

NOVA METODA ZA PRORAČUN USLOVNIH VEROVATNOĆA POJAVE KATASTROFALNIH POPLAVA I SUŠA U ISTOJ KALENDARSKOJ GODINI

Prof. dr Stevan PROHASKA, Aleksandra ILIĆ
Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" u Beogradu
Mr. Borislava BLAGOJEVIĆ
Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

REZIME

Osnovna preokupacija ovoga rada je razvoj nove metode za proračun uslovnih verovatnoća pojave ekstremnih hidroloških situacija (katastrofalnih poplava i suša) na prirodnim vodotocima. Naime, sa vodoprivrednog aspekta veoma je značajno poznavanje verovatnoće da će se ekstremne hidrološke situacije, kakve su katastrofalne poplave i suše, pojaviti na istom lokalitetu. Suština ove metode je da se na osnovu raspoloživih serija maksimalanih i minimalnih godišnjih protoka definišu koincidencije pojave ovih događaja u istoj kalendarskoj godini, da se na istom korelacionom polju identifikuju izuzetni ekstremi (outlieri - gornji i donji) i da se na osnovu njih i formiranog dvodimenzinalnog zakona raspodele koincidencije odrede verovatnoće prevazilaženja definisanih identifikovanih konstelacija gornjeg i donjeg ekstrema. Za identifikaciju navedenih izuzetaka (outliera) korišćen je Pilot i Harvey test.

Razrađena nova metoda je korišćena za identifikaciju ekstremnih hidroloških situacija na celoj teritoriji Republike Srbije. Praktična procedura primene nove metode za definisanje uslovne verovatnoće pojave apsolutno minimalnog i maksimalnog protoka u istoj kalendarskoj godini data je za slučaj reke Raške u profilu vodomerne stanice Raška.

Ključne reči: izuzetak (outlier), katastrofalna poplava i suša, uslovne verovatnoće, koincidencija.

1. UVOD

Poplave i suše su stalne pojave koje utiču na civilizaciju kroz istoriju. Njima su pogođena prirodna staništa, ekosistemi i mnogi ekonomski i društveni sektori. Jedan od osnovnih zadataka hidrologa je da,

pojavama katastrofalnih hidroloških situacija, kao što su poplave i suše, posvete izuzetnu pažnju. Posebno je interesantno proanalizirati uzroke sve učestalije pojave ovih događaja, posebno ako se oba ekstremna događaja dešavaju u relativno kratkim vremenskim periodima, a pre svega u toku jedne kalendarske godine.

U vezi sa ovim ovaj rad je posvećen definisanju računске procedure za definisanje uslovnih verovatnoća pojave poplava i suša. Naime, sa vodoprivrednog aspekta veoma je značajno poznavanje verovatnoće da će se poplave i suše desiti u istoj kalendarskoj godini. Razrađena procedura određivanja ovih uslovnih verovatnoća polazi od definisanja koincidencije istovremene (period diskretizacije je jedna kalendarska godina) pojave ekstremnih poplava i suša. U ovom radu za reprezentate poplava i suša usvojene su serije apsolutno maksimalanih i minimalnih godišnjih protoka. Korišćen rezultat koincidencije usvojenih konstelacija promenljivih definisan je grafo-analitički postupak za određivanje uslovnih verovatnoća.

