u toplijem dijelu godine, što će povećati pritiske na vodne resurse kada su oni i najpotrebniji. Valja napomenuti kako navedena istraživanja uglavnom govore o općenitim promjenama kontinentalnih razmjera te su naglašena regionalna odstupanja, a posebice ona na razini manjih poriječja.

Protočni režim² podrazumijeva način opskrbe neke rijeke te kretanje srednjih mjesečnih i drugih karakterističnih protoka tijekom godine. Budući da je protočni režim rijeke na nekoj hidrološkoj postaji rezultat ne samo fizičkogeografskih uvjeta nego i društvenogeografskog razvoja uzvodnog dijela poriječja, proučavanje režima rijeka tradicionalno je jedna od glavnih hidrogeografskih istraživačkih tema (Ilešić, 1947; Dukić, 1984; Ridanović, 1993; Orešić, 1995; Hrvatinić, 1998; Arnell, 1999; Orešić i Bahnan, 2005a, 2005b; Frantar and Hrvatinić, 2005). Novija hidrološka istraživanja u Hrvatskoj uglavnom su se fokusirala na ekstremne hidrološke pojave (poplave i suše), posebice na analize maksimalnih vrijednosti protoka i vremena njihove pojave (Biondić, 2005; Bonacci i Oskoruš, 2011). No kvalitetno upravljanje vodnim resursima ovisi i o poznavanju protočnog režima, odnosno prosječne vodne bilance u poriječju te prosječnih vrijednosti protoka i njihove sezonske varijacije (Brilly et al., 2007; Bormann, 2010).

PRISTUPI PROUČAVANJU PROMJENA PROTOČNIH REŽIMA RIJEKA

U nastavku su ukratko prikazane metode i rezultati proučavanja promjena protočnih režima u nekoliko srednjoeuropskih država.

U istraživanju promjena režima pet velikih njemačkih rijeka Dunava, Labe, Emsa, Rajne i Wesera analizirani su 60-godišnji nizovi podataka na 57 hidroloških postaja (Borrmann, 2010). Upotrebljavajući modulne (Pardéove) koeficijente, analizirane su sezonske promjene protoka, godišnje amplitude protoka (razlika najvećeg i najmanjeg Pardeova koeficijenta), promjene vremena javljanja ekstremnih vrijednosti te ujednačenost trendova unutar istih poriječja. Rezultati govore da je unatoč zadržavanju istih mehanizama prihrane rijeka došlo do promjena značajki tipova protočnih režima. Gotovo na svim promatranim postajama od polovine XX. stoljeća došlo je do povećanja Pardeovih koeficijenata u zimskim mjesecima te smanjenja u ljetnima. Usto na većini postaja srednji protoci pokazuju pozitivan trend. Za snježne i kišno-snežne režime opaženi su i pomak u mjesecu javljanja maksimuma i minimuma protoka te povećanje amplitude mjeseca s najvećim i najmanjim protokom. Sezonska varijabilnost vrijednosti protoka smanjena je kod rijeka s pretežnom prihranom snježnicom (uravnavanje protoka) i istovremeno povećana kod rijeka koje se ponajprije prihranjuju kišnicom. Ti rezultati govore u prilog utjecaju promjena klimatskih elemenata na protočne režime rijeka u Njemačkoj.

Istraživanje promjena protoka rijeka u Švicarskoj obuhvatilo je 48 postaja u isto toliko poriječja (Birsan et al., 2005). Pri analizi su upotrijebljene statističke metode i neparametarski Mann-Kendallov test kako bi se uočili statistički značajni trendovi promjena u razdobljima 1931. – 2000. (12 postaja), 1961. – 2000. (30 postaja) i 1971. – 2000. (48 postaja). Testovi su provedeni i za pojedina godišnja doba. Rezultati upućuju na kompleksne, prostorno neujednačene promjene. Unatoč tome općenito je zabilježeno povećanje ukupnoga godišnjeg protoka zbog povećanja protoka u zimskim, proljetnim i jesenskim mjesecima. Najznačajnije su promjene u zimskim i proljetnim mjesecima, kad se zbog porasta temperature zraka smanjuje udio padalina u obliku snijega i povećava topljenje snijega i leda. Stoga je prihranjivanje rijeka brže te se vrijednosti protoka povećavaju, a dolazi i do pomaka vršnih vrijednosti protoka prema početku kalendarske godine. Ti trendovi promjena izraženiji su za poriječja na višim nadmorskim visinama, što govori da su upravo visokogorska područja (izvorišna područja velikih europskih rijeka) najosjetljivija na relativno male promjene klimatskih elemenata.

Veliko nedavno istraživanje utjecaja klimatskih promjena na vodne resurse Austrije obuhvatilo je 641 kišomjernu postaju te 132 hidrološke postaje, a analizirani su vremenski nizovi podataka od 1951. do 2000. (Fürst et al., 2008). U analizi je uz Mann-Kendallov sezonski test, kojim se ustanovljuje statistička značajnost promjene, upotrijebljen i Kendall-Theilov test, kojim se izračunava apsolutna ili relativna srednja godišnja promjena protoka na nekoj postaji u određenom razdoblju. Rezultati tog opsežnog istraživanja ne pokazuju veće promjene u trendovima padalina i protoka na godišnjoj razini, ali prostorne i vremenske razlike naziru se kada se analiziraju rezultati po polugodištima i godišnjim dobima. Izraženiji trendovi povećanja protoka zabilježeni su u hladnijem dijelu godine sjeverno od Alpa, dok je trend smanjenja protoka u toplijem dijelu godine najizraženiji južno od Alpa (Koruška i dijelovi Štajerske). Trendove protoka dovodi se u vezu sa sličnim trendovima promjene padalinskog režima.

