

Primljen / Received: 20.4.2011.

Ispravljen / Corrected: 5.12.2011.

Prihvaćen / Accepted: 24.1.2012.

Dostupno online / Available online: 15.2.2012.

Sezonska pojavnost velikih voda na slivu Dunava u Hrvatskoj

Autori:



Darko Barbalić, dipl.ing.građ.

Hrvatske vode
darkob@voda.hr



Prof.dr.sc. **Josip Petraš**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
jpetras@grad.hr

Stručni rad

Darko Barbalić, Josip Petraš

Sezonska pojavnost velikih voda na slivu Dunava u Hrvatskoj

U radu je provedena analiza sezonske pojavnosti velikih voda za 95 hidroloških postaja na slivu rijeke Dunav. Korištene su metoda Burnova vektora te metoda RVA - *Range of Variability Approach* koja se zasniva na proračunu osnovnih statistika datuma pojave maksimalnog protoka. Analiza je pokazala najveću vremensku ustaljenost pojave maksimalnih protoka na slivovima Gorskog kotara, pri čemu je statistički očekivano vrijeme njihove pojave kraj godine. Ostale analizirane postaje imaju znatno manju vremensku ustaljenost pojave godišnjih maksimuma.

Ključne riječi:

velike vode, sezonska pojavnost, sliv rijeke Dunav, Burnov vektor, RVA - *Range of Variability Approach*

Professional paper

Darko Barbalić, Josip Petraš

Seasonal Occurrence of Maximum Annual Flows in the Danube River Basin in Croatia

The analysis of seasonal occurrence of maximum annual flows, conducted at 95 gauging stations within the Danube river basin, is presented. Burn's vector method, and RVA - *Range of Variability Approach* method based on elementary statistical analysis of maximum annual flow dates, are used. The analysis shows that the lowest seasonal variability of maximum flows occurs in Gorski Kotar drainage basins, and that this maximum statistically occurs near the end of the year. The seasonal variability of maximum annual flows is much higher for other gauging stations included in the analysis.

Key words:

maximum annual flows, seasonal occurrence, Danube River basin, Burn's vector, RVA - *Range of Variability Approach*

Fachbericht

Darko Barbalić, Josip Petraš

Saisonale Hochwasser im Donaufussgebiet in Kroatien

In der Arbeit wurde die Analyse der saisonalen Erscheinung von Hochwasser an 95 hydrologischen Messstellen im Donaufussgebiet durchgeführt. Es wurden die Burn-Vektor-Methode und die RVA - *Range of Variability Approach* - Methode angewandt, die auf der Berechnung von grundlegenden Statistiken von Tagen, an denen ein maximaler Durchfluss vorhanden ist, begründet. Die Analyse hat die größte Zeitspanne von maximalen Durchflüssen in den Flussgebieten von Gorski kotar ergeben, wobei statistisch gesehen diese zu Jahresende zu verzeichnen ist. Die übrigen analysierten Pegel weisen bedeutend kleinere Zeitspannen der Erscheinung der Jahresmaxima auf.

Schlüsselwörter:

Hochwasser, saisonale Erscheinung, Donaufussgebiet, Burn-Vektor, RVA - *Range of Variability Approach*

1. Uvod

Okvirna direktiva o vodama [1] i Direktiva o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima [2] Europske unije uvele su niz novosti koje se postupno implementiraju u hrvatsko vodnogospodarsko planiranje. Ključni upravljački dokumenti čiju izradu zahtijevaju navedene direktive su Planovi upravljanja vodnim područjima i Planovi upravljanja rizicima od poplava. Izrada prvih Planova upravljanja vodnim područjima te rad na preliminarnoj analizi rizika od poplava uputili su, između ostalog, i na potrebu za jedinstvenim konzistentnim i pouzdanim hidrološkim podlogama regionalnog značenja. Za razliku od većine hidroloških obrada koje su u hrvatskoj praksi uobičajene i redovito se provode, analize sezonske pojavnosti hidroloških ekstrema nisu tako česte, iako poznavanje njihovih rezultata nije nevažno.

