

## STOHAŠTIČKA ANALIZA BESKIŠNIH PERIODA (SUŠA) U SRBIJI ZA PERIOD 1961-2010. PO METODU ZELENHASIĆA I TODOROVIĆA

Bojan SRĐEVIĆ, Pavel BENKA, Zorica SRĐEVIĆ, Milica RAJIĆ  
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad

*U znak sećanja na prof. dr Emira Zelenhasića  
i kao izraz poštovanja njegovog naučnog doprinosa  
srpskoj meteorologiji i vodoprivredi*

### REZIME

U radu su prikazani osnovni rezultati modeliranja i detaljne stohastičke analize beskišnih perioda na teritoriji Srbije u toku vegetacione sezone april-septembar. Primenjen je metod Zelenhasića i Todorovića (ZT) za stohastički opis ekstremnih prekidnih procesa u hidrologiji i meteorologiji. Podaci o jednodnevnim kišama na 20 pravilno raspoređenih lokaliteta u Srbiji izdvojeni su iz baza klimatskih podataka za dunavski region za 50-godišnji period 1961-2010. Prvo su identifikovani meteorološki događaji kao periodi bez kiša duži od 20 dana (uz pretpostavku da se i dan sa manje od 3 mm kiše smatra beskišnim danom), a zatim su utvrđene empirijske i (po ZT metodu) teorijske distribucije broja suša, trajanja suša i trajanja najdužih suša. Prikazano je i nekoliko reprezentativnih mapa suša sa različitim povratnim periodima i dati su komentari dobijenih rezultata i sprovedenih dopunskih analiza. Svi proračuni urađeni su sa originalnim domaćim softverom DROUGHTS, a za razne vrste interpolacija korišćeni su standardni alati GIS-a.

**Ključne reči:** beskišni periodi, suše, stohastička analiza ekstrema, ZT metod

### UVOD

Širi kontekst upravljanja vodama na bilo kojoj teritoriji podrazumeva poznavanje fenomena vezanih za atmosfersku kišu, kao što su visine u milimetrima vodenog stuba po kvadratnom metru, ili posledično transformisanje kiša u površinske, podpovršinske i podzemne oticaje, pojave bujica i dr. [6, 9, 11].

Brojni radovi, studije i pregledi naučnih i stručnih dostignuća obiluju bogatstvom informacija o tome, a aktuelne klimatske promene izazivaju sve veće interesovanje naučne, stručne i najšire društvene javnosti za rizike i posledice pojave ekstremnih meteoroloških ili njima izazvanih pojava i procesa [19, 22, 25, 26]. Posledice pojave ili ne-pojave kiše posebno su značajne za poljoprivredu Srbije koja predstavlja jedan od nekoliko najznačajnijih sektora nacionalne privrede. Kiše u toku perioda april-septembar (vegetaciona sezona) naročito su značajne jer ili donose nevolju u vidu bujica i poplava, prevlaživanja zemljišta, ometanja poljoprivrednih radova u vreme setve i/ili žetve itd., ili su blagorodne ako su blagovremene i prostorno i vremenski dobro raspoređene u odnosu na ukupni biljni pokrivač. Raspored (smene), intenzitet i trajanja kišnih i beskišnih perioda zbog očiglednih klimatskih promena dobijaju na značaju kao deo nove fenomenologije u kojoj ekstremnost ovih događaja ima za posledicu direktne i indirektno štete ili rizik.

Jednako kao kišni događaji, beskišni periodi su događaji koji se često označavaju kao meteorološke suše. Kada se vezuju samo za vegetacionu sezonu, zbog važnosti za poljoprivredu, ovi događaji se mogu nazvati i agro-suše. Terminologija vezana za suše je inače veoma razuđena i podložna različitim interpretacijama i pratećim kontroverzama u vezi toga šta se uzima u obzir kada se kaže 'suša'. Autori su svesni kompleksnosti i inherentnih svojstava fenomena suša, interpretacija sa različitih stanovišta i sa uzimanjem u obzir brojnih deskriptora i parametara važnih kod drugih sektora izvan vodoprivrede i poljoprivrede. Termin 'suša' ovde se koristi kao skraćeni opis fenomena beskišnih perioda u

vegetacionoj sezoni na teritoriji Srbije i nema druga značenja.

Inače, statistika intenzivnih kratkih kiša [13, 21], jednako je važna kao i ukupna statistika kiša (npr. za mesečne, sezonske, godišnje ili višegodišnje periode). U daljem tekstu su elementi ukupne statistike kiša u Srbiji dati samo kao uvod u analizu sasvim druge vrste statistike – statistike beskišnih perioda. Tačnije, posmatra se kompletan stohastički proces beskišnih perioda na datoj lokaciji u Srbiji i primenjuje pogodan model za opis tog procesa na bazi reprezentativnih podataka iz jedne realizacije tog procesa. Serija podataka o jednodnevnim kišama u periodu od 50 godina (1961-2010.) smatra se istorijski dovoljno reprezentativnom realizacijom procesa kišnih događaja iz koga se može izdvojiti sub-proces beskišnih intervala u toku vegetacione sezone svake od 50 godina. Drugim rečima, umesto visine kišnih padavina, tretiraju se periodi bez kiša kao slučajni meteorološki događaji isto kao što se se mogu tretirati i periodi sa kišama. Za izdvajanje sub-procesa beskišnih perioda, i to ekstremno dugih perioda, izabrane su referentne vrednosti: (a) periodi bez kiše su duži od 20 dana u toku vegetacione sezone (1. april - 30. septembar; trajanje perioda = 183 dana), pri čemu (b) u uzastopnim danima ili nema kiše ili je kiša manja od 3 mm u jednom danu. Na taj način fokus analize je na sušama (beskišnim periodima) dužim od 20 dana u toku sezone vegetacije, svaka suša je slučajni događaj, a broj suša, raspodela trajanja suša, raspodela trajanja najdužih suša, povratni periodi pojave najdužih suša i drugi elementi opisa ovog događaja mogu se obuhvatiti različitim stohastičkim modelima, pojedinačno ili zajedno.

Ovde je za opis procesa suša, zbog svoje sveobuhvatnosti, korišćen poznati metod Zelenhasića i Todorovića (u daljem tekstu metod ZT), razvijen tokom 70-tih godina prošlog veka na državnom univerzitetu Kolorado u Fort Kolinsu (SAD) [27, 28, 29, 34, 35]. Sa odgovarajućim prilagođenjima za specifične slučajeve, metod je korišćen u kasnijim decenijama za stohastički opis hidroloških i meteoroloških ekstrema kao što su vršni proticaji, male rečne vode, jake kiše i beskišni periodi [3-5, 12, 14-16, 21, 30-33]. Teorijske postavke i primene metoda ZT dobro su opisani u naučnoj i stručnoj literaturi [31-35]). Metod u suštini nikada nije menjan u matematičkom delu koji sadrži poznate teorijske funkcije raspodele slučajne promenljive (ekstrema): Poasonova, ekspanencijalna, dupla ekspanencijalna i gama. ZT je

rigorozan u delu provere nezavisnosti ekstrema i sprovođenja hi-kvadrat i Kolmogorov-Smirnov testova da bi se utvrdila slaganja teorijskih sa empirijskim raspodelama. Neke od novijih primena ovog metoda bile su usmerene na uključivanje i temperature u opis procesa beskišnih perioda u toku vegetacione sezone u Vojvodini. Iako zanimljiva kao pristup agro-sušama [7, 8]), ideja da se množe dužine perioda bez kiša i prosečne temperature u tim periodima zahteva proveru ispravnosti na više nivoa. Osnovni nivo je da se proces ekstrema tretira kao dvokomponentni od kojih jedna komponenta (prolećne i letnje temperature u toku perioda bez kiša) nije nužno ekstremna. Ona unosi 'šum' u baznu informaciju o drugoj komponenti ('beskišnost') i ceo proces zbog efekta 'peglanja' (smoothing-a) objektivno može da sklizne u zonu neekstrema što nije u saglasnosti sa teorijskim postavkama ZT metoda i rezultat nije pouzdan. Osim toga, proizvod srednje temperature u toku beskišnog perioda i trajanja beskišnog perioda teško je interpretirati jer nema fizičko značenje.

Sprovedene analize osetljivosti metoda na promene dva osnovna deskriptora suša (referentno trajanje 25 i 30 dana; referentna visina kiše od 4, 5, i 6 mm po danu) pokazale su da proces postaje krajnje ekstreman u smislu da se broj veoma dugih suša osetno smanjuje i postaje statistički i stohastički nepouzdan (zbog malog uzorka) ili dovodi do neispunjenja hi-kvadrat ili Smirnov-Kolmogorov testova. Smanjenje referentnog nivoa na 15 i 10 dana takođe narušava opis procesa ekstrema, jer ima previše ekstrema koji to zapravo nisu, itd. Brojne konsultacije sa poljoprivrednim stručnjacima, vlasnicima sistema za navodnjavanje i zalivanje, preovlađujuća struktura poljoprivrednih zasada u Srbiji (pšenica, kukuruz, voće), raznovrsnost tipova zemljišta, 'dinamika razvoja' biljnog pokrivača (od setve do žetve) – sve to je opravdavalo izbor referentnih vrednosti (20 dana i 3 mm) i omogućilo dovoljno pouzdanu primenu stohastičkog ZT metoda i validnu interpretaciju dobijenih rezultata u narednim poglavljima rada.

Metod ZT je primenjen za 20 lokaliteta u Srbiji sa podacima koji su preuzeti iz dve velike baze sa meteorološkim podacima za dunavski region: CarpatClim i DanubeClim [10, 17, 23, 24]. O bazama koje su kreirane u okviru međunarodnih projekata posvećenih problematici suša i rizika od suša u regionu Dunava u radu su date samo osnovne informacije, a više podataka o njihovom sadržaju može se naći na internet sajtu <http://www.carpatclim-eu.org/pages/about/>.

Posle primene ZT metoda, programiranog u okviru originalnog multimodulskog softvera DROUGHTS koji će takođe biti kratko opisan, rezultati proračuna su interpolirani i mapirani. Deo rezultata i urađenih mapa dat je u završnim poglavljima rada kao prilog analizi rizika od agro-suša u Srbiji.

