

## STATISTIČKA ANALIZA VELIKIH VODA NA PROFILIMA HIDROLOŠKIH STANICA: POTREBA ZA PROMENOM PRISTUPA

Borislava BLAGOJEVIĆ  
Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet  
Vladislava MIHAILOVIĆ  
Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet  
Jasna PLAVŠIĆ  
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet

### REZIME

U većini razvijenih zemalja, iskustva iz prakse i rezultati istraživanja, pretočeni su u standarde ili preporuke za proračun velikih voda, najčešće sa obaveznom primenom u projektovanju ili eksploataciji hidrotehničkih objekata i sistema. U ovom radu ukratko je prikazan nacrt preporuka za proračun velikih voda na izučanim slivovima metodama statističke hidrologije, koji je namenjen domaćoj stručnoj javnosti. Objasnjena je motivacija za izradu preporuka u Srbiji i dat je uvid u savremene tendencije u standardizaciji proračuna velikih voda u nekoliko odabranih zemalja. Prikazan je sadržaj nacrt preporuka, a priloženi su i glavni zaključci proširenog istraživanja u pogledu predložene metodologije za otkrivanje i postupanje sa izuzetnim vrednostima. Sumirane su predložene konkretne preporuke za osavremenjavanje postojeće, uobičajene inženjerske prakse. U radu se stručnoj javnosti predstavlja predlog teksta preporuka nastao posle prve od tri predviđene faze istraživanja, sa prevashodnim ciljem da podstakne javnu raspravu koja bi, uz stručnu recenziju, dovela do usvajanja preporuka.

**Ključne reči:** velike vode, statistička analiza, izučeni slivovi, izuzeci, preporuke

### 1. UVOD

Velike vode predstavljaju jednu od najvećih prirodnih nepogoda, o čemu svedoče brojni primeri iz bliže i dalje prošlosti u celom svetu. I pored izuzetnih napora kako na istraživačkom planu, tako i na planu zaštite, velike vode su i dalje velika pretnja ljudskim životima, živom svetu i sve vrednijim materijalnim dobrima. Dugogodiš-

nji nedostatak sredstava za adekvatnu zaštitu od velikih voda u Srbiji doveo je do degradacije postojećih sistema i zaoštio probleme i potencijalni rizik od šteta, što se pokazalo i tokom katastrofalne poplave u maju i niza poplava manjih razmera tokom leta i jeseni 2014. godine. S druge strane, problem se zaoštrava i zbog sve veće koncentracije stanovništva, infrastrukture i privrede u oblastima ugroženim poplavama.

Iako se pojava velikih voda ne može izbeći, neophodno je sprovesti strukturne i nestrukturne mere zaštite kako bi se smanjio rizik od velikih ekonomskih gubitaka, ugroženosti ljudi i štete po životnu sredinu. Danas je opšte prihvaćeno da se rizikom od velikih voda mora upravljati, o čemu svedoči i donošenje Evropske direktive o poplavama [1]. U osnovi upravljanja rizikom od velikih voda jeste uspostavljanje racionalnih i ekonomski opravdanih planova zaštite, koji bi trebalo da se zasnivaju na dobroj proceni rizika.

Da bi se izvršila blagovremena najava i procena rizika od poplava, neophodan je prelaz sa reaktivnog na aktivni pristup, a to podrazumeva opšte integralno upravljanje rizikom. Procena rizika od posledica poplava u sebi mora da sadrži komponentu koja opisuje samu prirodnu pojavu, kao i komponentu koja sadrži socio-ekonomske činioce (ugroženost, ranjivost, procenu šteta i ljudskih žrtava).

Analize (i modeli) hidroloških karakteristika, čija je uloga da opišu pojavu ekstremnog događaja i da daju procenu verovatnoće njegovog nastanka, čine samo deo opšteg integralnog upravljanja rizikom od poplave. Međutim, uspostavljanje modernog i pouzdanog osmatračkog sistema i pouzdane procene učestalosti i intenziteta

velikih voda, ključne su za funkcionisanje svih ostalih faza u oceni rizika [2].

Napori učinjeni u pravcu procene učestalosti i intenziteta velikih voda, kao ishodišta za opšte integralno upravljanje rizikom, u većini razvijenih zemalja doveli su do toga da su iskustva iz prakse i istraživanja pretočena u standarde ili preporuke za proračun velikih voda, najčešće sa obaveznom primenom u projektovanju ili eksploataciji hidrotehničkih objekata i sistema. U SAD to je poznati dokument Bilten 17B [3] koji je i danas na snazi, mada stručna javnost poziva na njegovu reviziju [4] i koji je osnova za veliki broj drugih dokumenata, uputstava i preporuka u svim inženjerskim oblastima koje zahtevaju proračune velikih voda. U Ruskoj federaciji određivanje osnovnih hidroloških računskih karakteristika, sagledanih posebno i u okviru normi i pravila za hidrotehničke objekte, ima zakonsku snagu [5, 6].

Nacrt preporuka za statističku analizu velikih voda u profilima hidroloških stanica u Srbiji, koji je tema ovog rada, nastao je u okviru projekta „Istraživanje za unapređenje i razvoj zaštite od velikih voda u Srbiji: izrada metodologije za standardizaciju proračuna velikih voda u Srbiji“ koji je 2012. godine pokrenulo JVP „Srbijavode“. Do pokretanja ovog projekta je došlo na inicijativu svih relevantnih institucija u predmetnoj oblasti u Srbiji kao što su Republički hidrometeorološki zavod Srbije, fakulteti, instituti i projektantske kuće. Projekat je predviđao da se aktivnosti na formulisanju preporuka sprovedu u tri faze: 1) Izrada preporuka za statističku analizu velikih voda na profilima hidroloških stanica (na izučenim slivovima); 2) Izrada preporuka za ocenu velikih voda na hidrološki neizučenim slivovima; 3) Izrada atlasa pokazatelja velikih voda za teritoriju Srbije uz primenu metoda regionalne analize velikih voda. Uprkos prekinutom finansiranju, autori nacrtu prve faze preporuka smatraju da je donošenje preporuka o proračunu velikih voda od suštinskog značaja ne samo za domaću projektantsku praksu, već i u okviru napora koje treba napraviti nakon nedavnih poplava u pravcu unapređenja sistema za zaštitu od velikih voda.

Ovaj rad predstavlja stručnoj javnosti predlog teksta preporuka nastao posle prve faze istraživanja, sa prevashodnim ciljem da podstakne javnu raspravu koja bi, uz stručnu recenziju, dovela do usvajanja preporuka.