Prema [3, 4, 5, 6], poznavanje režima velikih voda ima opsežnu primjenu u hidrologiji. Općenito se sezonska pojavnost smatra odličnim indikatorom za analizu geneze velikih voda i poplava te služi pri analizi sezonske vjerojatnosti za razlučivanje poplava koje su uzrokovali različiti atmosferski čimbenici. Taj parametar je naročito koristan za razne regionalne analize poplava ili općenito za grupiranje hidroloških područja u homogene regije. Također je već duže vrijeme jasno da se potrebe vodenih ekosustava ne mogu zadovoljiti osiguravanjem samo biološkog minimuma, već da je za njihov optimalan opstanak potrebno voditi računa o mnogim aspektima vodnog režima uključujući, između ostalog, i velike vode i njihovu sezonsku pojavnost. U literaturi se može naći mnogo primjera koji upućuju na važnost sezonske pojave ekstrema. Tako primjerice prema [7], pojava ekstrema može bitno utjecati na početak mrijesta migratornih vrsta riba, a prema [8] značajnu ulogu pri denitrifikaciji u močvarama ima temperatura tla (koja ovisi o sezoni) u trenutku poplave i slično.

Sve to pokazuje da analizi sezonske pojavnosti velikih voda treba posvetiti određenu pozornost, a koristi od rezultata ovise o nizu čimbenika koje nije moguće unaprijed predvidjeti. Jedna od koristi je, svakako, odgovor na pitanje je li za određeno područje moguće utvrditi čvrstu zakonitost u pojavi velikih voda. Naime, ako postoji bitna vremenska ustaljenost pojave velikih voda, s velikom se vjerojatnosti može očekivati da su vodni i o vodi ovisni ekosustavi tome prilagođeni te da moguće promjene sezonske pojave velikih voda mogu imati nepovoljne učinke na njihov razvoj. Zbog toga je, uz održanje odgovarajuće količine voda, potrebno osigurati i odgovarajuće vrijeme pojavljivanja te učestalost i trajanje velikih voda ako se u cijelosti želi postići dobro ekološko stanje voda. Publicirana istraživanja sezonskih pojavnosti ekstrema nisu rijetka, pa se tako mogu naći radovi vezani za područje Njemačke [5], Austrije, Švicarske, Slovačke i Rumunjske [9], dijelove Grčke [6] te drugih zemalja i regija.

Provedeni proračun čini prvi korak u analizi sezonske pojavnosti hidroloških pojava na slivu rijeke Dunav u Hrvatskoj. [8].

2. Općenito o primijenjenim metodama

Analiza sezonske pojavnosti maksimalnih dnevnih protoka provedena je na dva, u praksi često korištena, načina: metodom Burnova vektora i metodom RVA - *Range of Variability Approach* koja se zasniva na proračunu osnovnih statistika datuma pojave maksimalnog protoka.

2.1. Metoda Burnova vektora

Jedan način procjene sezonske pojavnosti ekstremnih događaja je Burnov vektor. Njime je opisana varijabilnost trenutka pojave poplavnog događaja i to tako da usmjerenost vektora odgovara očekivanom datumu pojave događaja unutar godine, dok je dužinom vektora opisana varijabilnost oko očekivanog datuma pojave [10].

Burnov vektor, prema [6, 9] proračunava se tako što se najprije za svaku godinu odredi usmjerenost specifičnog vektora datuma na koji se pojavio maksimalni godišnji protok:

$$\theta_i = D_i \frac{2\pi}{365}, \quad (1)$$

gdje je:

- θ_i - "usmjerenost" onog datuma u godini na koji se pojavio maksimalni godišnji protok (*rad*),
- n - redni broj godine u nizu (1 do n),
- i - broj godina u nizu,
- D_i - redni broj datuma u godini i kada se pojavio maksimalni godišnji protok (0 – 365).