## BAZE PODATAKA CARPATCLIM I DANUBECLIM

### Osnovno o bazama

U okviru međunarodnog projekta na web adresi <http://www.carpatclim-eu.org/pages/about/> počeo je 2010. godine razvoj baze podataka CarpatClim (CC) koja je zatim proširena na ceo region Dunava sa konačnim nazivom DanubeClim (DC). Bazom su obuhvaćeni meteorološki podaci za navedeni region u periodu 1961-2010. godina. Pošto su u ovom radu od interesa samo podaci koji se odnose na Srbiju, a u CC se nalaze podaci samo za deo teritorije republike severno od paralele 44° dok se za južni deo podaci nalaze u proširenoj bazi (DC), radi lakše identifikacije ovde pišemo kao da se radi o dve baze da bi se ukazalo na pripadnost podataka osnovnom i proširenom skupu podataka. Ovo zbog toga jer podaci iz DC još uvek nisu verifikovani (proširenje osnovne baze još je u toku). Napominjemo da su analize koje su vršene za celu teritoriju Srbije pokazale da su podaci iz oba dela baze, CC i DC, jednakog kvaliteta.

Baze CC i DC sadrže višegodišnje serije dnevnih podataka koji opisuju meteorološke uslove u dunavskom slivu. Hidrometeorološke službe u regionu dostavljale su originalne merne podatke, a celokupna teritorija obuhvaćena bazama prekrivena je mrežom polja sa prostornom rezolucijom  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , odnosno pojedini podaci se odnose na polje veličine približno 10 km x 10 km. Vremenska rezolucija je jedan dan, a period pokriven podacima je 1961-2010. Baze su dostupne na Internetu i slobodno se mogu preuzimati.

Za potrebe analize ekstremnih beskišnih perioda (suša) na teritoriji Srbije iz navedenih baza su preuzeti podaci o jednodnevnim kišama u periodu 1961-2010. god. za 20 polja mreže koja geografski dovoljno dobro pokrivaju teritoriju Republike, a blisko reprezentuju poznate geografske lokalitete (npr. Negotin, Novi Sad, Beograd, Sjenica, ...). Preuzeti podaci su dobijeni primenom softvera/procedura MASH i MISH kojima je u mađarskoj hidrometeorološkoj službi prvo vršena homogenizacija originalnih podataka dobijenih od

nadležnih meteoroloških službi država u regionu (MASH), a zatim interpolacije na celoj mreži kojom je pokrivena dunavska regija (MISH). Za potrebe unifikacije, na granicama država vršene su harmonizacije podataka.

Glavni cilj navedenih projekata i razvoja baza podataka CC i DC bio je poboljšanje uslova u Karpatskom regionu za izradu regionalnih klimatoloških studija, klimatskog atlasa i za monitoring suša. Da bi se omogućilo istraživanje vremenske i prostorne strukture klime na Karpatima i u karpatskom basenu jedinstvenim metodama, baze su slobodno dostupne i sa podacima visoke rezolucije za veliki Karpatski region, tzv. Larger Carpathian Region (LCR).

Projekti u suštini sadrže tri modula da bi se postiglo sledeće:

- Modul 1: Poboljšati dostupnost i pristupačnost homogene i prostorno reprezentativne vremenske serije klimatoloških podataka za LCR kroz čuvanje podataka, kontrolu kvaliteta i homogenizaciju podataka.
- Modul 2: Osigurati usklađivanje podataka iz karpatskih zemalja sa posebnim naglaskom na usklađivanje širom zemalja i uspostavljanje mreže klimatoloških podataka po zemljama.
- Modul 3: Razviti klimatski atlas kao osnovu za procenu klime i izradu klimatoloških studija, kao i za praćenje suše u LCR -u u okviru Evropske opservatorije za suše.

Klimatski atlas sadrži:

- Temperature vazduha;
- Padavine;
- Osunčavanje;
- Oblačnost; Globalnu radijaciju; Relativnu vlažnost;
- Pritisak vodene pare;
- Brzinu vetra;
- Debljinu snežnog pokrivača, itd.

Podaci su na dnevnom, mesečnom ili godišnjem nivou za period osmatranja 1961-2010.

### Homogenizacija podataka u bazama

Homogenizacija serija podataka, provere kvaliteta i popunjavanja nedostajućih podataka u serijama meteoroloških podataka po državama u regionu Dunava izvršena je po MASH proceduri (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*) razvijenoj u Hidrometeorološkoj službi Mađarske. U osnovi

MASH-a je test relativne homogenosti, odnosno ne pretpostavlja se da su serije podataka homogene. Moguće prelomne tačke i pomeranja se detektuju i popravljaju međusobnim upoređivanjem unutar istog klimatskog područja. Zavisno od klimatskih elemenata, primenjuje se aditivni ili multiplikativni model; multiplikativni model se logaritmovanjem po potrebi transformiše u aditivni. Homogenizacija se može vršiti za dnevne, mesečne i godišnje podatke. Iz raspoloživih serija se izabere 'candidate' serija, a ostale serije su referentne. U okviru procedure uloga pojedine serije se menja.

### Interpolacija podataka u bazama

Za potpuno pokrivanje regiona Dunava korišćen je postupak interpolacije nazvan MISH procedura (*Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis*), takođe razvijena u mađarskoj hidrometeorološkoj službi. Suština postupka je da se nepoznata vrednost 'prediktanda' procenjuje na osnovu poznatih vrednosti 'prediktora'. Odgovarajući modeli interpolacije primenjuju se u zavisnosti od vrste klimatskih podataka i njihovih funkcija raspodele (verovatnoća). Aditivni model se primenjuje za podatke koji podležu normalnoj raspodeli (npr. temperatura), a multiplikativni model se primenjuje za podatke koji podležu kvazi-lognormalnoj raspodeli (npr. padavine). Razne geostatističke metode interpolacije (Kriging) u GIS aplikacijama se zasnivaju na istim teoretskim postavkama. Interpolacije predstavljaju samo tzv. 'single realization in time', odnosno ne uzima se u obzir multidimenzionalnost meteoroloških procesa sa dugim serijama podataka na bliskim prostorima gde se mogu identifikovati korelativne, odnosno regresione veze, karakteristične za meteorologiju.

Glavni koraci u interpolaciji su:

- Modeliranje klimatskih statističkih parametara upotrebom dugih homogenizovanih serija podataka;
- Određivanje optimalnih interpolacionih parametara;
- Unošenje parametara i vrednosti prediktora u interpolacionu formulu.

a sistemi interpolacije su:

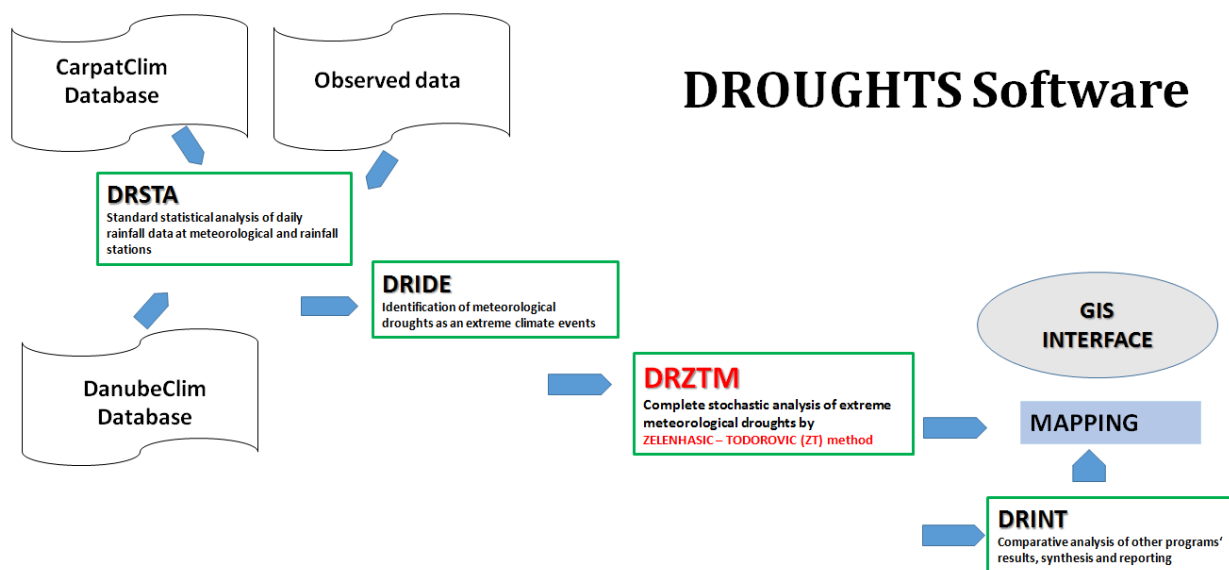
- Aditivni (temperatura) ili multiplikativni (padavine) model – zavisno od klimatskih elemenata;

- Dnevne, mesečne vrednosti i višegodišnji proseci mogu biti interpolisani;
- Nekoliko prediktora je dovoljno za interpolaciju i nema problema ukoliko je za veći deo područja vrednost 0;
- Postoji mogućnost primene dopunskih informacija (satelitski snimci, radarski mape, prognoze itd.)

### SOFTVER DROUGHTS

U Departmanu za uređenje voda Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu razvijen je originalni multimodularni softver DROUGHTS čija je bazična arhitektura prikazana na Slici 1. Softver sadrži četiri osnovna modula (kompjuterska programa) koji u nizu: (1) preuzimaju višegodišnje serije dnevnih podataka o kišama i temperaturama iz odgovarajućih baza meteoroloških podataka i vrše obimne statističke analize (DRSTA program); (2) za vegetacione sezone (april-septembar) identifikuju beskišne periode kao važan deskriptor suša (DRIDE program); (3) proračunavaju empirijske i teorijske raspodele broja i trajanja beskišnih perioda po metodu ZT namenjenom za stohastičku analizu ekstremnih događaja (ZTDRM program) i (4) integrišu rezultate prethodnih programa za potrebe interpolacije, mapiranja (vizuelne prezentacije) i korišćenja raznih softverskih alata iz GIS okruženja.