U prvom desetljeću XXI. stoljeća objavljeno je nekoliko radova koji analiziraju trendove promjene režima protoka rijeka u Sloveniji (Uлага, 2002; Frantar, 2003; Frantar, 2007; Uлага et al., 2008). U radovima su upotrijebljeni ili statistički testovi za visoke, niske i srednje prosječne vrijednosti protoka ili usporedbe protočnih režima na temelju Pardeovih koeficijenata u dva promatrana razdoblja. Statistički testovi pokazali su

općenito smanjenje vrijednosti maksimalnih, srednjih i minimalnih protoka u gotovo cijeloj Sloveniji (iznimka je istočna Slovenija). Frantar u svojim radovima zaključuje da se, vjerojatno zbog klimatskih promjena, razlike u riječnim protočnim režimima u Sloveniji smanjuju (Frantar, 2003; Frantar, 2005). Sva navedena istraživanja naglašavaju potrebu regionalnih istraživanja, a posebice onih na razini poriječja i dijelova poriječja kako bi se točnije odredili uzroci i posljedice promjena protočnih režima.

Tipovima režima rijeka u Hrvatskoj do sada su se parcijalno bavili Ilešič (1947) i Riđanović (1993), dok su se istraživanja trendova protoka većih rijeka u Hrvatskoj počela intenzivnije provoditi u posljednjih petnaestak godina. Tako su za rijeku Savu objavili rezultate istraživanja Pandžić i dr. (2009), Bonacci i Ljubenković (2008), Šegota i Filipčić (2007), za Dravu Bonacci i Oskoruš (2010) te Gajić-Čapka i Cesarec (2010), dok su rezultate istraživanja promjena protoka dalmatinskih rijeka (Ombla, Cetina) objavili Bonacci (1995) te Bonacci i Roje-Bonacci (2001, 2003).

PROSTORNI OBUHVAT, PODACI I METODE

Predmet su ovoga istraživanja promjene režima protoka rijeka crnomorskoga slijeva (poriječja Dunava) u Hrvatskoj. Navedeni prostor obuhvaća više od šezdeset posto teritorija Hrvatske i u njemu živi oko dvije trećine ukupnog stanovništva. To je prostor s vrlo razvijenom riječnom mrežom u kojemu su velike tekućice Dunav, Sava, Drava i gornji tok Kupe uglavnom položeni rubno. Premda navedeni prostor karakteriziraju vrlo dobro razvijena površinska riječna mreža te postojanje velikoga broja hidroloških postaja (više od pedeset), odabrano je dvanaest pogodnih postaja za analizu na jedanaest rijeka (sl. 1, tab. 1).



Sl. 1. Prostorni raspored analiziranih hidroloških postaja
Fig. 1 Analyzed hydrological stations

Tab. 1. Promjene vrijednosti srednjih mjesečnih protoka (SQ) između razdoblja 1961. – 1990. i 1980. – 2009.
 Tab 1 Changes in mean annual discharge (SQ) between the 1961-1990 and 1980-2009 periods

RIJEKA	STANICA	POVRŠINA SLIJEVNOG PODRUČJA (km ²)	SQ (m ³ /s) 1961-1990	SQ (m ³ /s) 1980-2009	Δ Q	Δ Q %
Ilova	V.Vukovje	995	7,03	7,18	0,15	2,13
Orljava	Pleternica	745	5,14	5,07	-0,07	-1,36
Mura	M.Središće	10891	169,57	162,25	-7,32	-4,32
Česma	Narta	881	5,2	4,96	-0,24	-4,61
Čabranka	Zamost II	103	3,73	3,52	-0,21	-5,63
Sava	Rugvica	12730	306,93	282,11	-24,8	-8,09
Sava	Županja	62891	1134,27	1041,73	-92,5	-8,16
Gornja Dobra	Luke	162	7,19	6,58	-0,61	-8,48
Glina	Glina	1145	18,27	16,5	-1,77	-9,69
Kupa	Hrvatsko	370	20,7	18,7	-2	-9,7
Sutla	Zelenjak	455	7,32	6,51	-0,81	-11,1
Bednja	Tuhovec	470	6,52	5,37	-1,15	-17,6