Apscisa \bar{x} i ordinata \bar{y} Burnova vektora računaju se na sljedeći način:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos \theta_i \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin \theta_i \quad (3)$$

Iz toga slijedi usmjerenost Burnova vektora $\bar{\theta}$ *rad*:

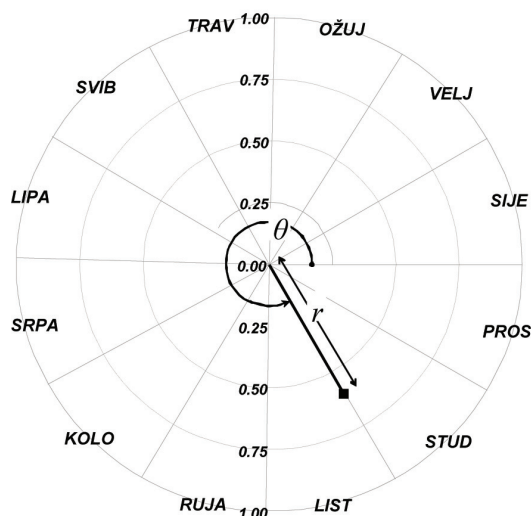
$$\bar{\theta} = \arctg \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad (4)$$

te njegov intenzitet r :

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (5)$$

Usmjerenost $\bar{\theta}$ Burnova vektora može poprimiti vrijednosti od 0 (što odgovara očekivanoj pojavi godišnjeg ekstrema 1. siječnja ujutro) do 2π (što odgovara očekivanoj pojavi godišnjeg ekstrema 31. prosinca navečer). Iz usmjerenosti Burnova vektora može se proračunati odgovarajući datum na osnovi izraza (1). Intenzitet Burnova vektora r može poprimiti vrijednosti između 0 i 1, pri čemu je jednak jedinici ako se ekstremni događaj javljao svake godine na isti datum, a teži prema nuli ako su pojave ekstrema ravnomjerno raspoređene tijekom godine. Treba primijetiti da se njegova usmjerenost, ako su pojave ekstrema približno ravnomjerno raspoređene tijekom godine zbog malog intenziteta vektora, može značajno mijenjati i zbog malih promjena ulaznih podataka.

Burnov vektor se prikazuje na takozvani Burnovu dijagramu, što omogućava veću preglednost rezultata, naročito kad se istodobno promatraju rezultati za više postaja. Primjer Burnova dijagrama i konstrukcije Burnova vektora za postaju kod koje je očekivana pojava godišnjeg maksimuma 31. listopada ($\bar{\theta} = 5.22 \text{ rad} = 299^\circ$, $r = 0.601$) prikazan je na slici 1.



Slika 1. Primjer Burnova dijagrama

2.2. Metoda RVA - Range of Variability Approach

Drugi način analize sezonske pojavnosti svodi se na utvrđivanje srednje vrijednosti (\bar{D}) i standardnog odstupanja (SD) rednog broja datuma pojave velike vode od početka godine, kako je definirano metodom RVA - Range of Variability Approach, opisanom u [11]. Korisna je značajka tog načina što se varijacija pojave opisuje standardnim odstupanjem, dobro poznatim statističkim parametrom s jasnim značenjem, za razliku od intenziteta Burnova vektora, koji na to znatno manje upućuje.

S druge strane, Neposredna primjena ove metode vrlo lako može dovesti do pogrešnih zaključaka. Naime, pojave velikih voda u Hrvatskoj su najčešće vezane za početak ili kraj kalendarske godine. Ako se takav niz datuma pojave velikih voda formira

s obzirom na 1. siječnja, vrijednosti članova niza (rangovi) koji se obrađuju poprimaju vrlo male (siječanj i veljača) ili vrlo velike vrijednosti (studen i prosinac). Tako proračun rezultira srednjom vrijednosti koja je bliska sredini godine (kada se zapravo u Hrvatskoj najčešće ne javljaju velike vode), a standardno odstupanje je veliko. Korištenjem odgovarajuće "računske" godine, odnosno pomakom datuma početka godine za određeni broj mjeseci, obrade pouzdaniji rezultat. Za proračun navedenih veličina koriste se standardni izrazi za srednju vrijednost (6) i standardno odstupanje (7):

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i, \quad (6)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

gdje je:

- \bar{D} - srednja vrijednost rednog broja dana u „računskoj“ godini, kada se pojavio maksimum,
- n - broj godina u nizu,
- i - redni broj godine u nizu (1 do n),
- D_i - redni broj onog dana u „računskoj“ godini i kada se pojavio maksimalni godišnji protok (0 do 365),
- SD - standardno odstupanje (dana).