Za vizuelizaciju prostorne raspodele proučavane pojave, uobičajeno se koriste mogućnosti GIS okruženja za izradu karata prostorno interpoliranih podataka. Prostornom interpolacijom za sve tačke na određenom području dobijaju se vrednosti interpolisane veličine na osnovu poznatih vrednosti za odabrane karakteristične tačke [1]. Inače, metodi prostorne interpolacije se najčešće koriste pri izradi digitalnog modela terena na osnovu nadmorskih visina pojedinačnih tačaka, ali je takođe poznato da se ovi metodi mogu primenjivati i za interpolaciju drugih kategorija podataka [2]. Kada su u pitanju prostorno zavisni podaci, za interpolaciju i generisanje najbolje ocene tražene površi pogodan je metod Ordinary Kriging (OK) koji pripada grupi geostatističkih metoda. Ovaj metod je posle više testova i analize odgovarajućih uzoraka (kako je preporučeno u [18]) izabran kao pogodan i korišćen je u interpolacijama prikazanim u ovom radu.



Slika 1. Arhitektura softvera DROUGHTS

Moduli softvera DROUGHTS napisani su na programskom jeziku Fortran, kod ima oko 4.000 linija, a realizuje se velikom brzinom na PC platformama standardne harversko-softverske konfiguracije. DROUGHTS je interni proizvod Departmana za uređenje voda, izvorni kod je u celini na engleskom jeziku, namenjen je istraživanjima i profesionalnim poslovima i nije dostupan za javnu distribuciju i upotrebu.

Centralni deo softvera DROUGHTS od interesa za ovaj rad jeste program DRZTM koji predstavlja unapređenu verziju originalnog softvera razvijenog za male vode [20, 32] i kasnije adaptiranog za meteorološke suše [3]. Program za identifikovane beskišne periode u višegodišnjem intervalu u toku vegetacione sezone april-septembar proračunava sledeće parametre: (1) Poasonove raspodele za broj suša, (2) eksponencijalne raspodele trajanja svih suša i (3) dvostruko eksponencijalne raspodele trajanja najdužih suša. Pored toga, programom se utvrđuju i parametri gama raspodele vremena pojave najdužih suša, vremena pojave druge suše (u toku vegetacione sezone), kao i brojni drugi pokazatelji, uključujući brojne vrednosti za sprovođenje testova validnosti rezultata kao što su hi-kvadrat ili Kolmogorov-Smirnov test. Funkcije programa DRZTM, osim prve tri navedene, nisu korišćene za analize opisane u ovom radu.

## TEORIJSKA POSTAVKA PROBLEMA I ELEMENTI ANALIZE (AGRO) SUŠA U SRBIJI

### Definicija suše

Razmatraju se slučajni događaji definisani kao duži periodi bez značajnijih kišnih padavina na datoj lokaciji. Lokacija je najčešće (merna) meteorološka ili padavinska stanica, ili, kao u slučaju ovde, ćelija u bazi podataka kao element superponirane diskretne prostorne rešetke. Po pretpostavci, ćelija u bazi reprezentuje realni prostor u razumnoj blizini neke merne stanice, a svi podaci o kiši koji se u bazi vezuju za datu ćeliju dobijaju se na osnovu mernih podataka sa najbliže merne stanice i podatak sa drugih bliskih stanica posle sprovedene standardne interpolacije ili ekstrapolacije, po potrebi i harmonizacije. Ako se raspolaze serijom dnevnih podataka o visini kiše u milimetrima u dužem, višegodišnjem, periodu na datoj lokaciji ili ćeliji iz baze, tada se primenom metoda koji će biti ukratko prikazan mogu kvantitativno utvrditi neke od važnih karakteristika prirodnog procesa koji se vezuje za intervale vremena bez kiša i može, zbog sažimanja daljeg teksta, kratko nazvati sušom.

Termin 'suša' može imati različito značenje, opis i interpretaciju u različitim sektorima vodoprivrede, meteorologije, poljoprivrede, ekonomije itd. Ovde se pojam suše striktno vezuje za datu lokaciju i niz uzastopnih dana tokom vegetacione sezone u kojima

niti u jednom danu nije palo više od date referentne vrednosti kiše u milimetrima. Još preciznije, suša se tretira kao ekstremni događaj identifikovan referentnim minimumom trajanja od 20 dana i visinom padavina u jednom danu manjem od 3 milimetra. Na primer, događaj suše je kada je na datoj lokaciji u datoj kalendarskoj godini u toku vegetacione sezone od početnog (1. april) do poslednjeg dana (30. septembar) proteklo najmanje 20 kalendarskih dana tokom kojih ni u jednom danu nije padalo 3 i više milimetara kiše. Razmatra se pre svega aspekt poljoprivrednih suša vezanih za meteorologiju, pri čemu se izostavljaju neki od takođe važnih deskriptora suša kao što su temperature vazduha, stanje vlažnosti zemljišta, vrste biljnog pokrivača ili stadijum rasta biljaka itd.

Pojava suše je po prirodi slučajni događaj, a gornji opis daje suši karakter diskretnog događaja tokom vegetacione sezone. Tokom takve sezone u datoj godini može biti 0, 1, 2, 3 ili više događaja (suša). U višegodišnjem periodu (npr. 50 godina) nižu se ovakvi događaji (suše) trajanja preko 20 dana; generalno, nekada ih je više tokom sušnijih godina, a nekada manje. Pošto se identifikuju suše u celom višegodišnjem periodu, one u nizu predstavljaju samo jednu (istorijsku) realizaciju složenog stohastičkog procesa koji je započeo pre razmatranog višegodišnjeg perioda i trajeće i po okončanju tog višegodišnjeg perioda.

Sve navedeno treba dopuniti napomenom da je bazna jedinica vremena kalendarski dan, da je vegetaciona sezona trajanja 183 dana bazni period analize, te da je višegodišnji period bazni vremenski reprezent jedne realizacije stohastičkog procesa suša. Svaka pojedinačna suša identifikuje se godinom u kojoj se desila, početnim i krajnjim datumom kojim se utvrđuje njeno trajanje, kao i srednjim datumom kao indikatorom njene datumske pojave. Pojednostavljeno, u diskretnom domenu vremena, tj. na horizontalnoj osi na kojoj su kalendarski dani celog višegodišnjeg perioda (sa izdvojenim vegetacionim sezonama), srednji datum određuje kalendarski položaj 'štapića' čija je visina jednaka trajanju suše (od početnog do krajnjeg kalendarskog dana).

Identifikovana serija suša za datu lokaciju u višegodišnjem periodu tretira se kao realizacija koja dovoljno verno predstavlja diskretni stohastički proces suša i može se upotrebiti za kvantifikaciju broja pojava tokom godina, verovatnoću pojava u dugim vremenskim periodima, vremena pojava tokom vegetacionih sezona itd. Kompletan matematički model

za stohastičku analizu suša opisan je u brojnim radovima autora metoda i saradnika [3, 5, 12]. Ovde se navode samo matematički delovi metoda od interesa za analize funkcija raspodele i šire fenomena suša u toku vegetacione sezone na teritoriji Srbije: (1) broj suša, (2) raspodela trajanja suša i (3) raspodela trajanja najdužih suša.

### Raspodela broja suša

Polazeći od ranijih iskustava u primeni originalnog metoda Todorovića i Zelenhasića, kao i daljeg razvoja ovog metoda u pravcu analize hidroloških i meteoroloških ekstrema [21, 33], u kasnije postavljenoj verziji metoda ZT [3, 5, 7, 8] zadržana je pretpostavka da ekstremni događaji kao što su beskišni periodi prema broju pojavljivanja u datom vremenskom intervalu u kalendarskoj godini (npr. kao ovde u toku vegetacione sezone), a u toku dugogodišnjeg vremenskog perioda, najbolje prate Poasonov zakon verovatnoće dat jednačinom (1).

$$P(E_k) = \frac{[\lambda_1]^k}{k!} e^{-\lambda_1} \quad (1)$$

$P$  je verovatnoća događaja  $E_k$ , odnosno verovatnoća da se u datom intervalu vremena  $[0, t]$  desilo ukupno  $k$  beskišnih perioda, gde je  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Veličina  $\lambda_1$  je srednja vrednost broja beskišnih perioda u višegodišnjem periodu, u identičnom intervalu  $[0, t]$  za svaku godinu. Polazna pretpostavka u korišćenju ove jednačine jeste da su beskišni događaji za datu lokaciju međusobno nezavisni i da se mogu tretirati kao uniformno raspodeljena stohastička promenljiva (napomena: obe pretpostavke se uobičajenim testovima proveravaju za svaku analiziranu lokaciju). Vrednosti za  $\lambda_1$  računane su za vegetacionu sezonu za svih 20 polja iz baza podataka CC i DC (korespondentne odabranim lokacijama na teritoriji Srbije) za 50-godišnji period 1961-2010.

### Raspodela trajanja suša

Ako se sa  $Z_{\text{rec}}$  označi stvarno (istorijski zabeleženo, 'mereno') trajanje suše u danima, a sa  $Z$  diskretna slučajna promenljiva izražena u danima iznad referentne vrednosti  $Z_{\text{ref}}$  (ovde 20 dana), tada je  $Z = Z_{\text{rec}} - Z_{\text{ref}}$ .

Raspodela promenljive  $Z$  (suša izražena u danima iznad referentne vrednosti  $Z_{\text{ref}}$ ), za vremenski interval  $[0, t]$  koji odgovara vegetacionoj sezoni, data je relacijom

$$B(Z) = 1 - e^{-\lambda_2 \cdot Z}, \quad Z \geq 0 \quad (2)$$

u kojoj je parametar  $\lambda_2$  recipročna vrednost  $1/Z_{ave}$ , a  $Z_{ave}$  je srednja vrednost diskretne promenljive  $Z$  u vegetacionim sezonama višegodišnjeg perioda.

### Raspodela trajanja najdužih suša

Teorijska funkcija raspodele najduže suše je dvostruko eksponencijalna i ima dva parametra,  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$ :

$$F(Z) = e^{-\lambda_1} e^{-\lambda_2 Z} \quad Z \geq 0 \quad (3)$$

gde je  $\lambda_1$  prosečan broj suša u vegetacionoj sezoni (videti relaciju (1)), a  $\lambda_2$  je recipročna vrednost srednje vrednosti trajanja najdužih suša,  $\lambda_2 = 1/Z_{ave}$ .

Parametri  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  u raspodelama (1)-(3) su konstante koje odgovaraju lokalnim uslovima na datoj meteorološkoj/padavinskoj stanici (odnosno ovde polju iz baze CC ili DC) i dobijaju se statističkom analizom prethodno identifikovanih beskišnih perioda u svakoj vegetacionoj sezoni višegodišnjeg niza dnevnih podataka o kišnim padavinama.