Na početku, objašnjava se motivacija za izradu preporuka u Srbiji, a zatim daje uvid u savremene tendencije u

standardizaciji proračuna velikih voda u nekoliko odabranih zemalja. Posle prikaza sadržaja nacrtu preporuka za statističku analizu velikih voda, daju se zaključci u pogledu predložene metodologije za otkrivanje i postupanje sa izuzetnim vrednostima, dobijeni u fazi provere ispunjenosti uslova koje bi nizovi velikih voda trebalo da zadovolje. U završnim napomenama sumiraju se predložene dopune i preporuke za osavremenjavanje postojeće, uobičajene inženjerske prakse.

## 2. MOTIVACIJA ZA IZRADU PREPORUKA

Konsistentna metodologija za procenu velikih voda je neophodna iz tri razloga: 1) da bi se stvorila metodološka osnova za upoređivanje računskih hidroloških veličina, nezavisno od nivoa znanja i iskustva obrađivača i/ili revidenata u Srbiji; 2) da bi se omogućila koordinacija između nadležnih državnih institucija i drugih (državnih i privatnih) subjekata koji učestvuju u bilo kom segmentu upravljanja rizikom od velikih voda (od planiranja i projektovanja do održavanja) [7]; 3) da bi se stvorila osnova za programe osiguranja od rizika od štetnog dejstva velikih voda [8, 9]. Uspostavljanjem konsistentne metodologije za proračun velikih voda u Srbiji postavile bi se i čvrste osnove za praćenje uticaja antropogenih i klimatskih promena na velike vode.

Koristi od formiranja preporuka imale bi sve strukture – javna vodoprivredna preduzeća i Direkcije za vode, RHMZ Srbije, projektanti, instituti, fakulteti, i drugi učesnici u izradi projektne dokumentacije hidrotehničkih objekata, upravljanja vodama i obuci kadrova za primenu novih standarda u inženjerskim disciplinama, kao i Inženjerska komora Srbije.

Prethodni pokušaj da se izvrši standardizovanje metoda i postupaka za određivanje velikih voda predstavljale su „Preporuke za proračun velikih voda“ [10] objavljene pred veliku društveno-ekonomsku krizu devedesetih godina prošlog veka. Ovaj dokument doveden je do faze prednacrtu i, kao takav, nije zaživeo za primenu u praksi. Obuhvatio je procenu velikih voda na izučenim i neizučenim slivovima. U delu analize velikih voda na izučenim slivovima, nacrt preporuka koji je tema ovog rada se razlikuje od prethodnog dokumenta uvođenjem: a) novih testova za analizu ulaznih podataka, b) ocene parametara metodom L-momenata [11], c) detaljnog uputstva za formiranje niza podataka i proračun metodom parcijalnih serija (pikova iznad praga) [12, 13], d) novih raspodela, e) novih testova saglasnosti [11, 12].

U preporukama za sada nisu data uputstva za konkretno rešavanje problema nekonzistentnih, nereprezentativnih, zavisnih i neslučajnih serija ulaznih podataka, kao ni mogućnost za regionalno sagledavanje parametara. S obzirom da se prikazani nacrt odnosi na prvu fazu istraživanja, u drugoj i trećoj fazi su planirana istraživanja vezana za neizučene slivove i regionalnu analizu koja bi se odnosila na nestandardne situacije u analizi velikih voda i korišćenje regionalnih pokazatelja velikih voda.

### 3. SAVREMENE TENDENCIJE U STANDARDIZACIJI PRORAČUNA VELIKIH VODA

Još tokom šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog veka, u više zemalja su pokrenute studije koje su rezultirale preporukama za standardne metode i postupke u okviru proračuna velikih voda. Bobée i saradnici [14] su čak predlagali usvajanje standardne metodologije na širem međunarodnom planu. U novije vreme raste značaj istraživanja režima velikih voda, imajući u vidu činjenicu da se ti režimi menjaju, pa i pogoršavaju, zbog radova u gornjim delovima slivova, klimatskih promena i sve naseljenijih rečnih dolina sa sve važnijim i skupljim sadržajima koje treba braniti. U tom smeru je pokrenuta i COST akcija ES0901 u kojoj evropske zemlje (u ovoj fazi) razmenjuju nacionalna iskustva u proračunu velikih voda. U Srbiji se neka od skorijih istraživanja odnose na uvođenje novije metodologije u proračun karakteristika velikih voda i analizu njihovih režima (npr. [9, 11, 13]), zatim procenom i kartiranjem rizika od poplava [7, 8].

U nastavku se prikazuju međunarodna iskustva u ovoj oblasti, i to pre svega u SAD, Rusiji i u Evropi.

#### 3.1. Sjedinjene Američke Države – Bilten 17B

Proces formiranja metodologije za standardizaciju proračuna velikih voda u SAD [4, 15] dobro ilustruje kompleksnost ovog zadatka. Od prvog izveštaja nazvanog „Bilten 13“ (1966. godine), koji je sadržao samo metode za proračun velikih voda koje su se tada koristile u SAD, posle godinu dana se prešlo na „Bilten 15“, prvi priručnik koji je sadržao preporuke za jednobraznu metodologiju za proračun velikih voda u SAD. Posle punih 15 godina i nekoliko dopuna, 1982. godine se došlo do sada važećeg, koji nosi oznaku „Bilten 17B“, pod nazivom „Uputstva za proračun velikih voda“ (*Guidelines for determining flood flow frequency*) [3].

Bilten 17B sadrži detaljan opis procedura koje se odnose na raznovrsne situacije koje se mogu dogoditi u praksi. Kao model za velike vode (za nizove godišnjih maksimuma) preporučuje se log-Pirson 3 raspodela, uz proračun parametara raspodele po metodi momenata. Zbog poznatih problema sa nepouzdanošću ocene koeficijenta asimetrije kod kratkih nizova, preporučuje se popravka koeficijenta asimetrije na lokaciji stanice pomoću regionalnog koeficijenta asimetrije (data je procedura za proračun, ili se mogu koristiti priložene mape sa regionalnim koeficijentima). Osim toga, propisuju se i procedure za identifikaciju i postupak sa donjim izuzecima, kao i za uključivanje podataka o istorijskim poplavama u niz merenih vrednosti.

Interesantno je da je jedan ovakav priručnik u upotrebi čitavih 30 godina, bez ikakvih izmena. Ipak, posle tolikih godina, iako se može smatrati da je prošao test vremena i korišćenja, logično je da se javlja potreba da se procedure iz ovog dokumenta dopune i osavremene. Stedinger i Grifis [4] posebnu pažnju posvećuju potrebi da se osavremene procedure za postupak sa donjim izuzecima i istorijskim poplavama, proračun kompromisnih verovatnoća i intervala poverenja. Uz to, preporučuju ažuriranje karata regionalnih koeficijenata asimetrije unošenjem podataka za novih 30 godina. S druge strane, navodi se da nema razloga da se odstupi od upotrebe log-Pirson 3 raspodele, sa parametrima ocenjenim po metodi momenata.