Minimalna vrijednost standardnog odstupanja može iznositi 0 javlja li se maksimalni godišnji protok svake godine na isti datum. Ako su pojave maksimalnih godišnjih protoka ravnomjerno raspoređene tijekom cijele godine, vrijednost standardnog odstupanja iznosi približno 106 dana, a datum pojave odgovara srednjem datumu "računske" godine (2. srpnja u slučaju kalendarske godine).

Burnov vektor je, zbog svoje trigonometrijske forme, mnogo manje osjetljiv na datum početka "računske" godine, ali ipak treba voditi računa da uslijed promjene datuma početka "računske" godine dolazi do promjena u redosljedu ekstremnih protoka, pa time i u redosljedu datuma njihovih pojava.

Imajući na umu sve navedeno, da bi se dobili što pouzdaniji rezultati te da bi se mogla provesti usporedba metoda, proračun prema metodi RVA proveden je korištenjem "računskih" godina, s tim da je za svaku hidrološku postaju određen njen specifičan početak. To je učinjeno tako da je za početak "računske" godine odabran početak onog mjeseca za koji je standardno odstupanje rezultirajućeg niza datuma najmanje. Radi jasnoće su svi datumi koji su rezultat proračuna dani u odnosu na kalendarsku godinu.

3. Proračun pojavnosti velikih voda

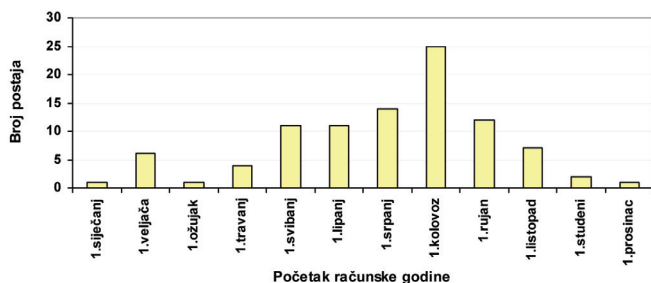
3.1. Ulazni podaci

Za analizu je odabrano 95 hidroloških postaja na slivu rijeke Dunav u Hrvatskoj, pri čemu je svaki niz datuma maksimalnih protoka imao 20 ili više članova.

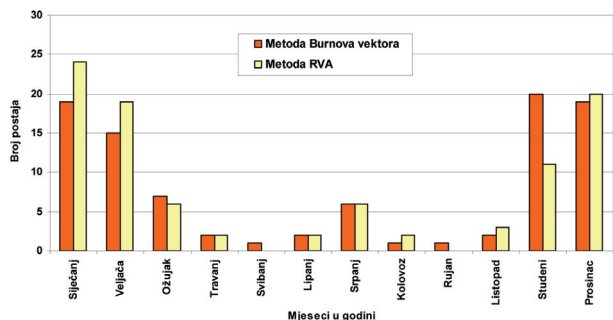
Na slivu Drave i direktnom slivu Dunava u Hrvatskoj odabrano je ukupno 17 postaja i to: dvije postaje na Dunavu, četiri postaje na Dravi, dvije postaje na Muri, tri postaje na Bednji te po jedna postaja na vodotocima Trnavi, Glibokom, Koprivnici, Komarnici, Vočinki i Vojlovici.

Na slivu Save, bez sliva Kupe, odabrane su 32 postaje i to: 12 postaja na Savi, 2 postaje na Sutli, 2 postaje na Krapini, 2 postaje na Vrapčaku, 2 postaje na Lonji, 2 postaje na Česmi te po jedna postaja na Bregani, Lipovačkoj i Rudarskoj Gradni, Črnomercu, Bijeloj, Uni, Šumetlici, Ilovi, Orljavi i Londi.