## REZULTATI

### Prostorna pokrivenost Srbije podacima o kišama i kvalitet serija podataka

Na Slici 2 prikazan je raspored 20 lokacija na teritoriji Srbije koje su uzete u obzir u proračunima i analizama prikazanim u ovom poglavlju, a prema matematičkim postavkama ZT metoda datim u prethodnom poglavlju. Identifikacija lokacija je prema jedinstvenoj notaciji koja je usvojena tokom realizacije projekta Drought Risk in the Danube region (DriDanube), finansiranog po INTERREG programu EU (2017-2019). Podaci za 13 lokacija u severnom i centralnom delu Srbije preuzeti su iz baze CarpatClim (CC), a podaci za 7 lokacija u delu centralne i južne Srbije preuzeti su iz baze DanubeClim (DC) čiji je razvoj i punjenje u toku; u svim tabelama koje slede identifikacija je uniformno prikazana, a referentna je uvek Slika 2.

Podaci o jednodnevnim kišama na odabranih 20 lokacija u Srbiji preuzeti su za kompletan 50-godišnji period 1961-2010. Nije bilo praznina u podacima tako da je ukupna masa podataka iznosila 20 (polja) x 50 (godina) x 183 (dana u vegetacionom periodu) =

183.000. Pri diskretizaciji prostora od približno 10 km x 10 km, analizirane serije (posle generisanja, homogenizacije i harmonizacije softverima MISH i MASH) u nekoj meri odstupaju od merenih podataka na najbližim mernim stanicama. To su pokazale i kontrolne statističke analize za nekoliko serija podataka prikazanih u Tabeli 1 sa originalnim serijama za najbliže merne stanice u Srbiji. Višegodišnja (50-godišnja) odstupanja suma mesečnih i sezonskih (vegetacionih) kiša kreću se do 15% u pozitivnom i negativnom smeru što se može prihvatiti kao dozvoljena tolerancija tačnosti. Ovo je realan ishod procesa 'krupne' prostorne diskretizacije dunavske regije. U odsustvu drugačijeg pristupa (npr, gušća mreža, neki drugi metod interpolacije, ekstrapolacije i sl.), proces generisanja podataka za baze CC i DC može se prihvatiti kao ispravan, a rezultati prikazani u ovom poglavlju kao zadovoljavajući, naravno u skladu sa tačnošću ulaznih podataka.

### Osnovna statistika kišnih padavina u Srbiji

Bazična statistika obrađenih podataka (bez zaokruživanja na cele brojeve kada su u pitanju milimetri vodenog stuba) prikazana je u Tabeli 1, a deo ovih podataka ilustrovan je i mapama na Slici 3.

Statistika kiša tokom 50 godina (1961-2010) pokazuje da prosek suma jednodnevnih kiša na teritoriji Srbije u toku vegetacione sezone iznosi 386 mm, sa prosečnim (linearnim) trendom porasta od 0,7 mm godišnje. Prosečno najviše kiše pada u junu (85 mm), zatim u maju (74 mm), a najmanje u septembru (53 mm) i avgustu (56). Zanimljivo je da prosečno više kiše ima u julu i avgustu nego u septembru. Na nivou Srbije, u višegodišnjem periodu najveći prosek kišnih padavina u toku vegetacione sezone je u zoni Čajetine (541 mm; južna Srbija), a najmanji u zoni Negotina (312 mm; istočna Srbija). Najveći višegodišnji trend porasta sezonskih kiša beleži se u zoni Novog Sada (2 mm po sezoni), a najveći trend opadanja (iako mali) ponovo je u zoni Negotina (0,6 mm po sezoni).

Mesečne sume pokazuju da prosečno u toku vegetacione sezone najviše kiše pada u junu (111 mm; zona Raške u južnoj Srbiji), a najmanje u avgustu (39 mm; zona Negotina u istočnoj Srbiji).



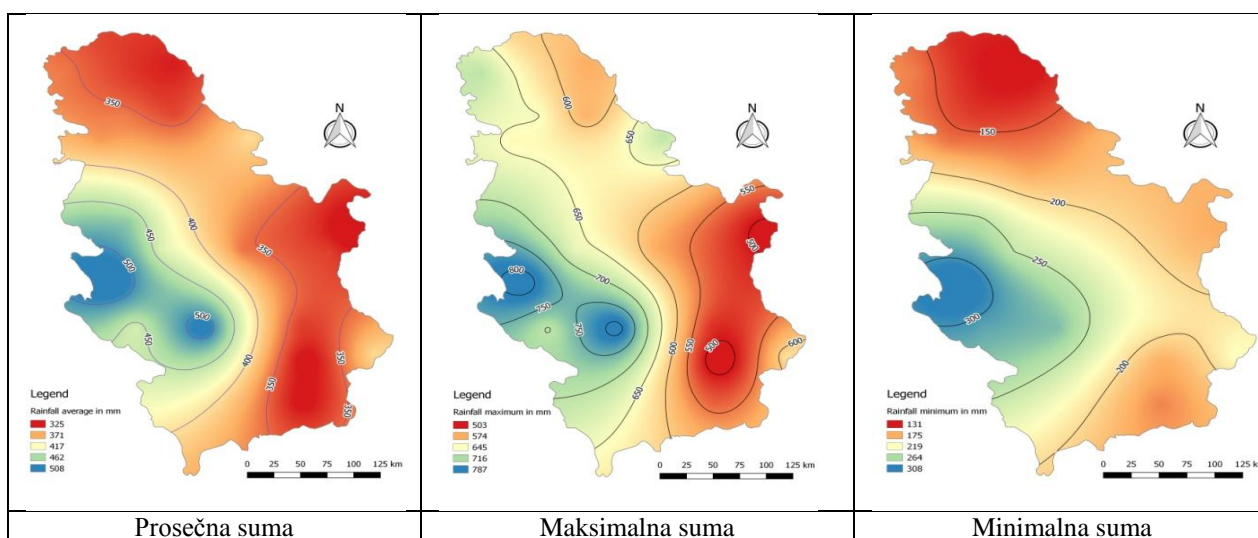


Slika 2. Izabrane lokacije na teritoriji Srbije za koje su preuzimani podaci iz baza podataka CarpatClim (CC) i DanubeClim (DC)



Tabela 1. Višegodišnji proseci suma padavina u vegetacionoj sezoni (april-septembar) i trend

	Lokacije u Srbiji	Meseci / Suma padavina (kiša) u milimetrima						
		April	Maj	Juni	Juli	Avg	Sept	Vegetaciona sezona /Trend
CC	1 RS054 Kikinda	44,4	56,6	75,9	56,4	52,3	42,9	328,4 /+1,3
	2 RS055 Valjevo	65,5	86,0	109,7	78,6	68,3	66,1	474,3 /+0,4
	3 RS059 Jagodina	53,2	66,9	81,0	56,7	51,6	48,0	357,4 /+0,5
	4 RS060 G. Milanovac	63,7	84,6	96,2	74,6	61,6	58,9	439,6 / -0,4
	5 RS061 Novi Sad	48,1	60,1	86,2	63,4	56,6	44,5	358,9/+2,0
	6 RS063 Sombor	50,1	59,9	82,2	63,1	54,4	46,9	356,6/+1,3
	7 RS064 Vršac	55,6	69,9	87,6	71,6	63,3	52,9	400,9/+0,5
	8 RS066 S. Mitrovica	49,5	60,6	81,9	66,1	59,5	52,0	369,5/+1,1
	9 RS067 Beograd	56,3	66,3	91,0	66,3	57,4	50,7	388,1/+0,6
	10 RS068 Palić	46,8	59,2	79,7	59,5	52,9	44,0	342,2/+1,6
	11 RS070 Negotin	55,8	61,2	66,1	47,8	39,2	42,4	312,5/+0,6
	12 RS071 Zrenjanin	45,5	58,3	82,8	59,1	51,5	45,4	342,6/+1,0
	13 RS073 Bor	56,0	67,3	70,2	57,1	44,8	45,3	340,7/-0,3
DC	14 RS056 Vranje	53,8	61,7	71,2	44,2	44,5	46,1	321,7/-0,1
	15 RS057 Raška	97,0	100,8	110,9	76,3	69,9	75,9	530,8/+1,5
	16 RS058 Merošina	57,9	67,0	70,7	46,8	49,1	48,4	340,0/+0,1
	17 RS062 Leskovac	58,0	63,0	65,5	43,4	44,9	45,5	320,2/+0,6
	18 RS065 Sjenica	55,5	81,9	90,3	76,0	66,5	71,4	441,7/+1,0
	19 RS069 Dimitrovgrad	59,7	77,8	95,2	61,4	55,7	49,7	399,6/+0,7
	20 RS072 Čajetina	78,0	99,9	108,9	93,3	77,4	83,9	541,4/+0,3
	SREDNJA	57,5	70,4	85,2	63,1	56,1	53,4	385,7/+0,7
	MAKSIMUM	97,0	100,8	110,9	93,3	77,4	83,9	541,4/+2,0
	MINIMUM	44,4	56,6	66,1	43,4	39,2	42,4	312,5/-0,6



Slika 3. Mape prosečnih, maksimalnih i minimalnih suma kišnih padavina u toku vegetacione sezone u Srbiji (1961-2010.)

### Broj suša u Srbiji

U Tabeli 2 (leva strana) sabrani su rezultati kompjuterskog programa DRIDE koji je, klizajući po podacima o jednodnevnim kišama u toku vegetacione sezone, za svaku od 20 serija dnevnih podataka o

kišnim padavinama izdvojio i prebrojao beskišne periode (agro-suše) duže od 20 dana, tj. periode (merene danima) tokom kojih niti u jednom danu nije bilo 3 ili više milimetra kiše. U istoj tabeli (desna strana) prikazan je za svaku seriju podataka broj godina u kojima se desilo 0, 1, 2 i više beskišnih perioda.

Prosečan broj suša na teritoriji Srbije je 49. Najviše suša u toku istorijskog perioda od 50 godina bilo je u zoni Negotina (76), a najmanje (17) u zoni Čajetine. Ovi rezultati potpuno korespondiraju statistici kiša iz prethodne sekcije.

