

Prethodno priopćenje | Preliminary Report | UDK: 556.121  
Primljeno (Received): 23. 2. 2009. | Prihvaćeno (Accepted): 13. 7. 2009.

# ANALIZA KOLIČINA OBORINA UNUTAR RAZLIČITIH VREMENSKIH INTERVALA

**Dr. sc. Josip Juras, dipl. ing. fiz.**  
Geofizički odsjek PMF-a,  
Horvatovac bb,  
10 000 Zagreb,  
juras@irb.hr

**Ksenija Cindrić, dipl. ing. fiz.**  
Državni hidrometeorološki  
zavod, Grič 3, 10 000 Zagreb

Oborina je jedna od najvažnijih veličina pri analizama u različitim studijama, a osobito u vodnom gospodarstvu. U radu su izložene metode praćenja anomalija količina oborina na različitim vremenskim skalama, od jednog dana do godinu dana. Za opis osobina količina oborine na dnevnoj i višemjesečnoj skali je primijenjena normalna razdioba drugog korijena. Na nekoliko primjera je detaljno opisan izračun parametara razdiobe u slučajevima kada se raspolaže samo s podacima o srednjim mjesečnim količinama oborine i njihovim standardnim devijacijama. Preporučene su i neke druge statističke razdiobe ako se raspolaže s podacima o dnevnim količinama oborine. Uz to, dan je i kratki osvrt na sadašnje stanje monitoringa oborina na web stranicama kao i mogućnost upotrebe podataka iz međunarodnih baza podataka u analizi oborinskih prilika u našim krajevima.

#### Ključne riječi:

promjenjivost oborine, praćenje anomalija, NDK razdioba, SPI, percentil

## 1. UVOD

Poznavanje količina oborine od ključne je važnosti u različitim područjima. Nažalost, raspoložive informacije o njima su često vrlo oskudne. Uzrok je tome prvenstveno velika prostorna i vremenska promjenjivost oborine. Stoga podaci o oborini za jednu točku ne moraju biti reprezentativni i za šire područje. Pri različitim primjenama podataka o količinama oborine postavljaju se raznovrsni zahtjevi pri analizi mjernih podataka. Radi grube orijentacije o oborinskom režimu pojedinog područja, često je dovoljno raspolagati podacima o srednjim mjesečnim vrijednostima količina oborine. Međutim, za detaljnije poznavanje oborinskog režima broj potrebnih podataka se jako uvećava. Na većini meteoroloških postaja se mjerenja količina oborine obavljaju u intervalima od 24 sata. Takva vremenska rezolucija za pojedine primjene je suviše gruba. U brojnim primjenama su nužni podaci o intenzitetima oborine unutar intervala manjih od jednog sata. Klimatološki podaci o količinama oborine unutar vremenskih intervala različitih duljina predstavljaju osnovu pri planiranjima i projektiranjima u različitim djelatnostima. U nedostatku pouzdanih dugoročnih prognoza, višegodišnje srednje vrijednosti služe i kao najpouzdanija procjena količina oborine koje se mogu očekivati u neposrednoj budućnosti. Oni također služe da se u svakom pojedinačnom slučaju pomoću njih ocijeni odstupaju li bitno izmjerene količine oborina od prosječnih vrijednosti. Namjena ovog rada je da prikaže jedan od načina kojima se mogu ocijeniti odstupanja iznosa količina oborine u nekom željenom razdoblju duljine od jednog dana pa do godinu dana, a da se pri tome služimo samo s najčešće jedino dostupnim, višegodišnjim podacima o mjesečnim količinama oborine.

U sljedećem odlomku se na jednom primjeru razmatraju različite mogućnosti praćenja odstupanja izmjerenih količina oborine od prosječnih vrijednosti. U trećem odlomku se daje prikaz normalne razdiobe drugog korjena za koju se na temelju provedenih istraživanja u danom radu pokazalo da dobro opisuje osobine podataka o količinama oborine. U četvrtom odlomku je pokazano

da se za jedan od parametara te razdiobe može uzeti približno ista vrijednost za sve podatke o količinama oborine bez obzira na duljinu razdoblja unutar koje su te oborine pale. U petom odjeljku se razmatra praćenje anomalija na višemjesečnoj skali, a zaključci su dani u šestom odjeljku.

## 2. UOBIČAJENE METODE PRAĆENJA ANOMALIJA KOLIČINA OBORINE

Pri ocjeni palih količina oborina na nekoj lokaciji nužno se moramo osloniti na višegodišnje prosječne vrijednosti. Tek usporedbom izmjerenih vrijednosti s prosječnim vrijednostima može se dobiti predodžba o tome jesu li pale količine primjerene za tu lokaciju (i za taj dio godine) ili postoji osjetan manjak (ili višak) oborina. Veličina odstupanja od prosječnih vrijednosti se može iskazati pomoću razlike ili omjera opaženih i prosječnih vrijednosti. U **tablici 1.** su navedene mjesečne i godišnja količina oborine na postaji Zagreb-Grič za 1978. godinu kao i pokazatelji njihove varijacije za razdoblje 1961–2000. Iz usporedbe vidimo na primjer da je u lipnju 1978. godine palo oko 35 mm oborine manje od prosječne količine za taj mjesec, odnosno pala količina oborine čini oko 60% prosječne vrijednosti. Međutim, obje ove veličine ne daju nam odgovor na pitanje je li ovakav manjak oborina na ovoj postaji uobičajena pojava ili su se takvi slučajevi u prošlosti rijetko pojavljivali. Zbog toga je uobičajeno da se količine oborina (a i drugi klimatski elementi) promatraju uspoređujući ih sa svim izmjerenim vrijednostima u prošlosti. Rang koji promatrana vrijednost ima u skupu svih ostalih izmjerenih vrijednosti tijekom višegodišnjih mjerenja daje nam najbolju predodžbu o tome je li ta vrijednost izuzetno rijetka ili sasvim uobičajena za to podneblje. Od prvih početaka globalnog monitoringa mjesečnih anomalija meteoroloških elemenata, u izvještajima CLIMAT (<http://www7.ncdc.noaa.gov/IPS/mcdw/mcdw.html>) se brojkama od 1 do 5 označava kojoj kvintili empiričke razdiobe pripada navedena vrijednost količine