Postoji plan za reviziju Biltena 17B [16], sa ciljem da se oceni doprinos koji bi u proceduru mogli da unesu novi rezultati relevantnih istraživanja na polju analize velikih voda [17]. Najveći deo ovog plana je procena poboljšanja koji bi mogla da unese nova statistička procedura kojom se uvode očekivani momenti (*Expected Moments Algorithm*), posebno na uzorcima koji sadrže podatke o istorijskim poplavama, gornje i donje izuzetke.

Stedinger i Grifis [18] predlažu proširivanje Biltena 17B i na probleme nestacionarnosti, odnosno modeliranje varijacija koje se pojavljuju zbog uticaja klimatskih promena. Ovi autori predlažu modifikovanje modela log-Pirson 3 raspodele tako da obuhvati i nestacionarnosti uvođenjem vremenski promenljivih parametara.

#### 3.2. Evropske procedure za proračun velikih voda – COST akcija ES0901

COST akcija pod nazivom „Evropske procedure za proračun velikih voda“ (*COST Action ES0901: European*

*procedure for flood frequency estimation*) ustanovljena je 2010. godine, sa osnovnim ciljem da se uporede i procene metode za proračun velikih voda na prostoru Evrope. Posle dve godine je, u formi izveštaja, objavljen opis statističkih metoda za proračun velikih voda koje se koriste u zemljama učesnicama projekta [19]. Prikupljeni su izveštaji i dati kratki pregledi metoda koje se koriste, ili su u fazi razvoja, u svakoj od zemalja učesnica (Austrija, Belgija, Bugarska, Kipar, Nemačka, Finska, Francuska, Grčka, Italija, Litvanija, Norveška, Poljska, Slovačka, Slovenija, Španija, Velika Britanija i Turska). Fokus je prvenstveno na regionalnim metodama, a izveštaji su dati u standardizovanoj formi, iako variraju po obimu i sadržaju.

Raspoloživost podataka potrebnih za analize velikih voda (nizovi godišnjih maksimuma i/ili parcijalne serije srednjih dnevnih proticaja i/ili trenutnih maksimuma) značajno varira među zemljama članicama, a posebno u pogledu pokrivenih vremenskih perioda. Podatke u nacionalnim bazama u digitalnoj formi ima 7 (od 18) zemalja, a u rezoluciji manjoj od dnevne 8 zemalja. U svim zemljama uglavnom su raspoloživi samo najosnovniji podaci o karakteristikama sliva. Detaljne karakteristike, kao što je npr. procenat nepropusne površine sliva ili osobine zemljišta, postoje samo u nekoliko zemalja.

Od 17 zemalja, studije na nacionalnom nivou su kompletirane u 9 zemalja (u toku su studije u 10 zemalja), ali nisu u svim zemljama rezultirale indikacijama koja bi raspodela mogla da se usvoji (ili je već negde i usvojena) kao standardna za proračun velikih voda na nacionalnom nivou ili na delu teritorije.

Regionalne analize i studije su sprovedene u 12 zemalja. Među metodama za regionalizaciju preovlađuje razgraničavanje homogenih regiona (teritorijalno neprekidni regioni, prema preovlađujućim geografskim, hidrološkim i klimatskim uslovima), zatim analiza klastera i regiona uticaja [20], dok se u Austriji primenjuje geostatistički metod kriging.

Važan rezultat ovih zajedničkih napora je formiranje zajedničke baze podataka (*FloodFreq streamflow database*). To je pan-evropska baza podataka serija godišnjih maksimuma, sa ukupno 4105 profila iz 13 zemalja. Na osnovu tih podataka je demonstrirana primena dijagrama L-momenata za ocenu prihvatljivosti pojedinih troparametarskih raspodela u domenu regionalnih analiza.

### 3.3. Ruska federacija - SP 33-101-2003

Proračun velikih voda u Ruskoj federaciji je standardizovan u pravilniku SP 33-101-2003 [5], u okviru normi koje se primenjuju u građevinarstvu. Ovaj Pravilnik povezan je sa pravilnikom SNiP 33-01-2003 [6] koji propisuje proračune hidroloških veličina kod projektovanja hidrotehničkih objekata, a navodi i ostala normativna akta koja se primenjuju pri projektovanju objekata u kojima su hidrološke veličine kriterijumi za projektovanje (stubovi, mostovi i slično).

SP 33-101-2003 [5] sadrži osnovne metode i postupke za proračun srednjih, malih i velikih voda. Pravilnik dopušta i primenu metoda koje njime nisu obuhvaćene, u kom slučaju je potrebno dati obrazloženje i priložiti uporednu ocenu grešaka proračuna primenjenim metodama i odgovarajućim iz Pravilnika. Za proračun hidroloških karakteristika preporučuje se korišćenje najviše tri metode. Dobijene vrednosti računskih hidroloških karakteristika se kontrolišu regionalno, a vrednosti dozvoljenih odstupanja su propisane.

Reprezentativnost nizova velikih voda formiranih metodom godišnjih i sezonskih maksimuma ne određuje se samo na osnovu dužine niza, već i na osnovu greške ocenjene vrednosti hidrološke karakteristike. Na nizove kod kojih se utvrdi da ocene imaju grešku veću od dozvoljene, primenjuju se metode za delimično izučene slivove.

Analiza homogenosti niza utvrđuje se Studentovim i Fišerovim testom. Za empirijsku verovatnoću je propisana Vejbulova formula kompromisne verovatnoće. Teorijske funkcije raspodele verovatnoća biraju se na osnovu odnosa koeficijenta asimetrije i koeficijenta varijacije među troparametarskim raspodelama. Raspodelu Kricki-Menkelj je moguće odabrati za bilo koji odnos, a raspodelu Pirson 3, log-normalnu raspodelu i druge raspodele za propisane odnose. Uz obrazloženje, mogu se koristiti i dvoparametarske raspodele. Kod brojnih slučajeva hidroloških heterogenosti, predviđeno je korišćenje odsečnih i mešovitih raspodela. Za ocenu parametara raspodele koriste se približna metoda maksimalne verodostojnosti i metoda momenata. Primena grafo-analičke metode za ocenu parametara raspodele (za Pirson 3) se dozvoljava za nivo idejnog rešenja ili projekta. Za identifikaciju izuzetaka koristi se Diksonov test i kriterijum Smirnova-Grubsa.

U proračunu maksimalnog protoka male verovatnoće pojave na osnovu kratkog ali reprezentativnog niza, uvodi se popravka na računsku vrednost dobijenu statističkom analizom za verovatnoću prevazilaženja 0.01%.