Najduže suše trajanja 61 dana zabeležene su na nekoliko lokaliteta (zone Negotina, Merošine, Leskovca i Čajetine). U proseku, najduža suša u Srbiji traje 52 dana, a najkraća 20 dana. Napomenimo da je najkraća suša metodološki postavljena na 20 dana da bi se analiza beskišnih perioda sa stanovišta poljoprivrede realno tretirala kao stohastička analiza ekstremnih meteoroloških događaja.

U desnom delu Tabele 2 po horizontali su dati podaci o broju godina sa 0, 1 i više suša na svakom lokalitetu u periodu 1961-2010. Računato kao prosek, za period od 50 godina, nijedna suša se nije desila u 17,65 godina,

jedna suša se desila u 19 godina, 2 suše su se desile u 10,35 godina, 3 suše u 2,55 godina i 4 suše u 0,40 godina. Nije bilo godina u kojima je bilo 5 ili više suša dužih od 20 dana. Na lokalitetu Leskovac bilo je u 6 od 50 godina po tri suše, a na lokalitetu Vranje identifikovane su 4 suše u 3 od 50 godina. Ovo su najviše vrednosti brojnosti godina sa više od 2 suše godišnje.

Za identifikovane suše na svih 20 lokaliteta u Srbiji programom ZTDRM utvrđene su Poasonove raspodele broja suša u vegetacionoj sezoni, kao i parametri ostalih distribucija prikazani u Tabeli 3. Za tri lokaliteta koji se ističu po baznoj statistici iz Tabele 1 i broju i trajanju suša (Tabela 2) dati su detalji Poasonovih raspodela kako sledi, a na Slici 4 prikazani su i odgovarajući grafikoni. Lokaliteti su Novi Sad kao 'prosečan', Negotin kao 'vrlo suv' i Čajetina kao 'vlažan'.

Tabela 2. Identifikacija suša u vegetacionoj sezoni (period 1961-2010)

		Lokacije u Srbiji	Broj suša	Najduža suša	Najkraća suša	0 suša	1 suša	2 suše	3 suše	4 suše	Napom.
CC	1	RS054 Kikinda	59	52	20	15	18	12	3	2	
	2	RS055 Valjevo	32	37	20	25	18	7	0	0	
	3	RS059 Jagodina	52	55	20	15	21	12	1	1	
	4	RS060 G. Milanovac	33	42	20	25	18	6	1	0	
	5	RS061 Novi Sad	55	52	20	10	25	13	1	0	
	6	RS063 Sombor	51	59	20	16	20	11	3	0	
	7	RS064 Vršac	50	43	21	17	20	10	2	1	
	8	RS066 S. Mitrovica	47	52	20	16	22	11	1	0	
	9	RS067 Beograd	55	60	20	14	21	11	4	0	
	10	RS068 Palić	58	49	20	11	23	13	3	0	
	11	RS070 Negotin	76	61	20	9	11	25	5	0	
	12	RS071 Zrenjanin	54	53	20	13	23	11	3	0	
	DC	13	RS073 Bor	62	53	20	12	18	16	4	0
14		RS056 Vranje	70	53	21	10	21	11	5	3	
15		RS057 Raška	30	51	20	28	15	6	1	0	malo suša
16		RS058 Merošina	55	61	20	15	20	11	3	1	
17		RS062 Leskovac	61	61	20	12	21	11	6	0	
18		RS065 Sjenica	24	45	21	31	16	1	2	0	malo suša
19		RS069 Dimitrovgrad	39	55	21	23	18	6	3	0	
20		RS072 Čajetina	17	43	21	36	11	3	0	0	malo suša
SREDNJA			49	52	20	17,65	19,00	10,35	2,55	0,40	
MAKSIMUM			76	61		36	25	25	6	3	
MINIMUM			17	37		9	11	1	0	0	

### Poasonova raspodela broja beskišnih perioda (suša)

#### Novi Sad RS061

$\lambda_1 =$  (ukupan broj suša u 50-godišnjem periodu / 50 godina) = 55/50 = 1,10

$$P(E_k) = \frac{[\lambda_1]^k}{k!} e^{-\lambda_1}; e^{-1,1} = 0,3329$$

$$P(E_k) = 0,3329 \frac{1,1^k}{k!};$$

$$P(E_0) = 0,3329;$$

$$P(E_1) = 0,3329 \frac{1,1^1}{1!} = 0,3662;$$

$$P(E_2) = 0,3329 \frac{1,1^2}{2!} = 0,2014 \text{ itd.}$$

$$\text{HISQ} = 9,9792770$$

**Negotin RS070**

$$\lambda_1 = 76/50 = 1,52$$

$$P(E_k) = \frac{[\lambda_1]^k}{k!} e^{-\lambda_1} \quad ; \quad e^{-1,52} = 0,2187$$

$$P(E_k) = 0,2187 \frac{1,52^k}{k!} ;$$

$$P(E_0) = 0,2187;$$

$$P(E_1) = 0,2187 \frac{1,52^1}{1!} = 0,3324;$$

$$P(E_2) = 0,2187 \frac{1,52^2}{2!} = 0,2527,$$

$$\text{HISQ} = 18,0167900$$

**Čajetina RS072**

$$\lambda_1 = 17/50 = 0,34$$

$$P(E_k) = \frac{[\lambda_1]^k}{k!} e^{-\lambda_1} \quad ; \quad e^{-0,34} = 0,7118$$

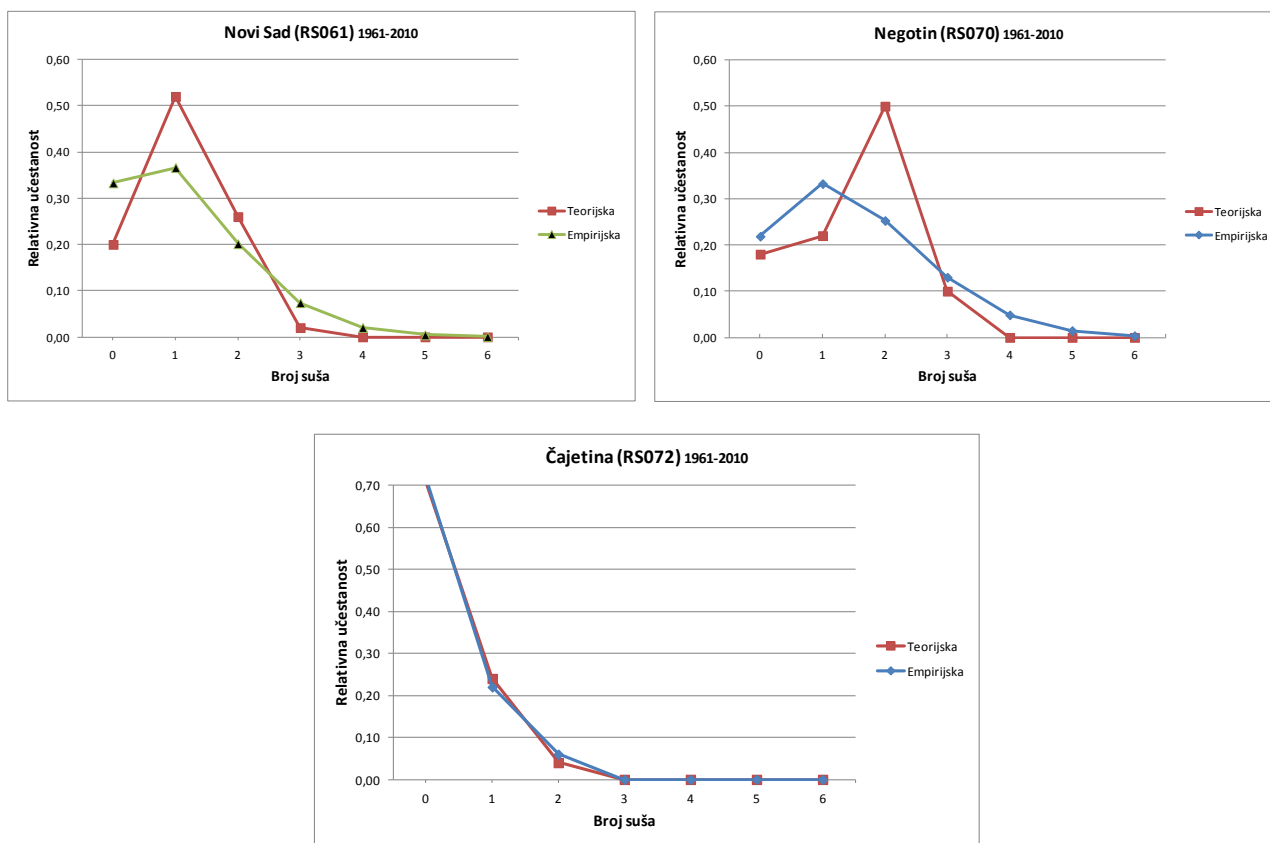
$$P(E_k) = 0,7118 \frac{0,34^k}{k!} ;$$

$$P(E_0) = 0,7118;$$

$$P(E_1) = 0,7118 \frac{0,34^1}{1!} = 0,2420;$$

$$P(E_2) = 0,07118 \frac{0,34^2}{2!} = 0,0411, \dots$$

$$\text{HISQ} = 0,7914279$$



Slika 4. Poasonove raspodele broja suša na tri lokaliteta u Srbiji (Novi Sad, Negotin, Čajetina)

Tabela 3. Parametri teorijskih raspodela verovatnoće broja i veličine suša po metodu ZT