Izvor: izračunao autor prema podacima DHMZ-a

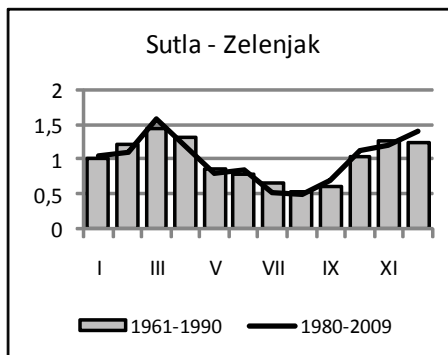
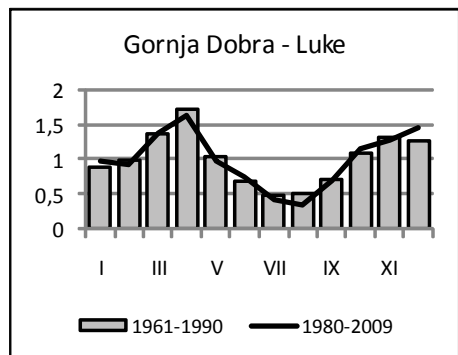
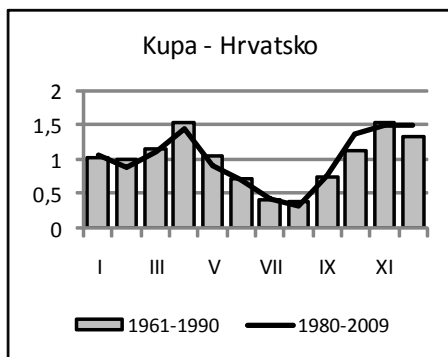
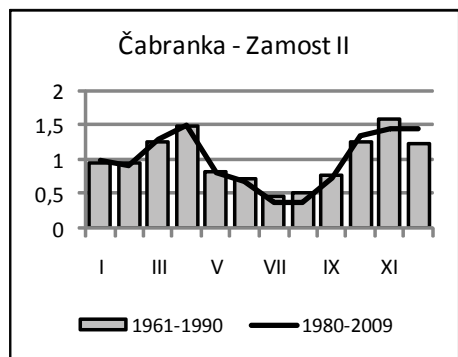
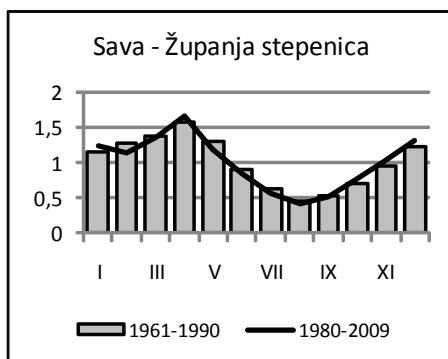
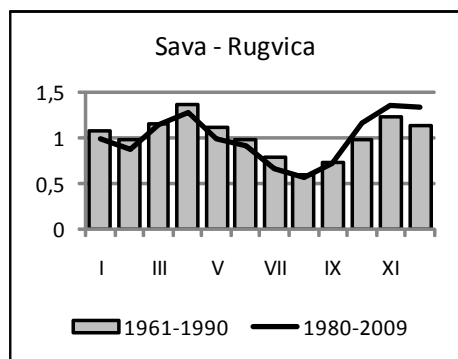
Svi podaci dobiveni su od Službe za hidrologiju Državnoga hidrometeorološkog zavoda. Odabrane postaje prije svega zadovoljavaju kriterij neprekinutosti mjerenja (iznimka su postaje Glina i Rugvica s manjim prekidima), odnosno dostupnosti podataka za protoke od 1961. do 2009. Drugi je važan kriterij homogenost niza podataka kao preduvjet za primjenu statističkih metoda (Žugaj, 2000). Ispitivanje homogenosti provedeno je Wilcoxonovim testom, koji se u prethodnim istraživanjima pokazao prikladnim. Statistička homogenost niza podataka omogućuje pouzdanije zaključke i objašnjenja analiziranih promjena.