Na slivu Kupe odabrano je 46 postaja i to: 12 postaja na Kupi, 3 postaje na Gornjoj Dobri, 3 postaje na Donjoj Dobri, 5 postaja na Korani, 3 postaje na Glini te po jedna postaja na rijekama Čabranki, Kupici, Kupčini, Križ Potoku, Veloj i Beloj Vodi, Leski, Kladi, Vitunjčici, Ribnjaku, Globornici, Donjoj Mrežnici, Tounjčici, Kozjaku, Matici, Slunjčici i Radonji. Prosječna dužina analiziranih vremenskih nizova je 48 godina. Za većinu postaja je, na način opisan u prethodnom poglavlju, određen početak "računske" godine tijekom ljetnih mjeseci (slika 2.).



Slika 2. Broj analiziranih postaja s obzirom na pripadni početak "računske" godine



Slika 3. Broj analiziranih postaja i pripadni očekivani mjesec pojave velikih voda

3.2. Rezultati proračuna

Rezultati su pokazali da se prema obje metode na tri četvrtine analiziranih postaja očekivana pojava velikih voda javlja tijekom zimskih mjeseci (studeni – veljača, slika 3.).

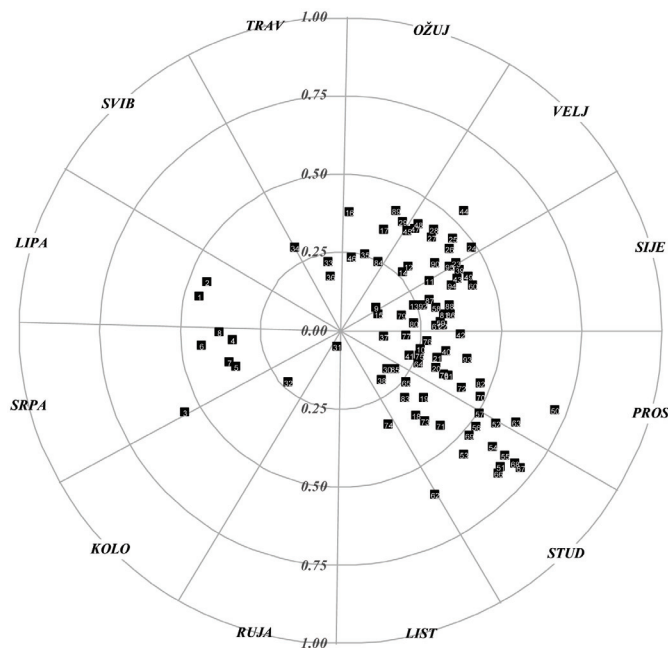
Na rijekama Dunavu, Dravi i Muri, velike se vode javljaju tijekom ljeta (lipanj - srpanj), kao posljedica njihove snježnog režima, što ih jasno odvaja od ostalih analiziranih vodotokova.

Pojave ekstremnih velikih voda pred kraj kalendarske godine uglavnom su vezane za manji zapadni dio analiziranog područja pod značajnim utjecajem krša, koji uključuje Gorski kotar s Gornjom Dobrom i Kupom uzvodno od ušća Dobre. Na tom području je sezonska ustaljenost ekstrema najveća.

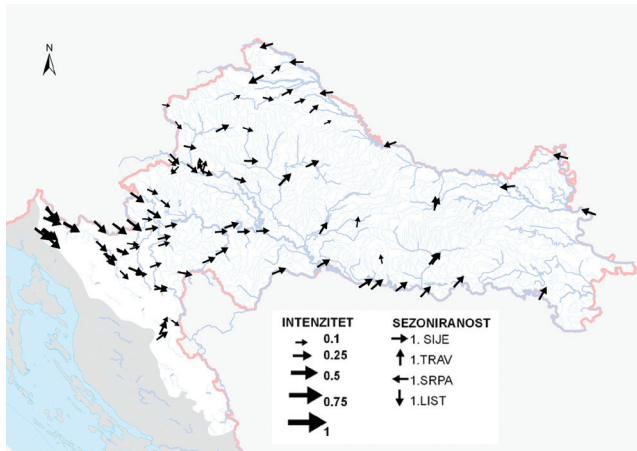
Na istočnom dijelu sliva rijeke Dunav u Hrvatskoj (osim na rijekama Dravi i Muri) velike se vode javljaju uglavnom u prvom tromjesečju godine s relativno slabom sezonskom velike ustaljenošću.