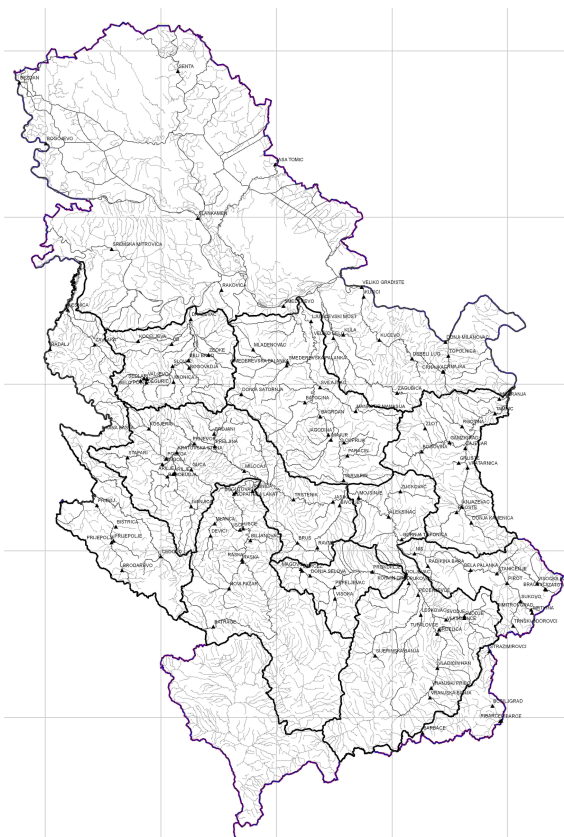
Predmet ovoga rada je razvoj nove metode, odnosno procedure, za proračun uslovnih verovatnoća pojave katastrofalnih hidroloških situacija – poplave i suše u istoj kalendarskoj godini. Razrađena procedura se sastoji u identifikaciji istorijskih događaja outlier-a (poplave i suše) i definisanju njihovih uslovnih verovatnoća. Pored toga metoda omogućuje da se odredi uslovna verovatnoća svake registrovane konstelacije empirijskih tačaka, koje reprezentuju istovremenu (u istoj kalendarskoj godini) poplavu i sušu.

2. ULAZNI PODACI

Analizirane su raspoložive serije podataka ($Q_{\min, \text{god}}$; $Q_{\min, 30 \text{dn}}$; $Q_{\max, \text{god}}$) na hidrološkim stanicama

Hidrometeorološkog zavoda Srbije. Period obrade je jednak periodu osmatranja. Serije sa manje od 25 podataka su izbačene iz analize jer se smatraju nereprezentativnim. Nisu se analizirale ni serije $Q_{\min, \text{god}}$ u kojima se pojavljuju protoci jednaki nuli.

Mreža koju čine 143 hidrološke stanice i jedanaest slivova značajnih vodotokova prikazani su na slici 1.



Slika 1. Mreža analiziranih hidroloških stanica i slivne površine značajnih vodotokova u Srbiji

3. METODOLOGIJA

○ Testiranje izuzetaka - Pilot i Harvey test

U hidrološkoj praksi, istorijski događaji su oni koji značajno prevazilaze susednu vrednost u razmatranim neprekidnim vremenskim serijama. Pilot i Harvey test se koristi za realnu procenu istorijskih događaja (outlier-a) u ekstremnim hidrološkim uslovima (suše i poplave). Pretpostavlja se da kvantitativne karakteristike ovih događaja slede Log-Pearson III (LPT3) funkciju raspodele. Pod takvom pretpostavkom, gornja i donja granica "outlier-a" se računa po formulama (1), (2):

- Gornja granica

$$Y_H = Y_{sr} + K_N S_y \quad (1)$$

- Donja granica

$$Y_L = Y_{sr} - K_N S_y \quad (2)$$

(ukoliko je $-0.4 > C_{sy} > 0.4$)

Gde su:

Y_H - logaritmovana vrednost gornje granice "outlier-a";

Y_L - logaritmovana vrednost donje granice "outlier-a";

Y_{sr} - srednja vrednost logaritmovane serije Y;

$Y = \log X$

X - osmotrena vremenska serija;

S_y - standardna varijacija log serije Y;

C_{sy} - koeficijent asimetrije log serije Y;

K_N - factor frekvence, kritična vrednost za $\alpha=10\%$

N - broj podataka u seriji za koju se računaju statistički podaci.

Faktor frekvence, K_N , se računa pomoću formule (3):

$$K_N = -3,6220 + 6,2844 N^{0.25} - 2,49835 N^{0.5} + 0,491436 N^{0.75} - 0,037911 N \quad (3)$$

Identifikacija istorijskih događaja je procedura koja podrazumeva poređenje empirijskih tačaka sa utvrđenim granicama "outlier"-a. Ukoliko neka empirijska tačka padne izvan granica (donje ili gornje), onda se ona smatra istorijskim događajem verovatnoće $1 - \alpha = 0.90$.

U skladu sa uslovima testa, samo se serije za koje važi $-0.4 > C_{sy} > 0.4$ uzimaju u obzir.

○ Određivanje statističkih parametara i povratni period "outlier"-a

Kako bi se odredio povratni period identifikovanih "outlier"-a potrebno je sprovesti sledeću proceduru jer sračunati statistički parametri ne oslikavaju stvarne karakteristike analiziranog procesa.