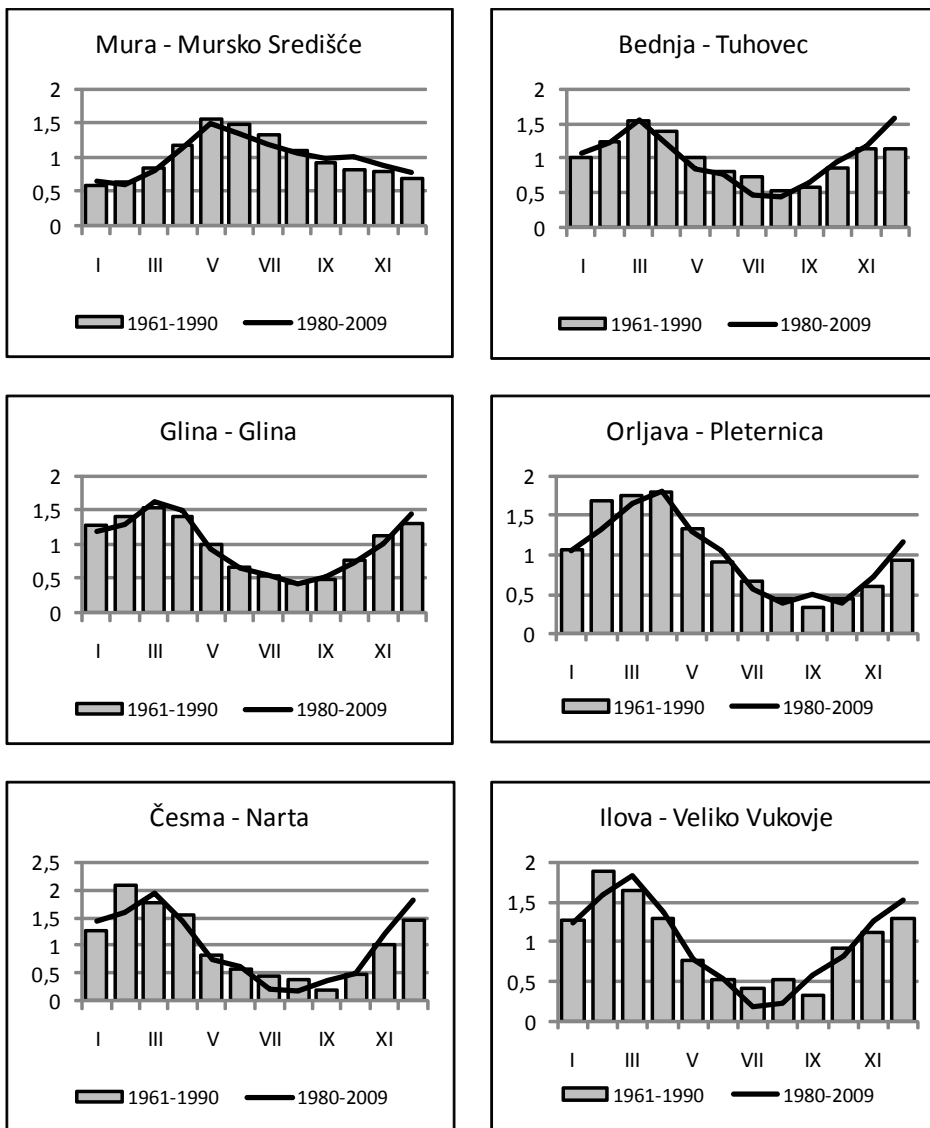
Analiza promjena započela je usporedbom vrijednosti srednjih godišnjih protoka rijeka na odabranim postajama u tridesetogodišnjim razdobljima 1961. – 1990. i 1980. – 2009. Zatim su analizirani godišnji režimi protoka za oba razdoblja izračunati pomoću Pardeovih modulnih koeficijenata³. Budući da su uočene promjene, analizirani su trendovi u razdoblju 1980. – 2009. pomoću Kendall-Theilove (također Sen) metode za analizu vrijednosti trenda i njegove statističke značajnosti na razini pet posto. Analiza trendova provedena je na godišnjoj razini i po tromjesečjima (godišnjim dobima). Nakon toga je uz kartografsko predočavanje obavljena analiza prostorne distribucije promjena.

REZULTATI I RASPRAVA

Usporedba srednjih godišnjih protoka rijeka na dvanaest odabranih postaja u razdobljima 1961. – 1990. i 1980. – 2009. daje gotovo ujednačene rezultate za cijelo poriječje Dunava u Hrvatskoj (tab. 1).

Pad srednjega godišnjeg protoka zabilježen je na svim rijekama osim Ilove. Najizraženiji pad, više od deset posto, zabilježen je na rijekama sjeverozapadne Hrvatske (Bednja, Sutla), a najmanji na postaji Pleternica na rijeci Orpljavi. Pad vrijednosti srednjega



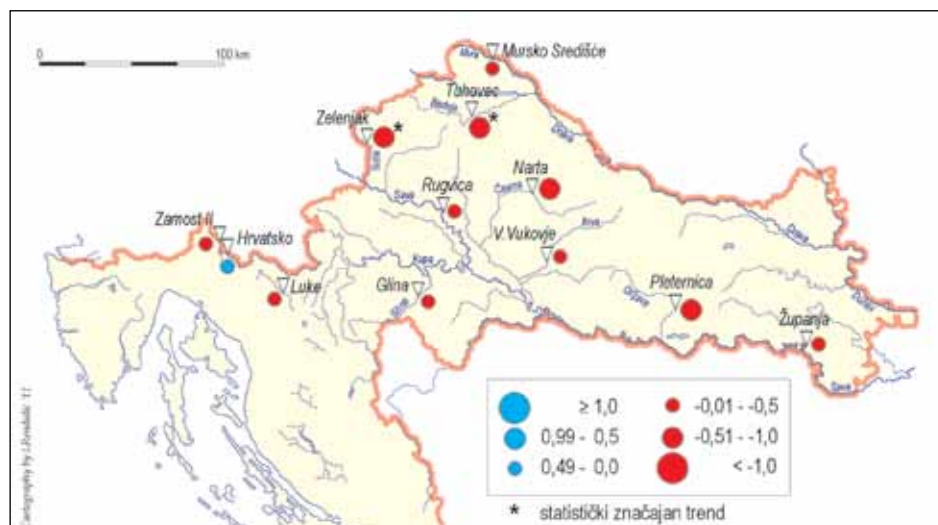


Sl. 2. Režimi tekućica izraženi modulnim (Pardeovim) koeficijentima
 Fig. 2 Discharge regimes of rivers calculated with module (Parde) coefficients

godišnjeg protoka za veće rijeke (u hrvatskim okvirima) kao što su Sava ili Kupa iznosi čak do deset posto. Budući da za sve komponente vodnoga gospodarstva nije važna samo ukupna godišnja količina vode već i njezina distribucija tijekom godine, analizirani su prosječni godišnji protoci po mjesecima pomoću modulnih koeficijenata za dva navedena razdoblja (sl. 2).