**Tablica 1:** Mjesečne i godišnja količina oborine za 1978. godinu u usporedbi s pripadnim srednjim vrijednostima i odgovarajućim parametrima varijacije iz razdoblja 1961.-2000. na postaji Zagreb-Grič.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	god
$R_{\text{sred}}$ (mm)	49,5	43,4	55,2	64,1	80,5	96,6	87,8	91,2	85,0	76,8	88,1	65,3	883,4
$R_{1978}$ (mm)	45,7	45,0	68,9	53,7	114,4	61,9	115,3	70,3	75,3	52,5	17,0	60,6	780,6
$\Delta R$ (mm)	-3,8	1,6	13,7	-10,4	33,9	-34,7	27,5	-20,9	-9,7	-24,3	-71,1	-4,7	-102,8
$q$ (%)	92	104	125	84	142	64	131	77	89	68	19	93	88
$s$ (mm)	32,8	25,9	23,1	30,3	41,2	32,9	44,4	55,0	41,5	52,8	53,3	32,9	128,9
$C_v$	0,66	0,60	0,42	0,47	0,51	0,34	0,50	0,60	0,49	0,69	0,61	0,50	0,15

$R_{\text{sred}}$ : srednja količina oborine za razdoblje 1961.-2000.;  $R_{1978}$ : količina oborine za 1978. godinu;  $s$ : standardna devijacija (mm);  $C_v$ : koeficijent varijacije;  $\Delta R$ : razlika  $R_{1978}$  i  $R_{\text{sred}}$  (mm);  $q$ : omjer  $R_{1978}$  i  $R_{\text{sred}}$  (%)

oborine. Ovaj način ocjene anomalija zadržao se sve do danas, ali je u stručnim periodičkim publikacijama proširen i detaljnijim ocjenama na osnovi gama razdiobe (Ropelewski i sur.,1985.).

Zbog toga što su razdiobe količina oborine iz relativno kratkih vremenskih nizova vrlo nepravilne, uobičajeno je da im se pridružuju određene statističke razdiobe koje na najbolji mogući način aproksimiraju njihova osnovna obilježja. Na osnovi tako dobivenih razdioba moguće je svakoj izmjerenoj vrijednosti pridružiti odgovarajuću teoretsku kumulativnu čestinu ili percentil koji možemo interpretirati kao rang (ili redni broj mjesta) koji bi ta vrijednost imala u hipotetskom nizu od sto vrijednosti skupa koje ta razdioba opisuje.

Takav način opisivanja anomalija mjesečnih količina oborina široko je prihvaćen pri analizi globalnih (Climate Diagnostic Bulletin) i regionalnih (Bilten Državnog hidrometeorološkog zavoda) mjesečnih količina oborina. Nažalost, takav oblik nije jednostavno primijeniti za količine oborina za razdoblja koja se ne poklapaju s kalendarskim mjesecima. Za svako takvo razdoblje i za svako mjesto trebalo bi odrediti pripadnu teoretsku razdiobu količina oborine, što ne samo da je opsežan posao, već i zbog nedostatnih podataka često nije ni moguće. Zbog toga je cilj ovoga rada izložiti jedan od mogućih načina da se do teoretskih razdioba količina oborina za bilo koji interval akumulacije oborina, od jednog dana pa do godine dana, dođe na osnovi statistika iz mjesečnih količina oborina koje su najčešće i jedino dostupne.

### 3. TRANSFORMACIJE KOLIČINA OBORINA NA NORMALNU RAZDIOBU

Postoji vrlo veliki broj statističkih razdioba kojima se mogu analitički prikazati skupovi podataka o količinama oborina od kojih se najčešće koristi gama razdioba (Bonacci,1994.). Pomoću transformacije logaritmiranjem ili drugim i trećim korijenom, moguće je postići da skup tako transformiranih vrijednosti ima normalnu razdiobu (Hinkley, 1977.). Ovdje ćemo se koristiti normalnom razdiobom drugog korijena (NDK) čije su osobine detaljno opisane u radu Juras (1994.). Svakoju vrijednosti slučajne varijate  $x$  (u ovom slučaju količini oborine) može se pridružiti odgovarajuća vrijednost standardne normalne razdiobe  $t$  prema relaciji:

$$x = \delta(t - t_0)^2 \quad (1)$$

gdje su  $\delta$  i  $t_0$  parametri razdiobe. Do njihovih procjena dolazi se pomoću sljedećih relacija za prvi i drugi moment oko ishodišta te razdiobe

$$m_x = \delta \left[ Q(t_0)(1 + t_0^2) - t_0 Z(t_0) \right] \quad (2)$$

$$= \delta^2 \left[ Q(t_0)(t_0^4 + 6t_0^2 + 3) - (t_0^3 + 5t_0) Z(t_0) \right] \quad (3)$$