Pošto se radi o zakonom propisanim normama, razrađene su sve situacije u proračunima, prikazani ugledni primeri, date tabele karakterističnih vrednosti, dozvoljenih grešaka i slično, a priloženi materijali imaju naznake „obavezno“ ili „preporučeno“.

#### 4. PRIKAZ SADRŽAJA NACRTA PREPORUKA

Nacrt preporuka za statističku analizu velikih voda u profilima hidroloških stanica u Srbiji, sastoji se od 41 strane osnovnog teksta, kao i 6 priloga na 34 strane. Forma preporuka (obim, pristup i sadržaj), u najvećoj meri odgovaraju preporukama za Austriju [21]. Osim što su najnovijeg datuma u odnosu na analizirane propise, preporuke i preglede metodologija koje se primenjuju u nekoliko zemalja, te samim tim sadrže novija naučna dostignuća u oblasti velikih voda, ove preporuke su najsavremenije i u smislu pozivanja na reference dostupne preko interneta. Ovakav vid fleksibilnosti odgovara u početnoj fazi stvaranja standarda u Srbiji, imajući u vidu ustaljenu inženjersku praksu u statističkoj analizi velikih voda, dostupnost literature i jednostavnije praćenje suštine izlaganja zbog uvođenja novih postupaka i metoda, kao i razna ograničenja sa kojima se susreće domaća nauka i praksa.

##### 4.1. Uvod

Uvodni deo nacrt preporuka, koji je, uz motivaciju za izradu preporuka i pregled savremenih tendencija u standardizaciji proračuna velikih voda, prenet u ovom radu uz minimalna prilagođavanja, prikazan je radi sagledavanja položaja domaće prakse u toj oblasti.

##### 4.2. O velikim vodama

U delu 2 su detaljno prikazane osnove za razumevanje problema na koje se nailazi pri analizi velikih voda, kao što su uzroci pojave velikih voda i faktori koji na njih utiču. Definisane su karakteristične veličine velikih voda, kao i merodavna i računaska velika voda. Posebna pažnja je posvećena verodostojnosti ocene velikih voda kroz sledeće segmente: problemi pri merenju velikih voda; problemi pri popunjavanju i produžavanju nizova; problem ekstrapolacije; procena verovatnoće izuzetnih vrednosti. Objašnjene su i definisane istorijske velike

vode, napomenuta iskustva u uključivanju istorijskih velikih voda u statističku analizu i objašnjen je pojam 'paleo velike vode'.

#### 4.3. Statistička analiza velikih voda

Treći deo 'Statistička analiza velikih voda', najobimniji je deo nacrt preporuka, za koga je vezano pet od šest priloga na kraju osnovnog teksta. Počinje uputstvima, smernicama i objašnjenjem načina prikupljanja i obrade hidroloških podataka u Srbiji. U okviru podnaslova 'Nizovi velikih voda' obrađene su sledeće teme: uslovi koje nizovi velikih voda treba da zadovolje za statističku analizu; vrste nizova; logaritamska transformacija nizova; provera ispunjenosti uslova koje nizovi velikih voda treba da zadovolje. Prikazani su neki statistički testovi za testiranje homogenosti i slučajnosti nizova (npr. Vald-Volfovica, Vilkokson, Kruskal-Volisa, itd). Postupci proračuna, ograničenja i pretpostavke za primenu testova dati su u prvom prilogu. Detaljno je opisan postupak identifikacije izuzetaka i prikazano nekoliko mogućnosti za postupanje u daljoj statističkoj analizi niza.

Verovatnoća i povratni period su obrađeni kroz opšte definicije, verovatnoće javljanja maksimalnog godišnjeg protoka i verovatnoće prevazilaženja istog tokom veka trajanja objekta.

Statistička analiza nizova godišnjih maksimuma obuhvata faze i korake u postupku analize. U okviru empirijske raspodele verovatnoće, date su formule kompromisne verovatnoće i napomene u vezi svake od njih.

Prilagođavanje teorijske funkcije raspodele empirijskoj sadrži: teorijske raspodele; metode za ocenu parametara raspodela; dijagrame zavisnosti između momenata raspodele; testove saglasnosti teorijske sa empirijskom raspodelom. U okviru obrađenih tema, preporučeno je razmatranje opšte raspodele ekstremnih vrednosti kao obavezne uz već standardno zastupljene dvo- i troparametarske raspodele u domaćoj praksi. Kako osnovni tekst sadrži definicije, uputstva i objašnjenja, više raspodela je prikazano u trećem prilogu, gde su dati njihovi opisi i izrazi za ocenu parametara po različitim metodama. Način proračuna momenata prema metodi verovatnosnih težinskih momenata i metodi L-momenata je prikazan u drugom prilogu, dok su izrazi za ocene parametara po ovim metodama dati u trećem prilogu. Za ocenu primenljivosti teorijskih raspodela, prikazani su dijagrami zavisnosti između bezdimenzionalnih momenata raspodela. Preporučeno je korišćenje testa koefici-

jenta korelacije dijagrama verovatnoće za saglasnost, koji je prikazan u četvrtom prilogu.

Objašnjenje intervala poverenja ocena kvantila uz izraze za standardne greške, prikazani su u petom prilogu. U trenutnoj situaciji u Srbiji, kada se za kontrolu ocene velikih voda koriste neažurirane regionalne zavisnosti i anvelope velikih voda, ovaj posredan način kontrole dobijenih rezultata, smanjuje neizvesnost u pogledu tačnosti ocene hidroloških karakteristika.

Na kraju trećeg dela je detaljno opisana metoda parcijalnih serija (pikova iznad praga) za formiranje niza velikih voda. Pored teorijske postavke, data su uputstva za izbor praga, raspodele broja javljanja pikova, visine pikova i najvećeg prekoračenja. Dat je uporedni prikaz povratnih perioda izraženih u godinama po metodi godišnjih maksimuma i po metodi pikova.

#### 4.4. Neke karakteristike velikih voda u Srbiji

Opsežne hidrološke analize rađene su za potrebe inoviranja Vodoprivredne osnove Srbije sa nizovima do 2006. godine, ali je posle ovogodišnjih ekstremnih velikih voda očigledno da je neophodno ažuriranje ovih proračuna, kao i anvelopa velikih voda. Trenutno su u toku istraživanja u okviru nekoliko naučnih projekata koje finansira Ministarstvo obrazovanja i nauke Republike Srbije<sup>1</sup>, istraživanja za potrebe JVP „Srbijavode“ i Direkcije za vode [7]. Rezultati i zaključci ovih projekata koji budu relevantni za proračun velikih voda biće uključeni u preporuke.