Promjene su uočene na svim promatranim postajama, a izraženije su za manje rijeke. One se prije svega odnose na smanjenje koeficijenata u ljetnim te više ili manje izraženo povećanje koeficijenata u jesenskim i zimskim mjesecima (posebno listopad, prosinac i siječanj). Zanimljivo je da su navedene promjene vidljive i kod Mure (postaja Mursko Središće), koja ima ledenjačko-snežni režim i za razliku od drugih promatranih rijeka ima u toplijem dijelu godine maksimum protoka. Na manjim rijekama središnje Hrvatske (Česma, Ilova) uočava se pomak u mjesecu javljanja prvoga maksimuma (od veljače prema ožujku). Vizualna metoda usporedbe koeficijenata bila je dostatna za prvi uvid i usmjerivanje istraživanja prema statistički preciznijoj metodi analize sezonskih promjena protoka. Već spomenutom Kendall-Theilovom metodom analizirani su trendovi promjene i njihove statističke značajnosti za razdoblje 1980. – 2009. Prosječna godišnja promjena srednjeg protoka u razdoblju 1980. – 2009. izražena u postotku vrijednosti medijana promatranog razdoblja izračunata je i kartografski prikazana na godišnjoj razini (sl. 3) te na razini tromjesečja, odnosno godišnjih doba (sl. 4).

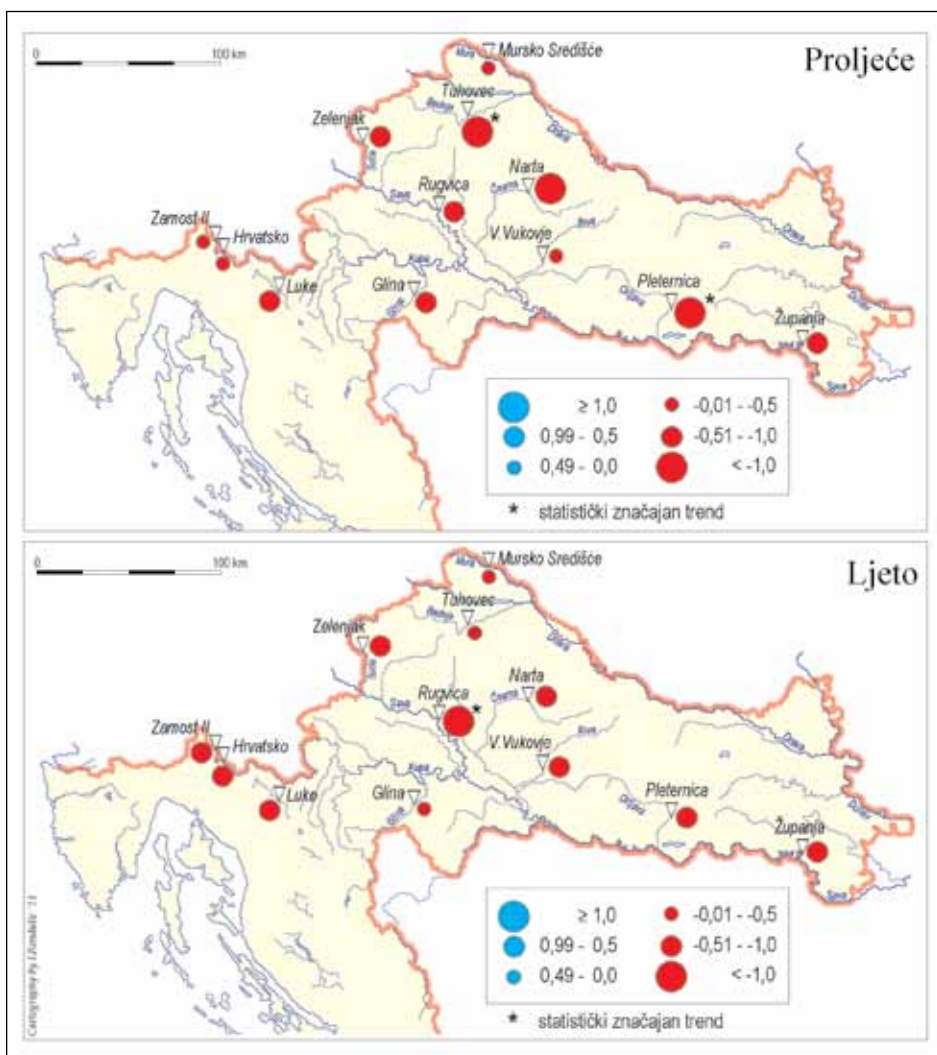
Rezultati na godišnjoj razini uvelike potvrđuju iznesene tvrdnje o smanjenju vrijednosti srednjih protoka na godišnjoj razini na gotovo svim promatranim postajama. Ono je najizraženije kod Bednje i Sutle, gdje je i statistički značajno. Preciznija analiza moguća je ako se uzmu u obzir promjene po godišnjim dobima. Tako je porast protoka u zimskim mjesecima zabilježen kod rijeka u čijoj prihrani značajni udio ima sniježnica. To su rijeke čije je izvorišno područje u višem gorju u Hrvatskoj (Čabranka, Kupa, Dobra) te Alpama (Sava i Mura). Ostale, pretežno nizinske rijeke bilježe pad protoka, izraženiji kod rijeka u sjevernom dijelu središnje Hrvatske. Trendovi za proljetne mjesece negativni su za



Sl. 3. Prosječna godišnja promjena srednjeg protoka u razdoblju 1980. – 2009. izražena u postotku vrijednosti medijana razdoblja