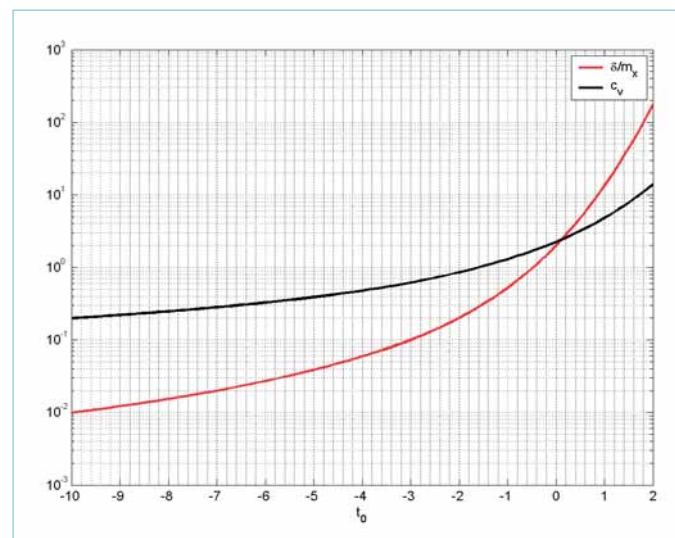
u kojima je  $Q(t_0)$  integral krivulje normalne razdiobe desno od apscise  $t_0$ , a  $Z(t_0)$  ordinata krivulje u toj točki. U izrazu za koeficijent varijacije:

$$C_v = \sqrt{\frac{\mu_2'}{m_x^2}} - 1 \quad (4)$$

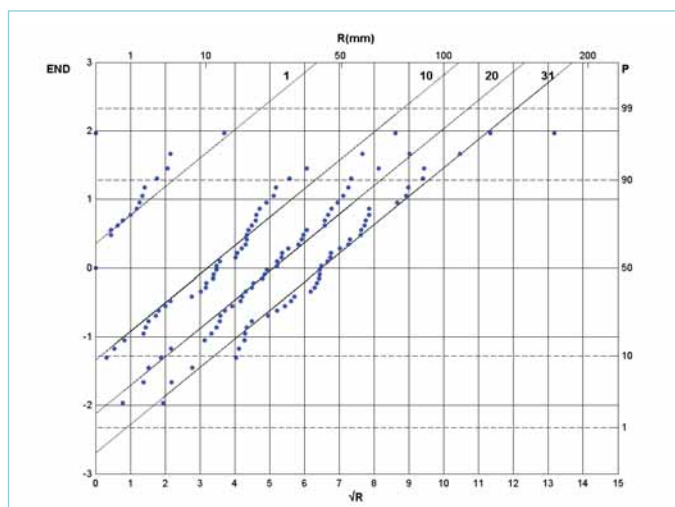
koji je definiran omjerom standardne devijacije i srednjaka, moguće je iteracijom odrediti parametar  $t_0$ , a zatim iz relacije za srednjak (2) i parametar  $\delta$ . Važno je napomenuti da se pri izračunavanju srednjaka i standardne devijacije temeljnog skupa uzimaju i podaci kada nije bilo oborina, dok se kod obične gama razdiobe i log-normalne razdiobe ovi podaci promatraju odvojeno. Parametar  $t_0$  označava ekvivalentnu normalnu devijatu (END) koja daje procjenu  $P(t_0)$  slučajeva kada nije bilo oborina ( $x=0$ ).

Pomoću dijagrama na slici 1 moguće je ove parametre odrediti grafičkim putem. Na osnovi poznate vrijednosti koeficijenta varijacije na krivulji označenoj s  $C_v$  odredi se pripadna točka. Apscisa te točke određuje vrijednost parametra  $t_0$  dok se pomoću druge krivulje određuje vrijednost omjera  $\delta/m_x$ . Množenjem te vrijednosti sa srednjakom ( $m_x$ ) dolazi se do veličine  $\delta$ .

Na dijagramu kojem su os apscisa drugim korijenom transformirane vrijednosti količina oborina, a os ordinata END, točke koje predstavljaju pojedina mjerenja ležat će približno na pravcu. Iz slike 2 na kojoj su prikazane NDK razdiobe dnevnih, 10-dnevnih, 20-dnevnih i mjesečnih količina oborine u siječnju u Zagrebu može se uočiti da pravci relativno dobro aproksimiraju ove razdiobe, osim ekstremnih vrijednosti. U cijelom razdoblju mjerenja oborine u Zagrebu od 1862. do 2009. nije u siječnju izmjerena količina veća od 173,5 mm koliko je izmjereno



Slika 1: Nomogram za određivanje parametara normalne razdiobe drugog korijena,  $t_0$  i  $\delta/m_x$  kao funkcije koeficijenta varijacije  $C_v$ .



Slika 2: Razdiobe jednodnevnih, desetodnevnih, dvadesetodnevnih i mjesečnih količina oborine u siječnju za postaju Zagreb-Grič u razdoblju 1961.-2000. prikazane u dijagramu normalne razdiobe s nelinearnom skalom osi apscisa.

u siječnju 1984. godine. Teorijski povratni period za tako veliku količinu je preko 500 godina. Zbog toga točka koja odgovara tom podatku leži daleko od pripadnog pravca. Druga najveća vrijednost od 111 mm izmjerena je u siječnju 1979. i bit će razmatrana u daljnjem tekstu.