Pored toga, tokom 2012. godine sprovedena je analiza velikih voda na 70 hidroloških stanica za potrebe naručioca „Air World Wide“ [22] u okviru koga su određeni protoci male verovatnoće pojave na osnovu osmotrenih nizova protoka do 2011. godine.

Sprovedeno je nekoliko istraživanja vezanih za identifikaciju izuzetaka u nizovima velikih voda. Blagojević i saradnici [23] izvršili su identifikaciju i procenu povratnih perioda izuzetaka na svim hidrološkim stanicama na teritoriji Srbije bez Vojvodine. Analiza i proračuni su sprovedeni na nizovima godišnjih maksimuma do 2006. godine. Ovo istraživanje je kasnije prošireno u radovima [24, 25]. Neki od ovih rezultata prikazani su u odeljku 5 ovog rada.

#### 4.5. Ostalo

Poslednji deo osnovnog teksta nacrtu preporuka čine zaključci, u kojima je istaknuta razlika u sadržaju, metodologiji i pristupu statističkoj analizi velikih voda u profilima hidroloških stanica, u odnosu na prethodni dokument [10]. Navedene su tri konkretne preporuke i objašnjeni naredni koraci u smeru početka korišćenja ovih preporuka.

Na kraju dokumenta se nalazi šest priloga: Testiranje homogenosti i slučajnosti statističkih nizova; Konvencionalni i L-momenti raspodela; Teorijske raspodele verovatnoće za velike vode; Testovi saglasnosti; Intervali poverenja – izrazi za standardne greške; Pregledni list proračuna.

#### 5. OTKRIVANJE I POSTUPANJE SA IZUZETNIM VREDNOSTIMA

Problemi koji mogu da ugroze verodostojnost ocene velikih voda povezani su, između ostalog, i sa načinom na koji se postupa sa izuzetnim vrednostima (izuzecima) u osmotrenim nizovima podataka. U radu [24] sprovedena je detekcija gornjih i donjih izuzetaka u nizovima godišnjih maksimuma statističkim testom Grubsa i Beka za 68 hidroloških stanica u Srbiji u periodu od osnivanja stanica do 2012. godine. Dobijeni rezultati upoređeni su sa objavljenim rezultatima dobijenim za period do 2006. godine [23] (slike 1 i 2).

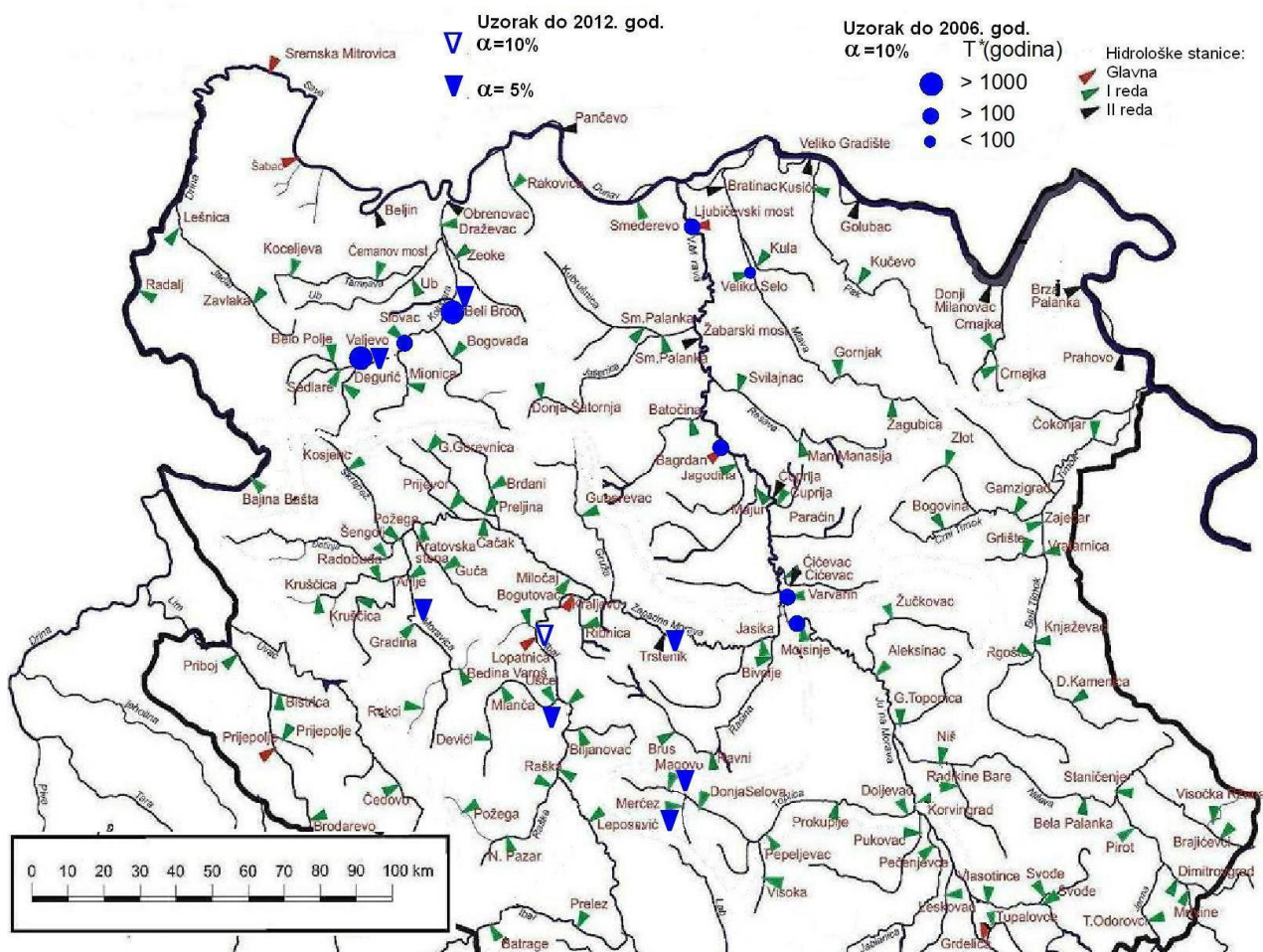
Osnovni zaključak u ovom istraživanju jeste da pretpostavka o tipu raspodele za razmatrani niz godišnjih maksimuma ima značajnu ulogu u detektovanju izuzetaka. Kod nizova protoka ili njihovih logaritama čija se raspodela ne može smatrati normalnom, granice za izuzetke se procenjuju iz njihovih raspodela preko odgovarajućih verovatnoća za normalno raspoređen faktor frekvencije koji predstavlja test statistiku i koji zavisi od praga značajnosti i od veličine uzorka. Ovom transformacijom se dobijaju različite granice za detekciju izuzetaka. Istraživanje je pokazalo da izuzeci detektovani pod pretpostavkom važenja log-normalne raspodele u slučajevima kad ova pretpostavka nije bila osnovana (jer je koeficijent asimetrije logaritmovanog niza značajno različit od nule) obično nisu bili detektovani pod pretpostavkom važenja teorijske raspodele koja je usvojena kao ona sa

<sup>1</sup> TR37005 'Ocena uticaja klimatskih promena na vodne resurse Srbije', Institut za vodoprivredu 'Jaroslav Černi'; III43007 'Istraživanje klimatskih promena i njihovog uticaja na životnu sredinu - praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje', Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.