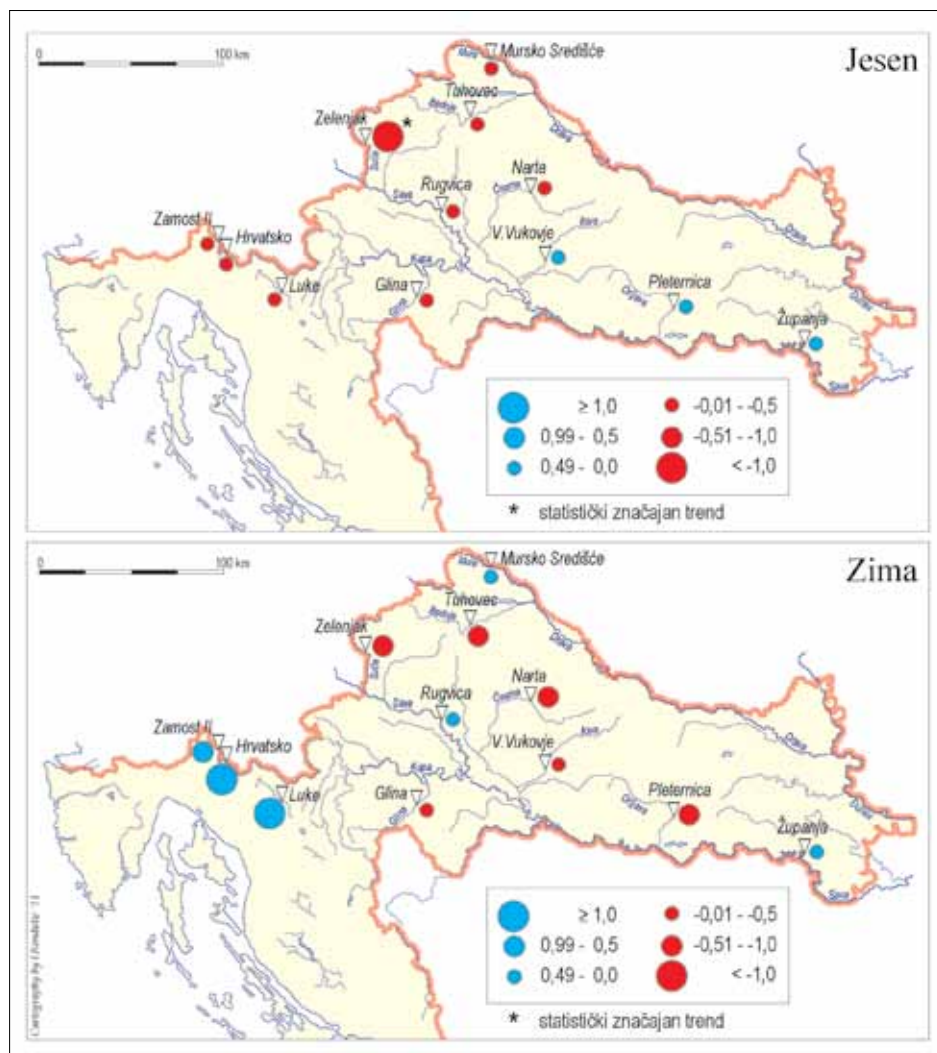
Fig. 3 Average annual change in mean discharge in the 1980-2009 period expressed as a percentage of the value of the period median

sve analizirane rijeke. Najizraženiji negativni trend ponovno je na nizinskim rijekama, gdje su negativne vrijednosti za Bednju i Orpljavu statistički značajne. Trendovi u ljetnim mjesecima također su za sve rijeke negativni, a najizraženije gubitke, više od jedan posto prosječno godišnje (ujedno i statistički značajan pad), u promatranomu tridesetogodišnjem razdoblju bilježi Sava na mjernoj postaji Rugvica. Trendovi za jesenske mjesece najmanje su izraženi. Najveća smanjenja zabilježena su na Sutli (statistički značajno), dok je prema istoku Hrvatske zabilježen i pozitivan trend protoka.



Sl. 4.a Prosječna sezonska promjena srednjeg protoka u razdoblju 1980. – 2009. izražena u postotku vrijednosti medijana razdoblja

Fig. 4a Average seasonal change in mean discharge in the 1980-2009 period expressed as a percentage of the value of the period median



Sl. 4.b Prosječna sezonska promjena srednjeg protoka u razdoblju 1980. – 2009. izražena u postotku vrijednosti medijana razdoblja

Fig. 4b Average seasonal change in mean discharge in the 1980-2009 period expressed as a percentage of the value of the period median

Na temelju rezultata istraživanja na rijekama u Sloveniji i Austriji te dosadašnjih klimatoloških istraživanja u Hrvatskoj (Pandžić i dr., 2009; *Peto nacionalno izvješće RH*, prema: UNFCCC, 2009) i Europi, izneseni rezultati trendova ponajprije se mogu objasniti promjenama u temperaturi, evapotranspiraciji te padalinskom režimu. Naime povećanjem srednje godišnje temperature dolazi u jesenskim i zimskim mjesecima do smanjenja udjela snijega u ukupnoj količini padalina. Time se izravno mijenja protok povećanjem

njegovih vrijednosti u jesen i zimi (kišnica) te smanjivanjem vrijednosti u proljeće (manjak i brže otapanje snijega). Što je veća komponenta snježnice u prihrani rijeke, to je navedena promjena izraženija. Ipak, valja naglasiti da tu opću zakonitost treba oprezno uzimati te pri detaljnijoj analizi na razini poriječja uzeti u obzir i druge fizičkogeografske elemente i utjecaj antropogenih aktivnosti. Smanjenje protoka u ljetnim mjesecima u skladu je s trendovima južno od Alpa (južni dio Austrije, Slovenija), gdje se zbog povećanja temperature i evapotranspiracije u ljetnim mjesecima smanjuje količina vode koja dospije u vodotok i čini mjereni protok. Sve to u nekim slučajevima ima za posljedicu i promjene mjeseca primarnog i eventualno sekundarnog maksimuma i minimuma protoka.