Postupak određivanja parametara NDK razdiobe za pojedine podintervale, na osnovi parametara mjesečnih količina oborina, opisat ćemo na sljedećem primjeru. Mjesečne količine oborine na postaji Zagreb-Grič u siječnju imaju srednju vrijednost  $m_x (= R_{sred}) = 49,5$  mm i  $C_v = 0,66$  (tablica 1). Na osnovi tih vrijednosti mogu se pomoću relacija (2) do (4) ili slike 1 odrediti parametri NDK razdiobe. Naime, vrijednosti  $C_v = 0,66$  pripadaju vrijednosti  $t_0 = -2,746$ . i  $\delta/m_x = 0,117$  iz čega slijedi  $\delta = 5,791$ . Uzmemo li tu vrijednost za  $\delta$ , kao zajedničku za sva razdoblja kraća od mjesec dana, tada će za dekadne količine srednjak biti 10/31 mjesečnoga srednjaka, a omjer  $\delta/m_x$  će biti 0,363. Toj vrijednosti omjera odgovara  $C_v = 1,11$  i parametar  $t_0 = -1,338$ , što potpuno definira razdiobu. Ta vrijednost parametra  $t_0$  predstavlja odsječak na osi apscisa pravca koji opisuje dekadne količine oborina, a nagib pravca određen je zajedničkim parametrom  $\delta$ . Na sličan se način dobivaju vrijednosti koeficijentata varijacije i parametara  $t_0$  i za ostale podintervale. Pomoću dobivenih parametara  $t_0$  za pojedine podintervale, a s jednakim parametrom  $\delta$ , iz jednažbe (1) se dobivaju ostali pravci koji opisuju razdiobe količina oborina za odabrane podintervale. Ovakva pretpostavka da svi podintervali unutar jednoga mjeseca imaju isti parametar  $\delta$ , jednako je aproksimativna kao i uobičajena pretpostavka da svi podintervali jednake duljine unutar jednog mjeseca imaju isti srednjak. Ona nam međutim omogućava da isključivo na osnovi srednjaka i standardnih devijacija mjesečnih količina (koji su najčešće i jedino dostupni) procijenimo razdiobe količine oborina unutar bilo kojeg vremenskog intervala.

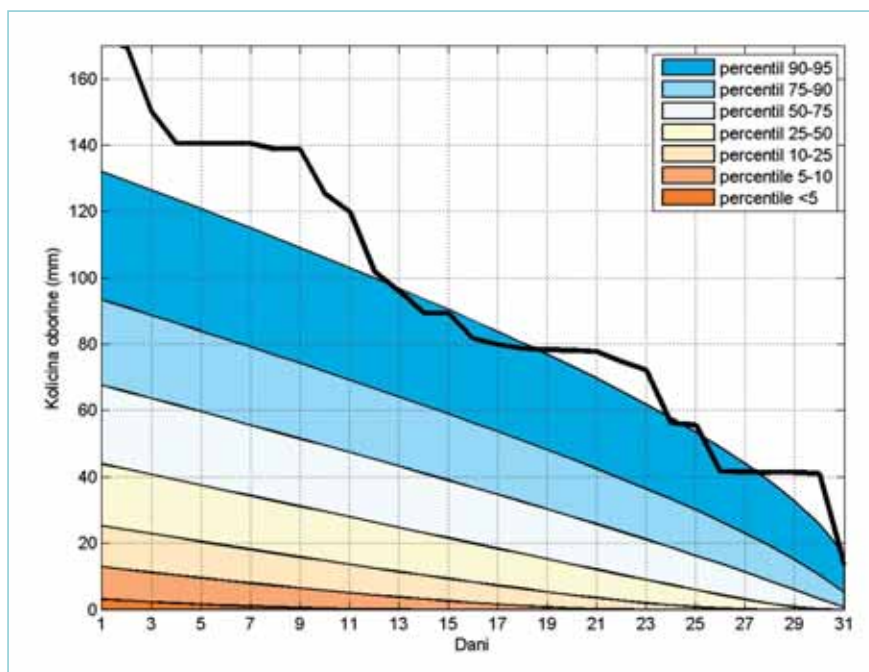
#### 4. PRAĆENJE ANOMALIJA KOLIČINA OBORINA

U uvodu je istaknuto da u različitim područjima ljudske aktivnosti postoji potreba da se ocijene iznosi količina oborine pale na nekoj lokaciji ili na većem području. Tako npr. u pojedinom slučaju će nas zanimati trenutni intenzitet oborine iznad pojedinih dijelova gradskog područja da bi ocijenili opasnost od mogućih izljeva kanalizacije, u drugom pak slučaju zanimat će nas ukupna količina oborine u proteklih tjedan dana da bi u slučaju osjetnijeg manjka primijenili mjere navodnjavanja pri intenzivnom uzgoju pojedinih poljoprivrednih kultura. Isto tako, naoko mali deficiti mjesečnih količina oborine, ali koji su se javili kroz nekoliko uzastopnih mjeseci mogu dovesti do ozbiljnijih poremećaja u potrebama za vodom, ne samo kod biljaka, već i kod zaliha podzemnih voda. Iz toga slijedi da postoji potreba da u svakom trenutku raspoložemo podacima o ukupnim količinama oborina u proteklom razdoblju. Da bi lakše interpretirali takve podatke najčešće ih uspoređujemo s prosječnim vrijednostima za dotično mjesto i doba godine.

Uobičajeno iskazivanje anomalija pomoću razlika ili postotka u odnosu na normalne vrijednosti, nije uvijek najprikladnije. Manjak oborina od 30%, ako se on pojavi kod mjesečnih količina, može proći bez ikakvih ozbiljnijih posljedica, međutim isti takav manjak iskazan u postocima, ali za razdoblje od godine dana sigurno neće proći nezapaženo. Manjak (ili višak) količina oborine iskazan u apsolutnim iznosima također nije jednostavno protumačiti. Zbog toga je pri ocjeni neke konkretne količine oborine najprikladnije promatrati ju u sklopu svih do tada istovrsnih količina koje su izmjerene u tom mjestu u tom dijelu godine. Ukoliko je razmatrana količina između nekoliko najviših ili najnižih vrijednosti u dugogodišnjem nizu opažanja, to upućuje na mogućnost ozbiljnijih negativnih posljedica koje može izazvati takva ekstremna količina oborine. U većini slučajeva takvim dugogodišnjim podacima ne raspoložemo pa smo prisiljeni osloniti se na približne procjene na osnovi statističkih razdioba.