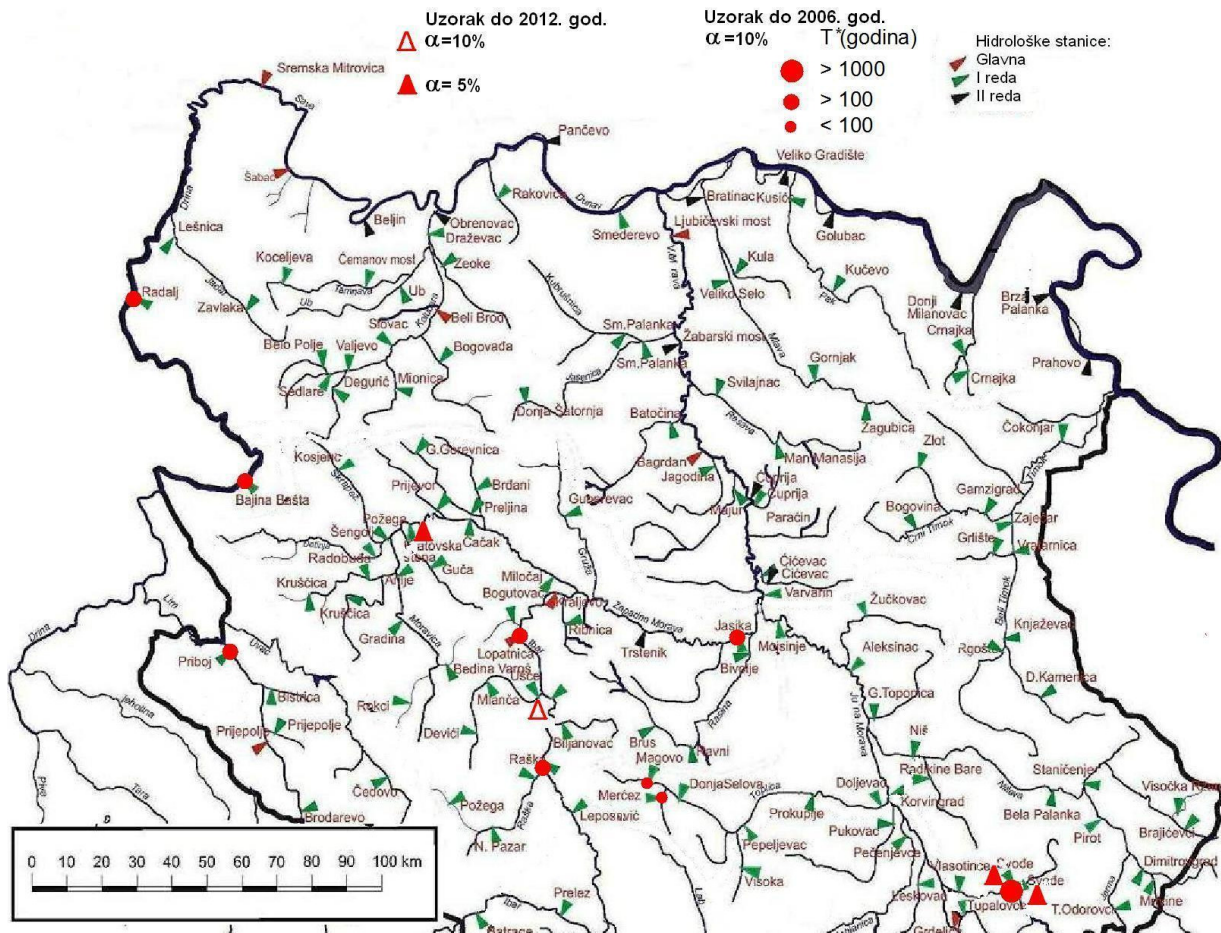
najboljim slaganjem sa empirijskom raspodelom. Na primeru stanice Ušće na reci Studenici, na kojoj su detektovani i gornji i donji izuzetak, istraživanje [24] je pokazalo da redosled detekcije vrste izuzetka (gornji/donji) ima važnu ulogu i da se u takvim slučajevima treba rukovoditi tipom asimetrije niza kao indikatorom za redosled detekcije.

Postupak otkrivanja izuzetaka svakako ima veoma veliki značaj i zbog daljeg postupka sa takvim nizovima velikih voda, u smislu procene kvantila raspodela i shodno tome, merodavnih protoka, što je bio predmet daljeg rada u okviru ovog istraživanja. Za dalje istraživanje, korišćeni su isti podaci sa 68 hidroloških stanica u Srbiji. Cilj istraživanja [25] je bio analiza rezultata otkrivanja izuzetaka dobijenih različitim postupcima, kako u