ZAKLJUČAK

Promjene klimatskih elemenata u posljednjih tridesetak godina utječu na protočne režime rijeka u hrvatskom dijelu poriječja Dunava. Obradeni su podaci i trendovi promjene srednjih mjesečnih vrijednosti protoka na dvanaest hidroloških postaja u poriječju Dunava u Hrvatskoj u dva tridesetogodišnja razdoblja, 1961. – 1990. i 1980. – 2009. U posljednjemu tridesetogodišnjem razdoblju došlo je do promjene protočnih režima rijeka u hrvatskom dijelu crnomorskoga slijeva u smislu:

- 1) smanjenja prosječnoga godišnjeg protoka (osim rijeke Ilove, koja bilježi blagi porast)
- 2) smanjenja protoka ljeti
- 3) povećanja jesenskih i zimskih protoka kod rijeka za čiju je prihranu značajna snježnica
- 4) pomaka u mjesecu javljanja pojave maksimuma i minimuma, posebno izraženog kod manjih nizinskih rijeka (Česma, Ilova i Orljava).

Vrste i intenzitet tih promjena sugeriraju da su njihovi glavni pokretači promjene temperature i padalinskog režima na širem području poriječja analiziranih rijeka. Za preciznije analize uzroka i posljedica promjena protočnih riječnih režima potrebna su upravo istraživanja na razini poriječja, kojima će se omogućiti analiza ostalih elemenata prirodne osnove (odnosno njihove promjene) te antropogenih utjecaja koji, posebno kod manjih poriječja, mogu igrati značajnu ulogu u modificiranju režima protoka. Stoga se daljnja istraživanja trebaju usmjeriti na razinu poriječja kako bi se utvrdili uzroci, intenzitet i posljedice promjena režima protoka kao preduvjeta racionalne upotrebe vodnih resursa

POZIVNE BILJEŠKE

1. Zimski dio godine podrazumijeva prosinac, siječanj i veljaču; slijede ostala godišnja doba po tromjesečjima.
2. Za termin protočni režim ili režim protoka (engl. *discharge regime*, njem. *Abfluss Regime*, franc. *le régime annuel des débits*) ranije se često koristio termin režim rijeke ili riječni režim. Budući da je riječni režim termin šireg značenja i može obuhvaćati kategorije u rasponu od načina otjecanja, vodostaja, protoka, temperature, sve do načina upotrebe (npr. plovidbe) ili zaštite rijeke, u ovome je radu korišten precizniji termin protočni režim.
3. Modulne koeficijente kao odnos srednjeg protoka svakog mjeseca i srednjega godišnjeg protoka istog razdoblja uveo je francuski hidrolog-geograf Maurice Pardé prilikom svoje klasifikacije režima tekućica 1933. Metoda omogućuje usporedbe tekućica različitih veličina, odnosno protoka (Pardé, 1933; Ridanović, 1993).

LITERATURA

- Arnell, N. W., 1999: The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective, *Global Environmental Change* 9, 5-23.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J. P., ur., 2008: *Climate Change and Water*, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Ženeva, Švicarska.
- Biondić, D., 2005: *Velike vode hrvatskih vodotoka crnomorskog sliva*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.
- Birsan, M.-V., Molnar, P., Burlando, P., Pfaundler, M., 2005: Streamflow trends in Switzerland, *Journal of Hydrology* 314, 312-329.
- Bonacci, O., 1995: Groundwater behavior in karst regions: Example of the Ombla spring (Croatia), *Journal of Hydrology* 165 (1-4), 113-134.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T., 2001: Hidrološke promjene duž toka rijeke Cetine, *Hrvatske vode* 9 (37), 395-408.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T., 2003: The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina, *Hydrological Processes* 17 (1), 1-15.
- Bonacci, O., Ljubenkov, I., 2008: Changes in flow conveyance and implication for flood protection, Sava River, Zagreb, *Hydrological Processes*, 22 (8), 1189-1196.
- Bonacci, O., Oskoruš, D., 2010: The changes of the lower Drava River water level, discharge and suspended sediment regime, *Environmental Earth Sciences* 59 (8), 1661-1670.
- Bonacci, O., Oskoruš, D., 2011: Hidrološka analiza sigurnosti Zagreba od poplave vodama rijeke Save u novim uvjetima, *Hrvatske vode* 19 (75), 13-24.
- Bormann, H., 2010: Runoff regime changes in German rivers due to climate change, *Erdkunde* 64 (3), 257-279.
- Brilly, M., Horvat, A., Matthews, D., Šraj, M., 2007: Climate change impact on mean annual river flows, u: *Proceedings of the Third International Conference on Climate and Water*, Helsinki, Finska, 82-87.
- Chiew i McMahon, 1996: Trends in Historical Streamflow Records, u: *Regional Hydrological Response to Climate Change* (ur. Jones, J. A. A., Liu, C., Woo, M.-K., Kung, H.-T.), Kluwer Academic Publishers, Nizozemska, 63-68.
- Dukić, D., 1984: *Hidrologija kopna*, Naučna knjiga, Beograd.
- Frantar, P., 2003: Pretočni režimi na reki Savi in njihove spremembe med obdobjem 1961-90 in 1991-2000, u: *14. Mišičev vodarski dan – zbornik referata*, 133-141.
- Frantar, P., 2005: Pretočni režimi slovenskih rek in njihova spremenljivost, *Ujma* 19, 145-153.
- Frantar, P., 2007: Geographical overview of water balance of Slovenia 1971 – 2000 by main river basins, *Acta geographica Slovenica* 47(1), 25-45.