Do pouzdanih statističkih razdioba možemo doći već na osnovi podataka iz relativno kratkog razdoblja mjerenja od dvadesetak ili tridesetak godina. Najčešći oblik u kojem nam ti podaci stoje na raspolaganju su mjesečne količine oborine u pojedinim godinama. Na osnovi njih smo u mogućnosti da svakoj vrijednosti količina oborine pridružimo vrijednost percentile koja označava redni broj (ili rang) koje bi ta vrijednost imala u jednom zamišljenom skupu izmjerenih količina tijekom razdoblja od sto godina. Visoke vrijednosti percentila (>90) upućuju na razdoblja s relativno obilnim oborinama. Isto tako niske vrijednosti percentila (<10) upućuju na izrazito sušna razdoblja. Glavna prednost percentila je da na jednoj jedinstvenoj skali (od 0 do 100) možemo ocijeniti anomalije količina oborina koje su





Slika 3: Kumulativne količine oborine (mm) od 31. do 1. siječnja 1979., za meteorološku postaju Zagreb-Grič (debeli linija) i krivulje teorijskih percentila za razdoblje 1961.-2000.

pale unutar različitih vremenskih intervala, u različitim dijelovima godine i u različitim klimatskim područjima.

Na sljedećem primjeru prikazat ćemo jedan od mogućih načina praćenja količina oborina. Slika 3 prikazuje akumulirane izmjerene količine oborine u siječnju 1979. godine na postaji Zagreb-Grič, počevši od kraja mjeseca. Ova godina izabrana je za primjer kao godina u kojoj je siječanj bio ekstremno kišan, a i protoci Save kod Zagreba te godine bili su do sada najveći za to godišnje doba (Trninić, 1981.; Trninić, 1997.). Glatke krivulje predstavljaju teorijske (5., 10., 25., 50., 75., 90. i 95.) percentile za siječanj koje omogućuju uočavanje količina oborina koje su bile znatno iznad ili ispod prosječnih vrijednosti. Te krivulje su dobivene primjenom normalne razdiobe drugog korijena na način opisan u poglavlju 3. Ordinate tih krivulja za razdoblje od 1, 10, 20 i 31 dan mogu se dobiti iz presjecišta pravaca razdioba na slici 2 s odgovarajućim pravcima percentila. Budući da nas obično najviše zanimaju ukupne količine oborine koje su pale u neposrednoj prošlosti, primjerenije je za ishodišnu točku vremenske osi (apscisa) uzeti datum posljednjeg podatka, a ne neki fiksni datum (prvi ili posljednji dan mjeseca, sezone ili godine).

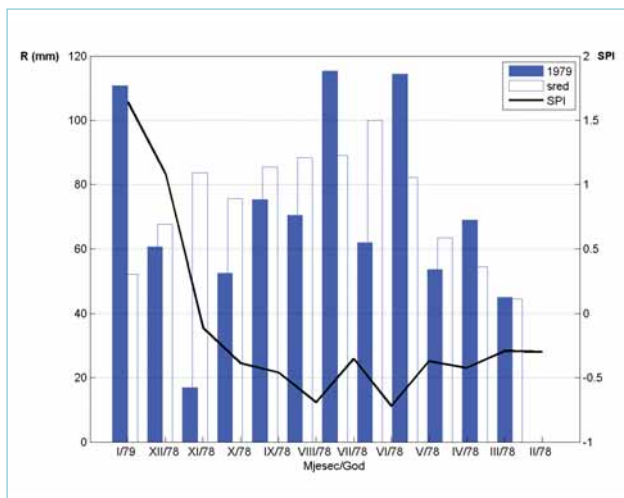
Međutim, pri interpretaciji prekoračenja ekstremnih percentila ipak je potreban stanoviti oprez. Za jednodnevne količine oborine tijekom jednog normalnog mjeseca možemo očekivati da će u 10% slučajeva (odnosno u tri dana) prekoračiti količinu koja odgovara 90. percentilu. Međutim, u jednom takvom tipičnom mjesecu obično neće biti nijednog slučaja da višednevne sume količina oborine prekorače prag pripadne 90. percentile. Takvi slučajevi javljaju se vrlo rijetko, u izrazito kišnim mjesecima, ali tada u velikom broju uzastopnih dana. Prema tome, i na osnovi percentila nije

jednostavno ocijeniti u svakom pojedinom slučaju koliko su te količine ekstremne i koje su moguće negativne posljedice koje takvi ekstremi mogu izazvati. Ipak, takav način izražavanja anomalija količina oborina izgleda nam pogodniji negoli pomoću razlika ili omjera u odnosu na prosječne količine.

## 5. ANALIZA VIŠEMJESEČNIH KOLIČINA OBORINE

U mnogim djelatnostima, osim poljoprivrede, manji manjkovi ili viškovi ukupnih mjesečnih količina oborine obično nemaju većih posljedica. Međutim, i relativno mali manjkovi mjesečnih količina, ako se oni javljaju u nizu uzastopnih mjeseci, mogu dovesti do ozbiljnih posljedica pri vodoopskrbi, planovima korištenja vodnih zaliha, nivoima podzemnih voda i sličnom. Zbog toga je praćenje i ocjena količina oborine za dulja vremenska razdoblja posebno važno, a što se između ostaloga iskazuje i na način da je možda i više prisutno na internetskim stranicama meteoroloških službi negoli praćenje dnevnih količina.