B a z a	Br.	Lokacija u Srbiji	Parametri distribucija u okviru metoda ZT za vegetacionu sezonu (april-septembar)				
			$P(E_k) = \frac{[\lambda_1]^k}{k!} e^{-\lambda_1}$	$B(Z) = 1 - e^{-\lambda_2 Z}$ $Z \geq 0$		$F(Z) = e^{-\lambda_1} e^{-\lambda_2 Z}$ $Z \geq 0$	Najveći broj suša u mesecima u odnosu na ukupan broj suša u periodu 1961-2010.
			$\lambda_1$	$Z_{ave}$	$\lambda_2 = 1/Z_{ave}$	$Z_{ave(max)}$	
CC	1	RS054 Kikinda	1,18	8,2	0,1226611	8,5	avg 11/35 sep 10/35
	2	RS055 Valjevo	0,64	6,8	0,1481481	5,5	sep 7/25 avg 6/25
	3	RS059 Jagodina	1,04	8,4	0,1192661	8,3	avg 10/35 sep 8/35
	4	RS060 G. Milanovac	0,66	7,6	0,1314741	6,3	avg 9/25 sep 8/25
	5	RS061 Novi Sad	1,10	8,2	0,1224944	8,4	sep 15/40 avg 9/40
	6	RS063 Sombor	1,02	7,5	0,1324675	7,5	avg 9/34 sep 9/34
	7	RS064 Vršac	1,00	8,0	0,1256281	7,7	sep 11/33 jul 8/33
	8	RS066 S. Mitrovica	0,94	9,0	0,1116389	8,2	avg 9/34 sep 8/34
	9	RS067 Beograd	1,10	8,1	0,1235955	8,3	avg 11/36 sep 9/36
	10	RS068 Palić	1,16	8,6	0,1164659	8,5	avg 10/39 sep 10/39
	11	RS070 Negotin	1,52	11,8	0,08444445	13,7	avg 12/41 sep 11/41
	12	RS071 Zrenjanin	1,08	9,0	0,1111111	8,9	sep 13/37 avg 9/37
	13	RS073 Bor	1,24	8,9	0,1127273	9,9	avg 10/38 sep 10/38
DC	14	RS056 Vranje	1,40	9,1	0,1104101	9,7	sep 12/40 jul 10/40
	15	RS057 Raška	0,60	7,5	0,1327434	6,2	jul 8/22 avg 8/22
	16	RS058 Merošina	1,10	8,7	0,1153040	8,9	avg 10/35 jul 9/35
	17	RS062 Leskovac	1,22	7,9	0,1262940	7,8	jul 11/38 avg 9/38
	18	RS065 Sjenica	0,48	9,3	0,1090909	6,3	jul 5/19 sep 4/19
	19	RS069 Dimitrovgrad	0,78	9,5	0,1056911	7,4	avg 11/27 jul 5/27
	20	RS072 Čajetina	0,34	6,3	0,1588785	4,4	sep 4/14 avg 3/14
SREDNJA			0,98	8,4		8,0	
MAKSIMUM			1,52 Negotin	11,8 Negotin		13,7 Negotin	
MINIMUM			0,34 Čajetina	6,3 Čajetina		4,4 Čajetina	

*Objašnjenje informacija sadržanih u poslednjoj koloni Tabele 3:* Na svakoj lokaciji u toku 50 godina (1961-2010) bilo je godina bez suša. Na primer, kod Novog Sada u 10 godina nije bilo suša. U godinama kada je bilo suša (a takvih je bilo ukupno 40), najviše suša desilo se u septembru (15), a zatim u avgustu (9).

Kratka inspekcija podataka u poslednjoj koloni Tabele 3 pokazuje da se najduže suše najčešće javljaju u avgustu i septembru, zatim u julu, a nikada u junu, maju i aprilu. Analiza se može produbiti ako se uradi i unakrsna analiza rezultata za sve lokacije u Srbiji dobijenih bazičnom statistikom svih dnevnih podataka i rezultata dobijenih metodom ZT.

### Trajanje suša

Na osnovu identifikovanih trajanja svih suša iznad referentne vrednosti na datoj lokaciji, lako je ustanoviti koja je suša najduža, odrediti klaster trajanja po 4 ili 5 dana, pozicionirati sve suše u klaster i odrediti srednje trajanje suša i standardnu devijaciju. Na osnovu proračuna ovih vrednosti utvrđuje se teorijska raspodela eksponencijalnog tipa (videti obrazac (2)) i ista upoređuje sa kumulativnim frekvencijama (empirijskom raspodelom) zabeleženih suša, obračunavaju odstupanja i sračunava hi-kvadrat vrednost radi utvrđivanja kvaliteta slaganja empirijske i teorijske raspodele. Za Novi Sad navedene vrednosti su:

$$Z = Z_{\text{rec}} - Z_{\text{ref}} = 52 - 20 = 32,$$

$$Z_{\text{ave}} = 8.2 \text{ dana i}$$

$$\sigma(Z) = 6,5 \text{ dana.}$$

Teorijska funkcija raspodele trajanja suša, prema obrascu (2) za Novi Sad, glasi:

$$B(Z) = 1 - e^{-\lambda_2 \cdot Z} = 1 - e^{-0.1224944 \cdot Z} \quad (Z \geq 0)$$

i prikazana je kao gore levi dijagram na Slici 5a. Izračunata hi-kvadrat vrednost je u ovom slučaju 10.266770, što ukazuje na dobro slaganje dveju raspodela. Vrednost parametra  $\lambda_2 = 0.1224944$  za Novi Sad nalazi se u Tabeli 3 u kojoj su sadržane vrednosti i za sve ostale lokacije u Srbiji. Na Slici 5a (gore desno i dole) date su teorijske raspodele trajanja suša po obrascu (2) za Negotin i Čajetinu.

### Trajanje najdužih suša

Kada se određuje dvostruko eksponencijalna teorijska raspodela trajanja najdužih suša po obrascu (3), koriste se parametri  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$ , a za potrebe utvrđivanja kvaliteta slaganja empirijske i teorijske raspodele sračunavaju analogne vrednosti kao u prethodnom slučaju (ali ovdje samo za najdužu sušu u toku godine, a ne za sve suše u toku godine kao u prethodnom slučaju),  $Z_{\text{ave(max)}}$  i  $\sigma(Z_{\text{max}})$ .

Za Novi Sad navedene vrednosti su:

$$Z_{\text{ave(max)}} = 8.4 \text{ dana i}$$

$$\sigma(Z_{\text{max}}) = 6,6 \text{ dana,}$$

a teorijska raspodela glasi:

$$F(Z) = e^{-\lambda_1 \cdot e^{-\lambda_2 Z}} = e^{-1.1 \cdot e^{-0.1224944 \cdot Z}} \quad (Z \geq 0)$$

i prikazana je kao gornji levi dijagram na Slici 5b. Izračunata hi-kvadrat vrednost je 7.625448, što takođe ukazuje na dobro slaganje dveju raspodela. Na Slici 5b (gore desno i dole) date su i teorijske raspodele trajanja najdužih suša po obrascu (3) za Negotin i Čajetinu.

Funkcija raspodele najdužih suša direktno se može iskoristiti da se odrede povratni periodi najdužih suša preko obrasca

$$T = \frac{1}{1 - F(Z)}. \quad (4)$$

Karakteristične vrednosti za Novi Sad su prikazane u Tabeli 4, a za sve lokacije u Srbiji u Tabeli 5 date su vrednosti samo za povratne periode od 100, 50, 20, 10, 5 i 2 godina (trajanja suša u danima zaokružene su na cele vrednosti).

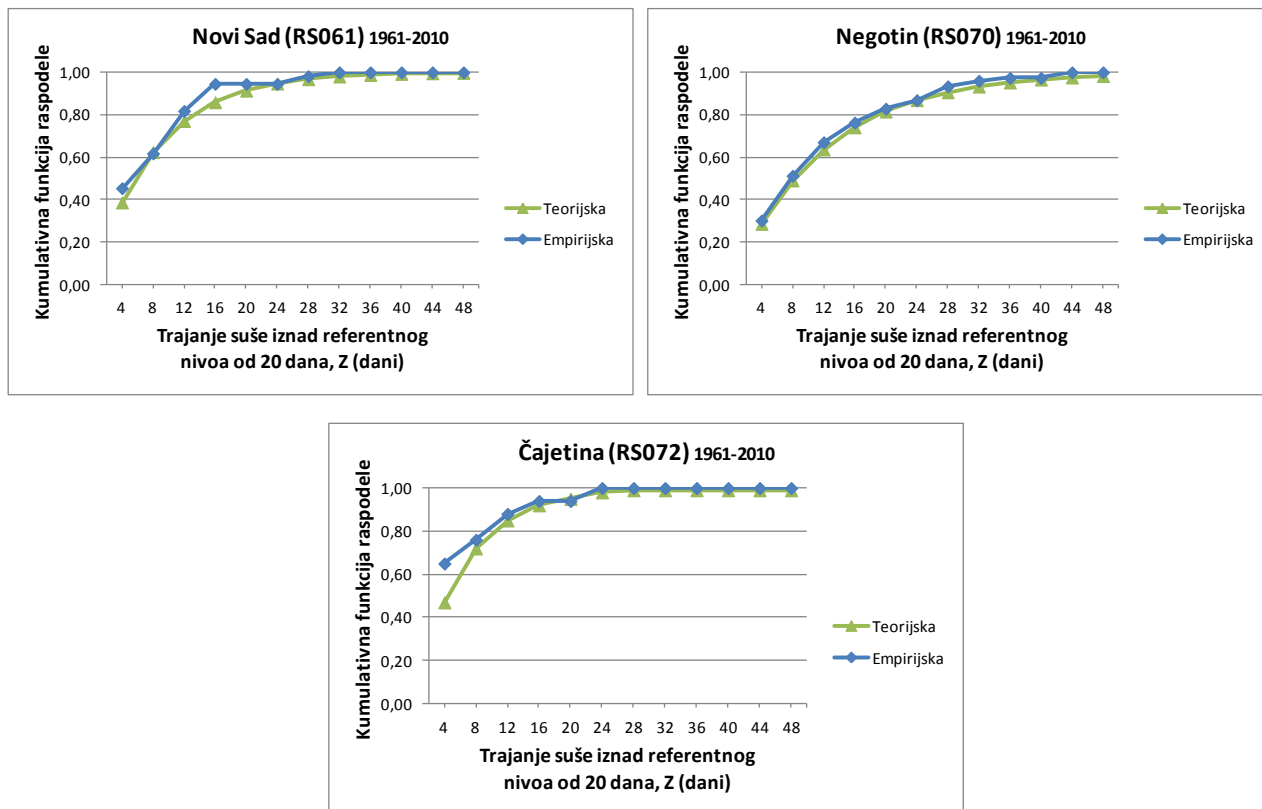
Tabela 4. Povratni periodi za najduže suše kod Novog Sada

Povratni period (godine)	Učestanost (dani) $F(Z)$	Trajanje suše iznad referentnog nivoa (dani)	Ukupno trajanje suše (dani)
100	0,990	38,3	58,3
90	0,989	37,5	57,5
80	0,988	36,5	56,5
50	0,980	32,6	52,6
20	0,950	25,0	45,0
10	0,900	19,1	39,1
5	0,800	13,0	33,0
2	0,500	3,8	23,8

Na slici 6 prikazane su mape interpoliranih vrednosti najdužih suša za Srbiju za povratne periode 100, 20 i 5 godina. Mape su generisane na osnovu rezultata obrade kompletnih nizova podataka od 50 godina (1961-2010) preuzetih za Srbiju iz baza CC i DC. Softver DROUGHTS omogućava detaljnije računanje povratnih perioda, mapiranje i interpretaciju rezultata stohastičkog ZT modela suša, analize procentualnih delova teritorije koji su potencijalno izloženi dugotrajnim sušama različitih intenzeta i učestanosti pojave, povezivanje informacija sa modelima drugih rizika, ocenu posledica po poljoprivredni, vodoprivredni i druge sektore itd.