- Frantar, P., Hrvatina, M., 2005: Discharge regimes in Slovenia from 1971 to 2000., *Geografski vestnik* 77 (2), 115-127.
- Fürst, J., Kling, H., Nachtnebel, H. P., Hörhan, T., 2008: Trends in hydrologischen Variablen und in der Wasserbilanz Österreichs, u: *Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft* (ur. Nachtnebel, H. P.), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Beč, Austrija, 105-115.
- Gajić-Čapka, M., Cesarec, K., 2010: Trend i varijabilnost protoka i klimatskih veličina u slivu rijeke Drave, *Hrvatske vode* 18 (71), 19-30.
- Hrvatina, M., 1998: Discharge regimes in Slovenia, *Geografski zbornik* 38, 59-87.
- Ilešič, S., 1947: Rečni režimi v Jugoslaviji, *Geografski vestnik* 19, 71-110.
- Kundzewicz, Z. W., 2004: Searching for a change in hydrological data, *Hydrological Sciences Journal* 49(1), 3-6.
- Orešić, D., 1995: Osnovne značajke režima tekućica poriječja Krapine, *Geografski glasnik* 57, 37-53.
- Orešić, D., Bahnan, G., 2005a: Promjene režima otjecanja tekućica u gornjem dijelu poriječja Habura u sjeveroistočnoj Siriji u drugoj polovici XX. stoljeća – dio I: godišnji protoci, *Hrvatski geografski glasnik* 67 (1), 45-62.
- Orešić, D., Bahnan, G., 2005b: Promjene režima otjecanja tekućica u gornjem dijelu poriječja Habura u sjeveroistočnoj Siriji u drugoj polovici XX. stoljeća – dio II: srednji mjesečni protoci, *Hrvatski geografski glasnik* 67 (2), 67-84.
- Pandžić, K., Trinić, D., Likso, T., Bošnjak, T., 2009: Long-term variations in water balance components for Croatia, *Theoretical and Applied Climatology* 95, 39-51.
- Pardé, M., 1933: *Fleuves et Rivières*, Armand Colin, Pariz.
- Peto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)*, Izabrana poglavlja, DHMZ, Zagreb, 2009.
- Riđanović, J., 1993: *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb.
- Šegota, T., Filipčić, A., 2007: Suvremene promjene klime i smanjenje protoka Save u Zagrebu, *Geoadria* 12(1), 47-58.
- Uлага, F., 2002: Trendi spreminjanja pretokov slovenskih rek, *Dela* 18, 93-114.
- Uлага, F., Kobold, M., Frantar, P., 2008: Trends of River Discharges in Slovenia, *Earth and Environmental Science*, 4, 1-13.
- Žugaj, R., 2000: *Hidrologija*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

SUMMARY

Changes in Discharge Regimes of Rivers in the Croatian Part of the Danube River Basin

Ivan Čanjevac

The paper deals with changes in runoff and runoff regimes of rivers in the Croatian part of the Danube River Basin. The research area covers around 60 % of Croatia with around 2/3 of the total number of inhabitants. The area has a very well developed surface drainage network with the major rivers, the Danube, Sava, Drava, and upper part of the Kupa flowing marginally. Changes in runoff regimes were analyzed comparing the standard thirty year time period (1961-1990) and the last thirty year period (1980-2009) for 12 selected hydrological stations on 11 rivers. To assess the change in regimes, comparison of module (Pardé) coefficients between the two time series was done. In addition, a Kendall-Theil (Sen) non-parametric trend test was carried for the yearly and seasonal values of discharge. The results show changes on all the analyzed rivers and stations. In the last thirty years, all the analyzed rivers have had a decrease in mean annual runoff (the exception is the Ilova River with a moderate increase). There is evidence of redistribution of discharge throughout the year, increase in autumn and winter discharge (especially on rivers dominantly fed by snowmelt) and decrease in summer values of discharge. In addition, we detected a change in the month of the appearance of discharge maxima and minima. This is more evident on smaller lowland rivers. In most cases the above-mentioned changes can be described through changes in the regime of climate elements (temperature, precipitation, evapotranspiration). Further analyzes should focus on the catchment scale in order to assess all the relevant factors influencing changes in the discharge regime of each river.

Primljeno (Received): 30 - 11 - 2011

Prihvaćeno (Accepted): 28 - 05 - 2012.

Ivan Čanjevac, asistent
Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek
Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb
canjevac@geog.pmf.hr