Postupak izražavanja anomalija višemjesečnih količina potpuno je isti kao i onaj koji smo izložili u prethodnom odjeljku. Količini oborine, u nekom razdoblju od više mjeseci, pomoću određene statističke razdiobe (najčešće gama razdiobe) pridružuje se odgovarajuća kumulativna čestina (percentil). U SAD-u je uobičajeno da se tako dobiven percentil transformira u standardni oborinski indeks (standard precipitation index ili kratica SPI) (McKee i sur., 1993.). Ova se inverzna transformacija obavlja pomoću normalne razdiobe. Razlozi za ovaj na prvi pogled kompliciran postupak mogli bi se objasniti na sljedeći način. Većini je ljudi pojam standardne devijacije



Slika 4: Izmjerene količine oborina od siječnja 1979. unazad do veljače 1978. godine (puni stupci), pripadne srednje vrijednosti iz razdoblja 1951.-2000. (prazni stupci) i vrijednosti SPI na postaji Zagreb -Grič.

mного bliži negoli pojam percentila. S druge pak strane, pri grafičkom prikazu na skali od 0 do 100 razlika u percentilima 95 i 98 je relativno mala i iznosi 3% raspona. Na SPI skali, koja obično ide od -2.5 do +2.5, ta razlika iznosi 0.4, što je blizu deset postotaka cijelog raspona. Napomenimo da te navedene hipotetske količine oborina imaju bitno različite povratne periode: prva 20, a druga 50 godina. Zbog toga se pomoću veličine SPI daleko bolje mogu prikazati vremenske promjene anomalija količina oborina u području ekstrema, koji nas obično i najviše zanimaju. Naše je mišljenje da korisnicima treba pružiti informacije o količinama oborinama u obliku svih uobičajenih načina: izmjerene vrijednosti (mm), odstupanja od prosjeka (mm), relativnom iznosu u odnosu na srednjak (%), percentili i SPI.

U sljedećim primjerima analize višemjesečnih količina oborina upotrijebit ćemo također normalnu razdiobu drugog korijena za izračun SPI. Zanimljivo je napomenuti da pri određivanju razdiobe višemjesečnih količina oborina nije nužno poznavanje višegodišnjih nizova opažanja. Slično kao i za unutarmjesečne intervale, gdje smo uzeli da se parametar  $\delta$  iz mjesečnih može uzeti kao približna procjena i za bilo koji podinterval uključujući i dnevne količine, kod višemjesečnih količina se može uzeti aproksimacija da je varijanca višemjesečnih količina jednaka zbroju odgovarajućih mjesečnih varijanci. Naime, varijanca zbroja može se izraziti relacijom:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \rho_j \sigma_i \sigma_j \quad (5)$$

gdje je  $\sigma_i^2$  varijanca  $i$ -tog mjeseca, a  $\rho_{ij}$  koeficijent korelacije između količine oborine  $i$ -tog i  $j$ -tog mjeseca (Wilks, 2006.). Pokazalo se da su koeficijenti autokorelacije između mjesečnih vrijednosti u našim krajevima relativno

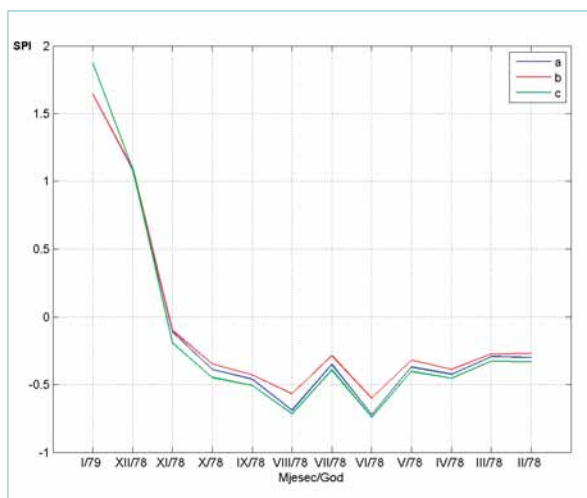
mali, a ponekad i suprotnih predznaka te se dvostruka suma u izrazu (5) obično može zanemariti (Juras, 1995.).

Promjenjivost količina oborina za razdoblja dulja od mjesec dana može se odrediti i na drugi način, da se za višemjesečna razdoblja uzme srednjak mjesečnih parametra  $\delta$ , čime je uz srednju vrijednost potpuno određena razdioba. Ovaj drugi način, koji je znatno jednostavniji od prvog, pokazao se dovoljno pouzdan, naročito za mjesta gdje su godišnje promjene ovog parametra relativno male. Za oba se načina pokazalo da takve procjene u većini slučajeva podcjenjuju stvarnu međugodišnju promjenjivost količina. U to se lako uvjeriti ako se zbroje varijance svih mjesečnih količina, jer je tako dobivena vrijednost najčešće manja od varijance godišnjih količina. To upućuje na zaključak da slijed vlažnih i sušnih mjeseci nije sasvim slučajna, već postoji blaga tendencija da se isti predznak anomalija količina oborina dosta često pojavljuje u više uzastopnih mjeseci.

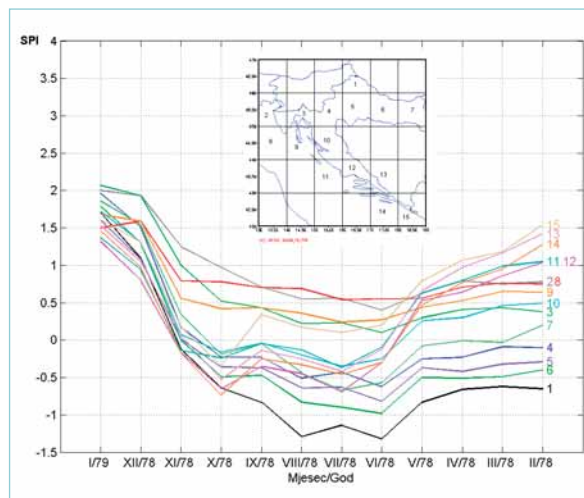
Na slici 4 su prikazane izmjerene količine oborine od siječnja 1979. unazad 12 mjeseci (do veljače 1978. godine) na postaji Zagreb-Grič i pripadne prosječne količine koje čine osnovu za izračunavanje SPI. Slikom se želi ilustrirati da interpretacija grafikona SPI nije jednostavna. Promjene veličine SPI pokazuju da je siječanj 1979. nadprosječno kišovit. Međutim, zbog dugotrajnog manjka mjesečnih količina oborina za razdoblje od srpnja do siječnja, indeks pokazuje manjak oborina u tom razdoblju. Dakle, dobila se informacija da sušno razdoblje nije prekinuto, već samo ublaženo obilnim oborinama u siječnju. To je posebno važno za korisnike koje prvenstveno zanimaju dugoročne zalihe voda (vodoopskrba, hidroenergetika).