Mali slivovi u okolici Zagreba nemaju izraženu sezonsku ustaljenost pojave velikih voda, iako se načelno može reći da se javljaju sredinom godine, što je i logično jer su njihove velike vode u najvećoj mjeri posljedica lokalnih kišnih događaja velikog intenziteta.

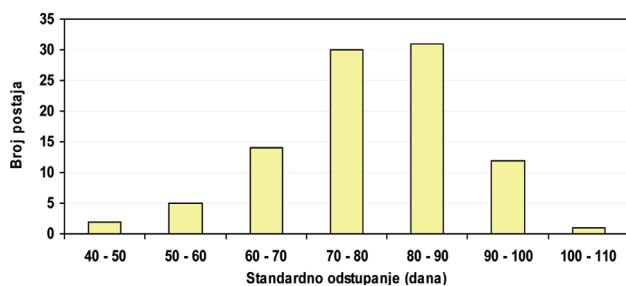
Burnov dijagram i kartografski prikaz sezonske pojavnosti velikih voda vidljivi su na slikama 4. i 5. Na više od 60% analiziranih postaja standardno odstupanje datuma pojave velikih voda iznosi 70 do 90 dana (slika 6.). Distribucija vrijednosti intenziteta Burnova vektora prikazana je na slici 7.



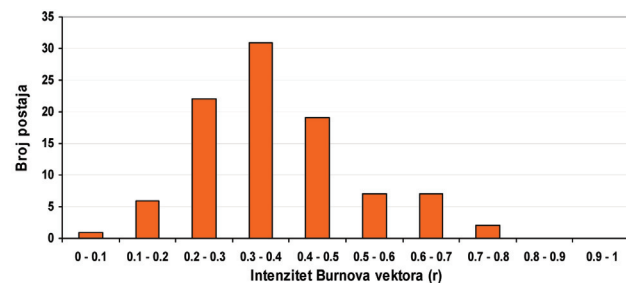
Slika 4. Burnov dijagram analiziranih hidroloških postaja



Slika 5. Kartografski prikaz sezonske pojavnosti velikih voda prema Burnovom vektoru



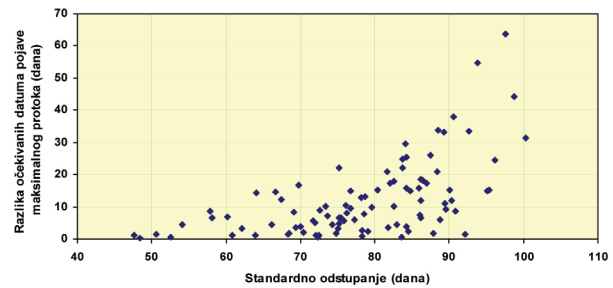
Slika 6. Distribucija standardnog odstupanja pojave velikih voda od očekivanog datuma (RVA metoda)



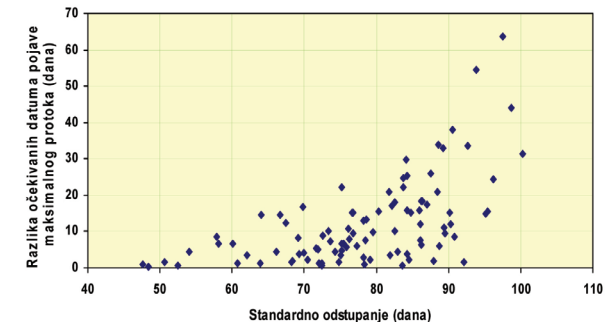
Slika 7. Distribucija intenziteta Burnova vektora

Relativno veliko standardno odstupanje pojave godišnjih maksimuma, između 50 i 100 dana (slika 6.), odnosno relativno mali intenziteti Burnova vektora (slika 7.) upućuju na vremensku neustaljenost pojave godišnjih maksimuma na analiziranom području prema obje metode. S obzirom na to da su korištene dvije metode, mogu se očekivati i određena odstupanja u rezultatima. Tako su razlike u očekivanom datumu pojave maksimalnog protoka proračunanog na osnovi dviju navedenih metoda dosta izražene (slika 8.). Ipak, za jednu trećinu postaja ta je razlika manja od 5 dana, a za većinu postaja manja je od 10 dana.