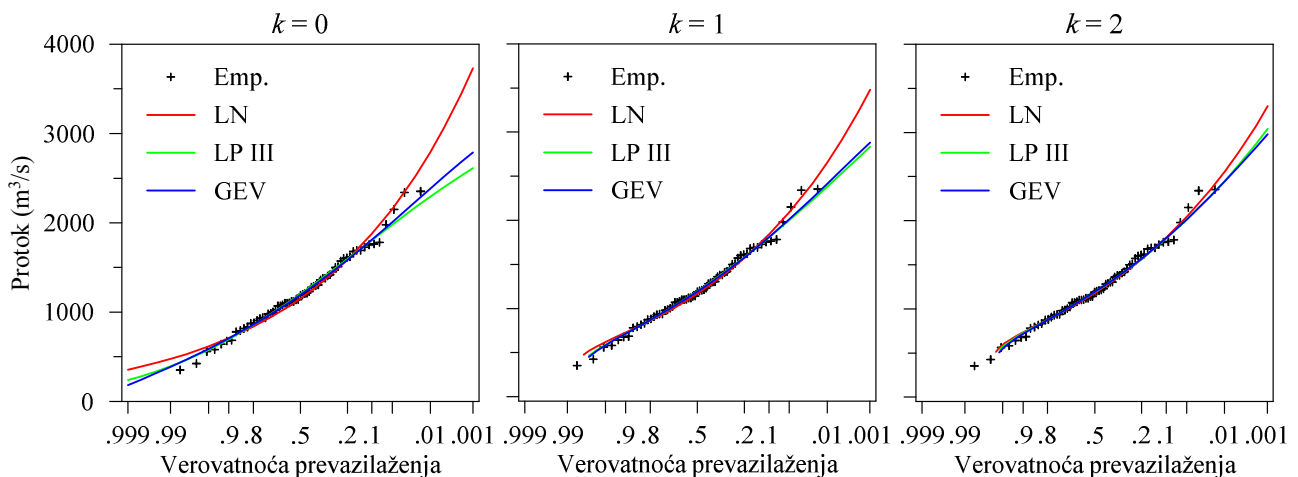
pogledu otkrivenih izuzetaka, tako i u pogledu kvantila velikih voda. Primenjena su tri različita testa za otkrivanje izuzetaka, koji se najčešće predlažu u okviru procedura, i koji se svi baziraju na pretpostavci o normalno raspoređenim uzorcima (originalnim ili posle transformacije). Testovi su identifikovali iste nizove sa izuzecima, ali broj izuzetaka je varirao od testa do testa. Pokazalo se da uklanjanje donjih izuzetaka iz uzorka ima značajan uticaj na procenu verovatnoće pojave velikih voda i kvantile. Raspodela log Pirson3 i log normalna raspodela su veoma osjetljive na postojanje donjih izuzetaka, za razliku od opšte raspodele ekstremnih vrednosti (slika 3). Zaključeno je i da sprovedeni testovi nisu pogodni za podatke koji nisu normalno raspoređeni (ili normalizovani nekom transformacijom).



Slika 1. Donji izuzeci otkriveni u nizovima maksimalnih godišnjih protoka. Trougao – rezultati iz [24], krug - rezultati iz [23]. Preuzeto iz [24].



Slika 2. Gornji izuzeci otkriveni u nizovima maksimalnih godišnjih protoka. Trougao - rezultati iz [24], krug - rezultati iz [23]. Preuzeto iz [24].



Slika 3. Uticaj donjih izuzetaka na teorijsku raspodelu verovatnoće na primeru stanice Ljubičevski most na Velikoj Moravi: potpun niz (levo), niz bez jednog izuzetka (sredina), niz bez dva izuzetka (desno) [25]. Legenda: + - empirijska raspodela, LN - log normalna, LP III - log Pirson 3, GEV - opšta raspodela ekstremnih vrednosti.



Najvažniji rezultat ovog istraživanja, u svetlu razmatranih preporuka, jeste da je nemoguće preporučiti jednu i jednostavnu proceduru za statističku analizu velikih voda, već da se u praksi i dalje inženjeri moraju pažljivo baviti svakim pojedinačnim nizom i svakom izuzetnom vrednošću u tim nizovima.

## 6. ZAVRŠNE NAPOMENE

U ovom radu ukratko je prikazan nacrt preporuka za proračun velikih voda na izučenim slivovima metodama statističke hidrologije, koji je namenjen domaćoj stručnoj javnosti. Takođe su prikazani pristupi za statističku analizu velikih voda, pri čemu su se autori trudili da postignu ravnotežu između težnji prakse ka jednostavnim i vremenski nezahtevnim postupcima sa jedne strane, a sa druge, rigoroznim matematičkim i statističkim postupcima koji se u ovoj oblasti koriste, a proizilaze iz tretiranja velikih voda kao slučajnih promenljivih.

Cilj rada je pre svega da upozna stručnu javnost sa postojanjem nacrta preporuka za proračun velikih voda i da podstakne raspravu koja bi dovela do neke vrste konsenzusa o sadržaju preporuka.

Primenom novih testova za analizu ulaznih podataka, ocenom parametara metodom L-momenata, uvođenjem metode parcijalnih serija (pikova), novih raspodela, novih testova saglasnosti i postupanjem sa izuzetnim vrednostima, osavremenila bi se postojeća, uobičajena inženjerska praksa u statističkoj analizi velikih voda u profilima hidroloških stanica. Na iznetom primeru otkrivanja i postupanja sa izuzetnim vrednostima, pokazano je da je nemoguće preporučiti jednu i jednostavnu proceduru za statističku analizu velikih voda, tako da su kao obavezujuće date sledeće konkretne preporuke:

- da se kao minimum razmatranja teorijskih raspodela verovatnoća, uz uobičajene uvede i opšta raspodela ekstremnih vrednosti,
- da se kao test saglasnosti teorijske raspodele verovatnoće sa empirijskom raspodelom koristi koeficijent korelacije dijagrama verovatnoće i
- da se rezultati statističke analize prilože i na preglednom listu proračuna velikih voda.

Na kraju, treba opet istaći da je donošenje preporuka za proračun velikih voda ne samo od suštinskog značaja za domaću projektantsku praksu, već i da predstavlja važan početni korak u okviru celovitog upravljanja rizikom od poplava. Nažalost, teške posledice majskih po-

plava u Srbiji su na surov način pokazale potrebu za hitnim prelaskom sa reaktivnog na aktivni pristup u odbrani od poplava. To podrazumeva uspostavljanje racionalnih i ekonomski opravdanih planova zaštite od poplava, koji se zasnivaju na dobroj proceni rizika, a to se ne može uraditi bez dva ključna koraka: 1) uspostavljanja modernog i pouzdanog osmatračkog sistema i 2) pouzdane procene učestalosti i intenziteta velikih voda. Konsistentna metodologija za procenu velikih voda je neophodna i da bi se omogućila koordinacija između nadležnih državnih institucija i drugih (državnih i privatnih) subjekata koji učestvuju u bilo kom segmentu upravljanja rizikom od velikih voda, ali i da bi se stvorila osnova za programe osiguranja od rizika od štetnog dejstva velikih voda. Autori se stoga nadaju, da će ovog puta biti prepoznata korist koju će imati sve strukture (javna vodoprivredna preduzeća i Direkcija za vode, RHMZ Srbije, projektanti, instituti, fakulteti, itd.) od finalizacije ovog projekta, koja bi, posle naučne i stručne kontrole, rezultirala usvajanjem odgovarajućeg uputstva, pravilnika ili nekog drugog podzakonskog akta.

## ZAHVALNOST

Projekat izrade nacrta preporuka za proračun velikih voda na izučenim slivovima finansiralo je JVP „Srbijavode“ 2012. godine, na čemu im se autori zahvaljuju. Posebnu zahvalnost zaslužuje dr Nikola Marjanović koji je, u svojstvu tadašnjeg direktora JVP „Srbijavode“ pokrenuo inicijativu za izradu preporuka za proračun velikih voda.