Tabela 5. Povratni periodi za najduže suše u Srbiji

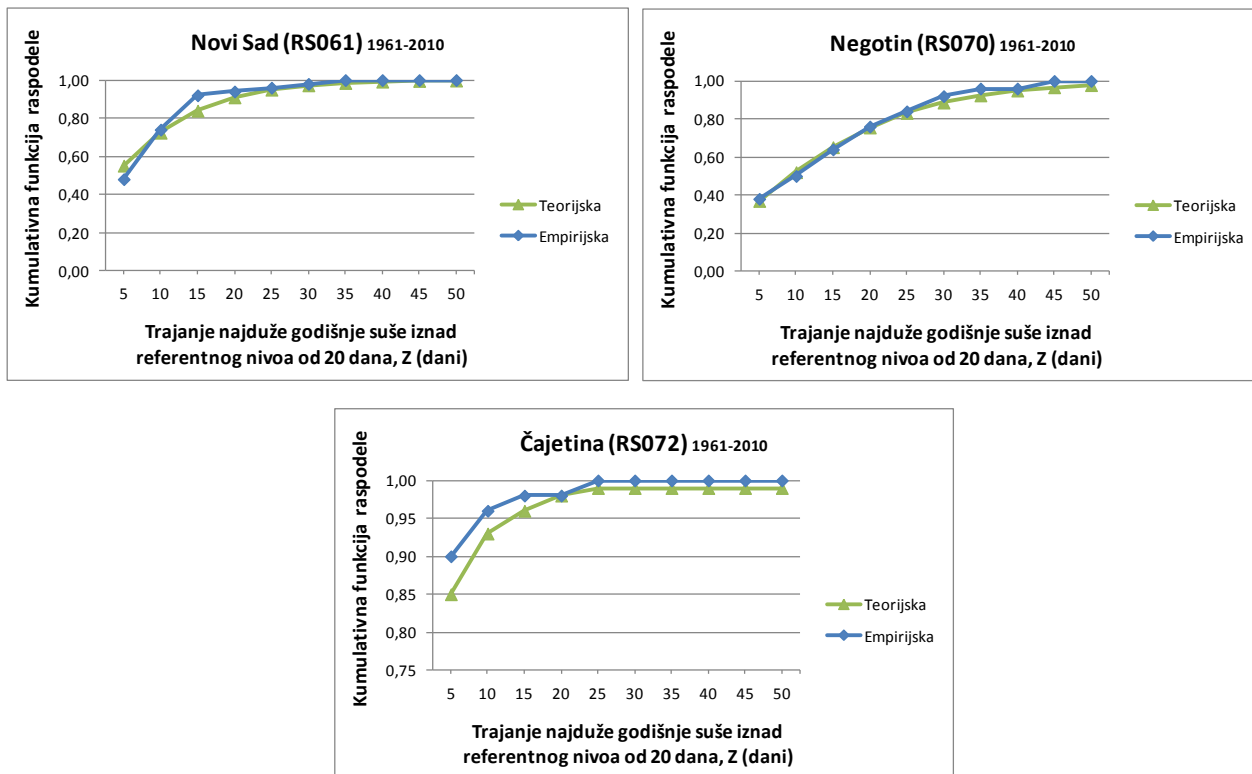
Lokacija	Trajanje najdužih suša Broj uzastopnih dana (više od 20) bez kiše, ili sa kišama manjim od 3 mm dnevno					
	Povratni period u godinama $T = \frac{1}{1-F(Z)}$					
	100	50	20	10	5	2
RS054 Kikinda	62	56	48	41	35	25
RS055 Valjevo	49	44	38	33	27	20
RS059 Jagodina	61	55	47	41	34	24
RS060 G. Milanovac	52	47	40	34	28	20
RS061 Novi Sad	58	53	45	39	33	24
RS063 Sombor	55	50	43	37	31	23
RS064 Vršac	59	53	45	39	33	23
RS066 S. Mitrovica	61	55	47	40	33	23
RS067 Beograd	59	53	45	40	33	24
RS068 Palić	61	55	47	41	34	24
RS070 Negotin	79	71	60	51	43	29
RS071 Zrenjanin	62	56	48	41	34	24
RS073 Bor	62	56	48	42	35	25
RS056 Vranje	65	58	50	43	37	26
RS057 Raška	50	45	38	33	28	19
RS058 Merošina	60	54	46	40	34	24
RS062 Leskovac	58	52	45	39	33	24
RS065 Sjenica	54	48	40	34	28	18
RS069 Dimitrovgrad	61	55	46	39	32	21
RS072 Čajetina	42	38	32	28	23	16



(a)

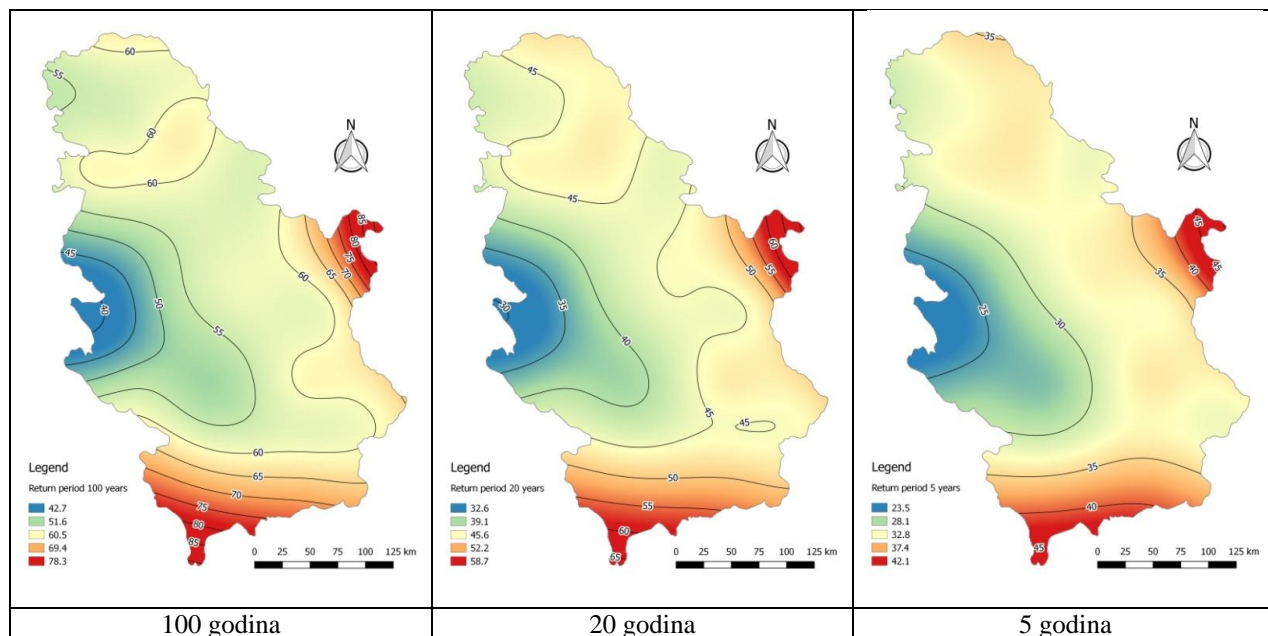
Slika 5a. Empirijska i teorijska raspodela trajanja suša na na tri lokaliteta u Srbiji (Novi Sad, Negotin, Čajetina)





b)

Slika 5b. Empirijska i teorijska raspodela trajanja najdužih suša, na na tri lokaliteta u Srbiji (Novi Sad, Negotin, Čajetina)



Slika 6. Mape interpoliranih vrednosti najdužih suša za Srbiju za povratne periode od 100, 20 i 5 godina

## ZAKLJUČAK

Klimatske suše se opisuju i analiziraju na različite načine u raznim delovima sveta. Nema standarda koji je svuda prihvaćen, a klimatske i druge promene koje su sa njima u vezi stalni su predmet pažnje naučnika i stručnjaka da se ustanove nekakvi standardi. Traže se i načini borbe sa negativnim promenama kao posledicama porasta temperature na planeti, smanjenja raspoloživih količina pijaće vode, ekološkim i drugim promenama životnog okruženja stanovništva itd. Metodi analize klime i njenih promena su brojni kao i metodologije ustanovljavanja mera i akcija da se negativni trendovi ublaže i kada god može uklone. Analiziraju se različiti scenariji daljih promena klime i predlažu akcije često u zavisnosti od društvenih, ekonomskih i drugih okolnosti u različitim državama i regionima sveta.

Predmet ovog rada je jedan od fenomena kompleksa klimatskih događaja u Srbiji koji se sa stanovišta rizika i njegove kontrole može smatrati dovoljno važnim da mu se stalno posvećuje pažnja. Tretirani su i opisani sušni događaji u Srbiji opisani putem jednog od važnih klimatskih činilaca – kišnih padavina. Tačnije, analizirane su jednodnevne kiše u toku perioda 1961-2010 (50 godina) na 20 lokaliteta, izdvojeni su svi periodi bez kiša u vegetacionoj sezoni april-septembar duži od 20 dana i zatim su takvi beskišni periodi (suše) modelirani kao kvazi-multimodalna realizacija odgovarajućeg stohastičkog procesa na koju je primenjen jedan od naučno verifikovanih metoda da bi se utvrdile stohastičke raspodele broja i trajanja ovih događaja. Kvazi-multimodalnost se sastoji u tome da je za svaki od 20 odabranih lokaliteta, pravilno raspoređenih na teritoriji Srbije, model Zelenhasića i Todorovića (za ekstremne prekidne procese) primenjen pojedinačno, a zatim su izvršene potrebne harmonizacije 'tačkastih' rezultata i njihove interpolacije u GIS okruženju. Kreirane mape za više povratnih perioda trajanja suša u periodu koji je naročito važan za poljoprivredu i vodoprivredu može doprineti boljem sagledavanju koje i kakve akcije bi trebalo blagovremeno preduzimati da bi se smanjili rizici slabije poljoprivredne proizvodnje, prekomerne eksploatacije podzemne vode, ne-efikasnosti u korišćenju zalivnih sistema, redukcija u rečnom saobraćaju, smanjenju hidro-električne proizvodnje i dr.