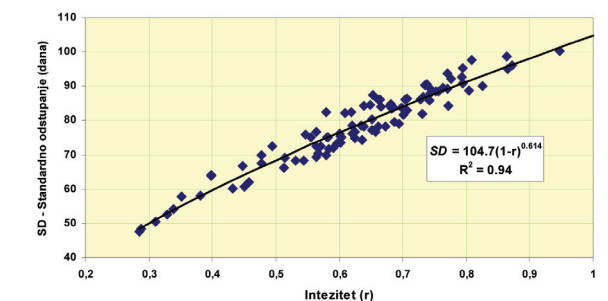
S obzirom na veliko standardno odstupanje od reda veličine 50 do 100 dana (slika 6.), odnosno s obzirom na male intenzitete Burnova vektora (slika 7.), razlika u očekivanim datumima pojave ekstrema u većini slučajeva nije bitna za praktičnu primjenu.



Slika 8. Razlika očekivanih datuma pojave maksimalnog protoka prema navedenim metodama



Slika 9. Razlike očekivanih datuma pojave maksimalnih protoka utvrđenih između dvije primijenjene metode



Slika 10. Odnos intenziteta Burnovog vektora i standardnog odstupanja prema RVA metodi

Iz slike 9. vidljivo je da su navedene razlike u očekivanom datumu pojave velikih voda između dvije metode veće kod postaja s manje izraženom sezonskom pojavnosću, odnosno kod onih postaja kod kojih je pojava ekstrema raspoređena ujednačenije tijekom cijele godine.

Ovaj zaključak se slaže i s teorijskim razmatranjima metoda koje u slučaju vremenski vrlo ustaljenih pojava daju jednake rezultate (isti očekivani datum pojave ekstrema). U slučaju vremenski jednoliko raspoređenih pojava zbog malog intenziteta Burnova vektora, male razlike u ulaznim podacima mogu značajno utjecati na njegovu usmjerenost (odnosno na očekivani datum pojave). U istom slučaju očekivani datum pojave prema RVA metodi teži prema srednjem datumu u godini. Zbog toga su moguće i postoje značajne razlike u rezultatima.

Intenzitet Burnova vektora i standardno odstupanje prema RVA metodi su mjere ustaljenosti pojave ekstrema velikih voda s obzirom na očekivani datum u godini. Analizom jednadžbi obji

metoda može se utvrditi da u slučaju vrlo ustaljene vremenske pojave $r \approx 1$ i $SD \approx 0$ te da za jednoliko vremenski raspoređene pojave ekstrema vrijedi $r \approx 0$ i $SD \approx 106$ dana.

Na slici 10. prikazana je usporedba izračunanih vrijednosti r i SD . Slika upućuju na vrlo čvrstu vezu između parametara r i SD , kao i na vrlo dobro slaganje s prethodno navedenim teorijskim značajkama primijenjenih metoda.

4. Zaključak

Rezultati provedene preliminarne analize sezonske pojavnosti velikih voda sliva rijeke Dunav u Hrvatskoj upućuju na određene zakonitosti. Ipak treba naglasiti da one nisu tako čvrste kao primjerice na području planinskih dijelova južne Austrije i Švicarske (Alpe), gdje intenzitet Burnova vektora često iznosi i više od 0,8. Hrvatski prostor više odgovara ravničarskim slivovima Austrije i Švicarske te Slovačkoj i Rumunjskoj. Za potpunije razumijevanje procesa geneze velikih voda svakako bi bilo uputno, između ostalog, sličnu analizu provesti i za ekstremne padaline. Usporedba metoda pokazala je da one daju približno iste očekivane datume ($\bar{\theta}$ i \bar{D}) za sezonski vrlo ustaljene pojave, dok povećavanjem raspršenosti pojava maksimuma tijekom godine mogu nastati znatna neslaganja rezultata. Ipak, pokazuje se da su parametri koji su mjera ustaljenosti pojava ekstrema prema obje metode (r i SD) na slivu Dunava u Hrvatskoj u vrlo čvrstoj korelaciji.