Slika 5 prikazuje vrijednosti SPI za isto razdoblje kao na slici 4, izračunate na tri različita načina. Krivulja (a) izračunata je pomoću NDK razdiobe uz standardne devijacije određene za svako razdoblje posebno. Krivulja (b) je izračunata na osnovi približnih standardnih devijacija procijenjenih iz standardnih devijacija za mjesečne vrijednosti. Konačno, krivulja (c) je izračunata prema metodi kako se koristi u Joint Research Center-u (<http://desert.jrc.ec.europa.eu/>), gdje je SPI definiran kao standardizirana normalna devijata, što je po našem mišljenju vrlo gruba aproksimacija. Procjene koje su se osnivale na aproksimativnim vrijednostima izračunatim iz varijanci mjesečnih količina ne razlikuje se bitno od procjena SPI na osnovi poznavanja varijanci za svako razdoblje posebno. Naprotiv, na krivulji (c) vrijednost SPI za jedan mjesec (SPI1) je znatno veća, nego kod ostalih krivulja, jer metoda ne uvažava asimetričnost razdioba mjesečnih količina.

Prije nekoliko godina osnovan je Centar za kontrolu suše za jugoistočnu Europu (Drought Management Center for South Eastern Europe – DMCSEE). Njegov dosadašnji rad je relativno skroman i osniva se uglavnom na analizi kumulativnih mjesečnih količina oborine pomoću indeksa SPI, koristeći se podacima GPCC (Global Precipitation Climatology Center). Ovaj potonji



Slika 5: Vrijednosti SPI za razdoblje od siječnja 1979. unazad do veljače 1978. godine na postaji Zagreb-Grič izračunate na tri načina: a) primjenom NDK razdiobe sa specifičnim standardnim devijacijama za svako razdoblje posebno b) aproksimativnim izračunom standardnih devijacija i c) izračunom isključivo s normalnom razdiobom.



Slika 6: Vrijednosti SPI za 15 različitih kvadrata iz mreže GPCC-a rezolucije  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  koji prekrivaju Hrvatsku.

Centar, koji je osnovan prije dvadesetak godina u okviru njemačke meteorološke službe, nakon mukotrpnog sakupljanja i kontrole podataka iz cijelog svijeta, danas daje vrijedne podatke koje su svima dostupne u vrlo preglednom obliku <http://gpcc.dwd.de>. Ovdje ćemo na jednom primjeru prikazati kako bi se i za naše područje mogli koristiti podaci GPCC koji su dostupni u realnom vremenu.

Zbog velike prostorne promjenjivosti oborina, da bi se dobila realna slika o anomalijama količina oborina na jednom relativno malom području kao što je Hrvatska, potrebno je analizirati veliki broj podataka s mjernih postaja. Kao dobar početni pokazatelj postoje li u pojedinom području značajne anomalije količina oborina mogu poslužiti podaci GPCC. Ovdje ćemo opisati samo podatke koji su namijenjeni monitoringu mjesečnih količina oborina. Preliminarni podaci za cijelu kopnenu površinu Zemlje dostupni su korisnicima već pet dana nakon kraja mjeseca. Postoje različite gustoće mreže podataka od  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  do  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ . Za svaki takav element mreže (kvadrat) postoje višegodišnji podaci iz razdoblja 1951.-2000. tako da se mogu izračunati parametri statističkih razdioba kako za pojedini mjesec, tako i za bilo koje višemjesečno razdoblje. Petnaestak elemenata veličine  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  pokriva cijelu Hrvatsku. Za sve te kvadrate izračunali smo višemjesečne indekse SPI za razdoblje koje smo već razmatrali na slikama 4. i 5. Kao što se vidi iz slike 6, vrijednosti indeksa i njegove godišnje varijacije mogu se bitno razlikovati od jednog područja do drugog čak i na relativno tako malom području kao što je Hrvatska. Vidimo da na sjevernom Jadranu (kvadranti 2, 3, 8 i 9) nije niti bilo duljeg sušnog razdoblja jer su sve vrijednosti indeksa pozitivne. Dugotrajna suša pogodila je krajnje sjeverno područje Hrvatske (kvadrant 1).