## ZAHVALNOST I NAPOMENA

Rezultati prikazani u radu deo su naučne aktivnosti autorskog istraživačkog tima iz Srbije koja se odvija paralelno sa realizacijom poslova u okviru projekta Drought Risk in the Danube Region (DriDanube) [www.interreg-danube.eu/dridanube](http://www.interreg-danube.eu/dridanube) koji finansira EU. Rad je nastao zahvaljujući trajanju navedenog projekta. Posle reinterpretacije i skraćivanja, rezultati će biti korišćeni za deo projekta koji se odnosi na Srbiju. Izložene analize u radu nisu u suprotnosti ni sa sadržajem ni sa bitnim regulama projekta.

Svi rezultati i interpretacije u radu su tačni onoliko koliko su tačni podaci u bazama podataka CarpatClim i DanubeClim razvijenim za dunavski regionu u okviru projekata koje je finansirala EU. Podaci o dnevnim kišama na teritoriji Srbije koje je autorski tim koristio rezultat su prostorne interpolacije po metodi kriging sprovedene sa originalnim tačkastim podacima o izmerenim kišnim padavinama u meteorološkim i padavinskim stanicama Srbije. Podaci interpolirani softverima MISH i MASH su na diskretnoj mreži regiona sa poljima veličine okvirno 10 km x 10 km. Proračuni i analize odnose se na polja iz baza koja pokrivaju najbliže poznate geografske lokalitete u Srbiji.

## LITERATURA

- [1] Benka P., Bezdan A., Grabić J., Salvai A. (2011) Mogućnost praćenja suše primenom karata SPI, Tematski zbornik radova: Melioracije 11, Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, str. 16-24, Novi Sad.
- [2] Benka P., Bezdan A., Grabić J., Gregorić G., Salvai A. (2010) Application of geostatistical interpolation methods for drought indices mapping, *Contemporary agriculture*, Vol 59, No 3-4, Univerzitet u Novom Sadu - Poljoprivredni fakultet, str 363-370, Novi Sad,
- [3] Berić M., Zelenhasić E., Srđević B. (1990). Extreme dry weather intervals of the growing season in Backa, Yugoslavia. *Water Resources Management* 4: 79–95.
- [4] Berić M., Zelenhasić E., Srđević B. (1988): Contribution to Research of Droughts, Proc. of the ICID 15th European Regional Conference

- onAgricultural Water Management, Vol. 4, pp. 39–50, Sept. 25–Oct. 2, 1988, Dubrovnik, Yugoslavia.
- [5] Berić M., Zelenhasić E., Srđević B. (1987) Sušni period vegetacione sezone u Bačkoj. *Vodoprivreda* 19: 43–52.
- [6] Beersma J.J., Buishand T.A. (2007) Drought in the Netherland- Regional frequency analysis versus time series simulation. *Journal of Hydrology* 347(3-4): 332–346.
- [7] Fabian J., Zelenhasić E. (2016) Modelling of meteo-droughts. *Water Resources Management* 30 (9): 3229–3246
- [8] Fabian Đ. (2015) Stohastička analiza suša u Vojvodini. Publikacija Građevinskog fakulteta u Subotici, str. 88.
- [9] Katz W.R., Parlange B.M., Naveau P. (2002) Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources* 25: 1287–1304.
- [10] Lakatos M. et al. (2011) Data homogenisation in CarpatClim project. Proceedings of 7th Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and COST ES-0601 “HOME” Action Management Committee and Final Meeting, Budapest, Hungary, 24 – 28 October 2011.
- [11] Mishra K.A., Singh P.V. (2011) Drought modeling-A review. *Journal of Hydrology* 403(1-2): 157–175.
- [12] Nešković-Zdravić V., Zelenhasić E., Srđević B. (1989) Režim ekstremnih beskišnih perioda vegetacione sezone u Vojvodini i Mačvi, *Vodoprivreda* 21: 43–52.
- [13] Pavlović D., Vukmirović V. (2010) Statistička analiza maksimalnih kratkotrajnih kiša metodom godišnjih ekstrema. *Vodoprivreda* 42: 137–148.
- [14] Rajić M., Bezdan A. (2012) Contribution to research of droughts in Vojvodina Province. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 7(1): 101–107.
- [15] Rajić M., Rajić M. (2015) Prosečne padavine na području Bačke. *Letopis naučnih radova* 29 (1): 178–186.
- [16] Salvai A., Srđević B., Zelenhasić E. (1990): Male vode većih panonskih reka, *Vodoprivreda* 22: 403–417.
- [17] Spinoni J. and the CARPATCLIM project team (39 authors) (2014): Climate of the Carpathian Region in 1961-2010: Climatologies and trends of ten variables. *Int. Journal on Climatology*, Article first published online: 12 June 2014. 2014. DOI: 10.1002/joc.4059.
- [18] Smith M., Goodchild M., Longley P. (2010): *Geospatial Analysis - a comprehensive guide*. 3rd edition.  
<http://www.spatialanalysisonline.com/output/>
- [19] Srđević B., Srđević Z. (2016) Vodoprivredna sistemska analiza sa primenama u menadžmentu vodnih resursa, str. 321. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [20] Srđević B. (1989): ZTDRS - Computer program for streamflow drought analysis by the ZT method, Proc. and Program Catalogue, 2nd International Software Exhibition for Environmental Science and Engineering, 73-77, Como, Italy, 1989.
- [21] Srđević B., Zelenhasić E. (1985): Analiza stohastičkog procesa obilnih jednodnevnih kiša u Beogradu, *Vode Vojvodine* 1985, str. 319-332, Novi Sad, 1985.
- [22] Steinemann C.A. (2006) Using Climate Forecasts for Drought Management. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45(10): 1353-1361.
- [23] Szalai S., Konkolyé-Bihari Z., Lakatos M., Szentimrey T. (2013): The CARPATCLIM project. High-resolution database of the Carpathian Region. Seminar on Environmental Problems. Szent Istvan University. (na mađarskom)
- [24] Szalai S., Antofie T., Barbosa P., Bihari Z., Lakatos M., Spinoni J., Szentimrey T., Vogt J. (2012) The CARPATCLIM project: creation a gridded Climate Atlas of the Carpathian Region for 1961-2010 and its use in the European Drought Observatory of JRC, 12th EMS Annual Meeting and 9th European Conference on Applied Climatology (ECAC), Lodz, Poland, 10–14 September 2012.
- [25] Tabrizi A.A., Khalili D., Kamgar-Haghighi A.A., Zand-Parsa S. (2010) Utilization of Time-Based Meteorological Droughts to Investigate Occurrence of Streamflow Droughts. *Water Resources Management* 24 (15): 4287–4306
- [26] Tallaksem L.M., Madsen H., Clausen B. (1997) On the Definition and Modelling of Streamflow Drought Duration and Deficit Volume. *Hydrological Sciences Journal* 42(1): 15–33.

- [27] Todorović P., Woolhiser D.A. (1972) On the Time When the Extreme Flood Occurs. *Water Resources Research* 8(6): 1433-1438.
- [28] Todorović P. (1970) On Some Problems Involving Random Number of Random Variables. *Annals of Mathematical Statistics* 11(3).
- [29] Todorović P., Zelenhasić E. (1970) A Stochastic Model for Flood Analysis. *Water Resources Research* 6(6): 1641–1648.
- [30] Zelenhasić E. (2002) On the extreme streamflow drought analysis. *Water Resources Management* 16(2): 105–132.
- [31] Zelenhasić E. and Salvai A. (1987) A Method of Streamflow Drought Analysis. *Water Resources research* 23(1): 156 – 168.
- [32] Zelenhasić E., Salvai A., Srđević B. (1987) Stochastic Streamflow Drought Analysis of the Tisza River, *J. of the Hungarian Hydrological Society (Hidrologiai Kozlony)* 67(1): 8–17 (na mađarskom).
- [33] Zelenhasić E., Salvai A., Srđević B., Pantić M. (1986) Stohastička analiza malih rečnih voda, Posebna izdanja Instituta za uređenje voda, Sveska 4, str. 173, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [34] Zelenhasić E. (1970) A stochastic model for flood analysis. Ph.D. dissertation. Colorado State Univeristy, Fort Collins, USA.
- [35] Zelenhasić E. (1970) Theoretical probability distributions for flood peaks. *Hydrology Paper* No. 42, Colorado State University, Fort Collins, USA, 35 p.

## STOCHASTIC ANALYSIS OF RAINLESS PERIODS (DROUGHTS) IN SERBIA FOR THE PERIOD 1961-2010, BASED ON ZELENHASIĆ-TODOROVIĆ METHOD

by

Bojan SRĐEVIĆ, Pavel BENKA, Zorica SRĐEVIĆ, Milica RAJIĆ  
University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department for Water Management, Novi Sad, Serbia

*In the memory of Prof. Dr. Emir Zelenhasić  
and his scientific contribution to  
meteorology and water management in Serbia*

### Summary

The article presents modeling approach and stochastic analysis of rainless periods during the vegetation season April-September for the territory of the Republic of Serbia. The Zelehnasić-Todorović method (ZT) is used for complete stochastic description of extreme intermittent processes in hydrology and meteorology. Data related to daily rainfalls for the 50-years period (1961-2010) for 20 evenly distributed locations in Serbia were obtained from climatic data bases for the Danube region. By using daily rainfall data, periods longer than 20 days without rain (assuming that days with less than 3 mm of rain are also rainless) are identified as mutually independent stochastic events.

These events are then used to compute empirical and theoretical (by ZT method) distributions of number of droughts, drought durations and durations of longest droughts. Several representative maps of droughts with different return periods, as well as the comments of results and additional analyses, are given in the article. Computations and mapping are performed by using originally developed DROUGHTS software and standard GIS tools.

Key words: rainless periods, droughts, stochastic analysis of extremes, ZT method

Redigovano 6.11.2018.