## LITERATURA

- [1] EFD: Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks, 2007.
- [2] UNISDR: Guidelines for Reducing Flood Losses. Pilon P. J. , Editor and Contributor, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UN, <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/558>. 2002.
- [3] IACWD: Guidelines for determining flood flow frequency: Bulletin 17B (revised and corrected), Interagency Advisory Committee on Water Data, Hydrol. Subcomm., Washington, D.C. 1982.
- [4] Stedinger J. R. i Griffis V W.: Flood Frequency Analysis in the United States: Time to Update.

- Journal of Hydrologic Engineering, 13(4), 199–204, 2008.
- [5] SP 33-101-2003: Određivanje osnovnih računskih hidroloških karakteristika (*Определение основных расчетных гидрологических характеристик*). Свод правил по проектированию и строительству, Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОССТРОЙ РОССИИ), Москва. 2004.
- [6] SNiP 33-01-2003: Hidrotehničke konstrukcije, osnove proračuna (*Гидротехнические Сооружения Основные положения*). Строительные нормы и правила Российской Федерации, Государственный комитет Российской Федерации, по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОССТРОЙ РОССИИ), Москва. 2004.
- [7] Kolarov V. i Babić-Mladenović M.: Podaci za izradu preliminarne procene rizika od poplava na teritoriji Republike Srbije. *Vodoprivreda* 42(1-3): 79-86, 2010.
- [8] Jovanović M., Todorović A. i Rodić M.: Kartiranje rizika od poplava. *Vodoprivreda* 41(1-3): 31-45. 2009.
- [9] Plavšić J. i Milutinović R.: O računskim nivoima vode za zaštitu od poplava na Dunavu kod Novog Sada. *Vodoprivreda* 42(1-3): 69-78. 2010.
- [10] JDH i NKMHP: Preporuke za proračun velikih voda – prednacr. Jugoslovensko društvo za hidrologiju i Nacionalni komitet za Međunarodni hidrološki program, Beograd. 1989.
- [11] Radić Z. i Mihailović V.: Marginalne raspodele dnevnih proticaja na reprezentativnim profilima u Srbiji. *Vodoprivreda* 42(1-3): 17-38, 2010.
- [12] Pavlović D. i Vukmirović V.: Statistička analiza maksimalnih kratkotrajnih kiša metodom godišnjih ekstrema. *Vodoprivreda* 42(4-6): 137-148, 2010.
- [13] Plavšić J.: Neizvesnosti u analizi velikih voda metodom parcijalnih serija. *Vodoprivreda* 38(1-3): 41-50, 2006.
- [14] Bobee B., Cavadias G., Ashkar F., Bernier J. i Rasmussen P.: Towards a systematic approach to comparing distributions used in flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 142, 121– 136. 1993.
- [15] Griffis V W. i Stedinger J. R.: Evolution of Flood Frequency Analysis with Bulletin 17. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 12, No 3, 283–297. 2007.
- [16] Thomas W. Jr., Baker M., England J. Jr, Cohn T., Steinberger N.: Recent developments in flood frequency analysis including plans to update Bulletin 17B. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, USA. 2010.
- [17] ACWI: Water Information Coordination Program, Advisory Committee on Water Information, <http://acwi.gov/hydrology/Frequency/>.
- [18] Stedinger J. R. i Griffis V W.: Getting from here to where? Flood frequency analysis and climate. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 47(3), 506–513, 2011.
- [19] Castellarin, A., Kohnova, S., Gaal, L., Fleig, A., Salinas, J.L., Toumazis, A., Kjeldsen, T.R., Macdonald, N.: Review of applied-statistical methods for flood-frequency analysis in Europe. Izveštaj za COST Action ES0901, NERC/Centre for Ecology & Hydrology, 122 pp, [http://www.cost-floodfreq.eu/attachments/article/107/WG2\\_Summary\\_Report\\_2012\\_FINAL.pdf](http://www.cost-floodfreq.eu/attachments/article/107/WG2_Summary_Report_2012_FINAL.pdf), 2012.
- [20] Burn, D.H.: An appraisal of the “region of influence” approach to flood frequency analysis, *Hydrological Sciences Journal*, 35, pp. 149-165. 1990.
- [21] BLFUW: Preporuke za ocenu velikih voda (*Leitfaden Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten*), P. Lorenz (ed.), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Austria. 2011.
- [22] Despotović J., Čatović S., Marjanović S. Kapor B., Todorović A.: Analiza velikih voda na hidrološkim stanicama u Srbiji. 16. naučno savetovanje SDHI i SDH, Donji Milanovac, 2012.
- [23] Blagojević B., Ilić A., Prohaska S.: Interrelation of Droughts and Floods through Outlier Detection on Rivers in Serbia. Proceedings of the international conference BALWOIS 2010 Ohrid, Vol. II ISBN 978-608-4510-04-8, 2010.
- [24] Blagojević, B., Mihailović, V., Plavšić, J.: Outlier treatment in the flood flow statistical analysis. Proc. Int. Conf. on Contemporary Achievements in Civil Eng., Faculty of Civil Engineering Subotica, University of Novi Sad, Subotica, Serbia, 24-25 April 2014, pp. 603-609, DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.081, 2014.

[25] Plavšić, J., Mihailović, V., Blagojević, B.: Assessment of methods for outlier detection and treatment in flood frequency analysis. Proc. Mediterranean Meeting on Monitoring, modelling, early

warning of extreme events triggered by heavy rainfall, University of Calabria, Cosenza, Italy, 2014.

## FLOOD FREQUENCY ANALYSIS AT GAUGED SITES: NEED FOR A CHANGE IN APPROACH

by

Borislava BLAGOJEVIĆ  
University of Niš, Faculty of Civil Engineering and Architecture  
Vladislava MIHAILOVIĆ  
University of Belgrade, Faculty of Forestry  
Jasna PLAVŠIĆ  
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering

### Summary

In most developed countries, practices and research results are translated into standards or guidelines for flood flow assessment, usually with the compulsory application in the design and exploitation of hydraulic structures and systems. This paper briefly presents the draft guidelines for flood flow statistical analysis in gauged basins based on methods of statistical hydrology, intended for practitioners in Serbia. It explains the motivation for composing national guidelines and gives insight into contemporary trends in flood flow assessment in a few selected countries. The content of the draft guidelines is shown, as well as the main conclusions of

the expanded research in terms of the proposed methodology for detection and handling of exceptional values. The proposed recommendations for modernization of existing, common engineering practices are highlighted. The paper presents the guidelines at the end of the first from three planned research phases, with the primary aim to encourage public debate which, in pair with the professional review, would lead to the adoption of the guidelines.

Keywords: flood flow, statistical analysis, gauged basins, outliers, guidelines.

Redigovano 18.11.2014.