S obzirom na to da je jedan od motiva za provođenje navedenih analiza bila izrada hidrološke podloge za ocjenu potrebe uvođenja sezonske pojavnosti velikih voda kao indikatora hidrološke promjene stanja voda prema Okvirnoj direktivi o vodama (pri čemu se pod stanjem voda razumijeva ekološko stanje), teško je donijeti konačne, čvrste zaključke bez provođenja i opsežnih bioloških istraživanja.

Ipak, rezultati su pokazali da je uvođenje sezonske pojavnosti velikih voda kao indikatora hidrološke promjene stanja voda najvažnije provesti na području gornjih slivova Kupe i Dobre, gdje je sezonska pojava i najizraženija.

Na ostalim područjima je sezonska pojava znatno manja, pa se može pretpostaviti da su ekosustavi manje osjetljivi na godišnje promjene termina pojava velikih voda.

Također se može zaključiti da, s obzirom na relativno veliko standardno odstupanje od 50-ak i više dana u odnosu na očekivani datum pojave, prilagođavanje takvom uvjetu ne bi trebalo predstavljati značajan problem korisnicima voda.

Analiza je potvrdila da na ovim prostorima sezonsku pojava velikih voda treba utvrđivati prema "računskim" godinama kako bi se dobila pouzdanija informacija.

Svakako bi bilo uputno nastaviti rad na analizi sezonske pojavnosti ne samo velikih voda nego i ostalih komponenti hidrološkog režima, posebice malih voda.

LITERATURA

- [1] Okvirna direktiva o vodama Europske unije, Vodnogospodarska osnova Hrvatske, izdanja II, Hrvatske vode, Zagreb, 2002.
- [2] Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the Assessment and Management of Flood Risks, Official Journal of the European Union L 288/27.
- [3] Merz, R.; Piock-Ellena, U.; Bloschl, G.; Gutknecht, D.: *Seasonality of flood processes in Austria*, Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating (Proceedings of IUGG 99 Symposium HSI, Birmingham, July 1999, IAHS Publication no 255, 1999.
- [4] Uhlenbrook, S.; Steinbrich, A.; Tetzlaff, A.; Leibundgut, C.: *Regional analysis of the generation of extreme floods*, Fourth International FRIEND Conference, IAHS Publication no. 274, 2002.
- [5] Beurton, S.; Thielen, A.H.: *Seasonality of Floods in Germany*. Hydrological Sciences Journal 54 (1), 62-76, 2009.
- [6] Koutroulis, A. G.; Tsanis, I. K.; Daliakopoulos, I. N.: *Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete*, Journal of Hydrology, (2010), doi:10.1016/j.jhydrol.2010.04.025
- [7] Swanson S: *Indicators of Hydrologic Alteration*, Resource Notes No 58, National Science & Technology Center, Bureau of Land Management, SAD, 2002.
- [8] Hernandez, M. E.; Mitsch, W. J.: *Denitrification in created riverine wetlands, Influence of hydrology and season*, Ecological Engineering 30, 78-88, 2007.
- [9] Parajka J. et al: *Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range*. Journal of Hydrol. (2010), doi:10.1016/j.jhydrol.2010.05.015
- [10] De Michele, C.; Rosso, R.: *A multi-level approach to flood frequency regionalisation*, Hydrology and Earth System Sciences, 6(2), 185-194, 2002.
- [11] Richter, B.; Baumgartner, J.; Wigington, R.; Braun P.: *How much water does a river need?*, Freshwater Biology 37, 231-249, 1997.