## 6. ZAKLJUČAK

Praćenje količina oborina iz dana u dan, iz mjeseca u mjesec te sekularnih promjena režima oborina potrebno je zbog niza razloga. Posebno su ti podaci važni u ekstremnim situacijama manjka ili viška oborine. U svakom pojedinom slučaju teško je samo na osnovi iznosa količine oborine i intervala vremena unutar kojeg je ta količina pala odrediti je li ta količina uobičajena ili znatno odstupa od prosječne vrijednosti. Zbog toga je potrebno pri procjeni izmjerenu vrijednost staviti u okvir svih prethodno izmjerenih vrijednosti. Ako raspoložemo s dovoljno dugačkim nizom opažanja jednodnevnih količina oborina za neko mjesto, tada smo u mogućnosti da prebrojavanjem odredimo empirički rang za slučaj koji nas zanima. U ovom radu smo pokazali da je za približno slične procijene dovoljno raspolagati podacima o srednjim mjesečnim količinama i pripadnim standardnim devijacijama koji su vrlo često i jedino dostupni. Te su ideje već ranije bile opisane u radu Juras i sur. (1995.). Međutim, potrebno je istaknuti da se procjene razdioba količina oborina za kraća vremenska razdoblja na osnovi srednjih mjesečnih vrijednosti i standardnih devijacija mogu preporučiti samo u slučajevima kada drugih podataka nema ili kada te procjene služe za stjecanje prve predodžbe o tijeku formiranja značajnih duljih razdoblja manjka (ili viška) oborine kao što je to na primjer prikazano na slici 3. Za pouzdanije statističke procjene čestina višednevnih količina oborina mogu se upotrijebiti cenzurirane gama razdiobe (Wilks, 1990.) i složene Poissonove eksponencijalne razdiobe (Alexandersson, 1985.). Izložena metoda također pretpostavlja da su analizirani podaci stacionarni i da mogu poslužiti kao osnova za procjene budućeg oborinskog režima.

Metode monitoringa oborine u Europi nisu još standardizirane. Iako većina zemalja Europske unije

na svojim web stranicama daje prikaze o dnevnim količinama oborine, rijetko se može naći primjer da se one uspoređuju s prosječnim vrijednostima. Zbog toga praćenja količina oborina na način prikazan na [slici 3](#) smatramo glavnim rezultatom ovog rada. ■

## LITERATURA

- Alexandersson, H. (1985.): A simple stochastic model of precipitation process. *J. Climate Appl. Meteor.*, 24, 1285-1295.
- Bonacci, O. (1994.): *Oborina glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*. Geing, Split, Hrvatska.
- Hinkley, D. (1977.): On quick choice of power transformation. *Appl. Stat.* 26, 67-69.
- Juras, J. (1994.): Some common features of probability distributions for precipitation. *Theor. Appl. Climatol.*, 49, 69-76.
- Juras, J., Juras, V., Zaninović, K. (1995.): Praćenje anomalija količina oborina. Održivi razvoj i upravljanje vodama: *Zbornik radova 1. hrvatske konferencije o vodama*, 576, JVP "Hrvatska vodoprivreda", Zagreb.
- Juras, J. (1995.): Metode za procjenu vremenske promjenljivosti količina oborine. Disertacija, Prirodoslovno – matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist (1993.): The relationship of drought frequency and duration to time scale. Preprints, *Eighth Conf. on Applied Climatology*, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- Ropelewski, C., J. Janowiak, and M. Halpert (1985.): The analysis and display of real time surface climate data. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1101-1106.
- Trninić, D. (1981.): Meteorološki i hidrološki uslovi koji dovode do formiranja pojave velikih voda s posebnim osvrtom na 1979. i 1981. godinu. *Vodoprivreda*, 13, 449-454.
- Trninić, D. (1997.): Hydrological analysis of high flows and floods in the Sava River (Croatia): *Proceedings of the Conference Destructive Water: Water-Caused Natural Disasters, their Abatement and Control*. IAHS Publ., 239, 1997.
- Wilks, D. S. (1990.): Maximum likelihood estimation for the gamma distribution using data containing zeros. *Journal of Climate*, 3, 1495-1501.
- Wilks, D. S. (2006.): *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Second Edition. Academic Press, London.

## ANALYSIS OF PRECIPITATION QUANTITIES WITHIN DIFFERENT TIME INTERVALS

**Abstract.** Precipitation is one of the most important climatological elements that is analysed in different studies, particularly those dealing with water management. The paper presents methods for monitoring of the anomalies of precipitation amount at time scales ranging from one day to one year. For description of precipitation amounts on daily up to monthly scales the square-root-normal distribution is applied. Several examples illustrate in detail the calculation of the distribution parameters in cases when only mean monthly precipitation means and standard deviations are available. Some other statistical distributions are recommended in cases when the daily data are at hand. Additionally, a brief overview of the current state of precipitation monitoring according to some web pages is given. The possibility of using the precipitation data from international data bases in order to analyse precipitation feature over Croatia is discussed, too.

**Key words:** variability of precipitation, anomaly monitoring, square-root-normal distribution, SPI, percentile

## DIE ANALYSE DER NIEDERSCHLAGSMENGEN IN VERSCHIEDNEN ZEITINTERVALLEN

**Zusammenfassung.** Der Niederschlag ist eine der wichtigsten Größen in verschiedenen Analysen, insbesondere in wasserwirtschaftlichen Studien. In diesem Beitrag werden die Methoden zum Monitoring von Anomalien der Niederschlagsmengen auf verschiedenen Zeitskalen, von einem Tag bis zu einem Jahr, dargestellt. Zur Beschreibung von Eigenschaften der Niederschlagsmengen auf der Tagesskala sowie der Zeitskala von mehreren Monaten wurde die Quadratwurzeltransformation angewendet, um eine Normalverteilung zu erreichen. An einigen Beispielen wird die Berechnung der Verteilungsparameter in den Fällen beschrieben, wenn nur die Angaben über mittlere monatliche Niederschlagswerte und ihre Standardabweichungen zur Verfügung stehen. Es werden auch andere statistische Verteilungen für die Fälle vorgeschlagen, wenn die Angaben über Tagesniederschlagsmengen auch zur Verfügung stehen. Außerdem wird ein kurzer Überblick über die gegenwärtige Situation im Niederschlagsmonitoring auf Webseiten sowie über die Einsatzmöglichkeiten für die Angaben aus den internationalen Datenbanken in der Analyse von Niederschlagsgegebenheiten in Kroatien gegeben.

**Schlüsselwörter:** Veränderlichkeit des Niederschlags, Monitoring von Anomalien, Normalverteilung, SPI, Perzentil