Pošto se identifikuju izuzeci potrebno je usaglašavanje u zavisnosti od toga da li su se desili u okviru ili van perioda osmatranja, pod pretpostavkom da se slučajna promenljiva prilagođava Pearson 3 (PT3) ili Log-Pearson 3 (LPT3) zakonu raspodele. Ukoliko se istorijski događaj desio izvan perioda osmatranja, n, i ukoliko nije prevaziđen za period N, onda se empirijske verovatnoće testirane serije P_i ($i=1, 2, 3, \dots, n+1$) određuju na osnovu izraza (4):

$$P_1 = 1/(N+1), P_2 = 1/(n+1), P_3 = 2/(n+1), \\ P_4 = 3/(n+1), \dots, P_{n+1} = n/(n+1) \quad (4)$$

Ukoliko su se desila dva izuzetka, jedan duž perioda osmatranja, n , a drugi izvan tog perioda i ni jedan nije prevaziđen u toku perioda N , onda se empirijske verovatnoće serije P_i računaju po formuli (5):

$$P_1 = 1/(N+1), P_2 = 2/(N+1), P_3 = 3/(n+1), \\ P_4 = 4/(n+1), \dots, P_{n+1} = n/(n+1) \quad (5)$$

Ukoliko postoji samo jedan izuzetak izvan perioda osmatranja a slučajno promenljiva X se prilagođava PT3 raspodeli, onda se statistički parametri računaju po formulama (6), (7), (8):

- Srednja vrednost – $X_{sr,N}$

$$X_{sr,N} = \frac{\left[X_N + (N-1) \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \right]}{N} \quad (6)$$

Gde su:

X_N je vrednost “outlier”-a – slučajno promenljiva X , koja nije prevaziđena za period N , i

X_i su članovi niza osmotrenih podataka za period n .

- Koeficijent varijacije – $C_{v,N}$

$$C_{v,N} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[(k_N - 1)^2 + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2 \right]} \quad (7)$$

Gde su:

$k_N = \frac{X_N}{X_{sr,N}}$ - vrednost modularnog koeficijenta

“outlier”-a,

$k_i = \frac{X_i}{X_{sr,N}}$ - modularni koeficijenti slučajno

promenljivih za period osmatranja.

- Koeficijent asimetrije – $C_{s,N}$

$$C_{s,N} = \frac{N}{(N-1)(N-2)C_{v,N}^3} \cdot \left[(k_N - 1)^3 + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right] \quad (8)$$

Ukoliko su identifikovana dva izuzetka jedan u periodu osmatranja, drugi izvan onda se statistički parametri računaju po formulama (9), (10), (11):

- Srednja vrednost – $X_{sr,N}$

$$X_{sr,N} = \frac{\left[X_N + X_{N-1} + (N-2) \sum_{i=2}^n \frac{X_i}{n} \right]}{N} \quad (9)$$

- Koeficijent varijacije – $C_{v,N}$

$$C_{v,N} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[(k_N - 1)^2 + (k_{N-1} - 1)^2 + \frac{N-2}{n-1} \sum_{i=2}^n (k_i - 1)^2 \right]}$$

- Koeficijent asimetrije – $C_{s,N}$

$$C_{s,N} = \frac{N}{(N-1)(N-2)C_{v,N}^3} \cdot \left[(k_N - 1)^3 + (k_{N-1} - 1)^3 + \frac{N-2}{n-1} \sum_{i=2}^n (k_i - 1)^3 \right] \quad (11)$$

U slučaju pojave istorijskih događaja u vremenskoj seriji proračun osnovnih statističkih parametara za Log Pearson 3 raspodelu vrši se na sledeći način

Težinski faktor – W se određuje na osnovu broja događaja koji su izvan granica “outlier”-a po formuli (12):

$$W = \frac{N-Z}{n+L} \quad (12)$$

Gde su:

Z – broj gornjih izuzetaka

L – broj donjih izuzetaka

U slučaju pojave i gornjeg i donjeg izuzetka, statistički parametri se određuju na osnovu logaritmovanih vrednosti slučajne promenljive X_i (ili na osnovu slučajnih promenljivih Y_i) na sledeći način:

- Srednja vrednost - \overline{Y}_L^*

$$\overline{Y}_L^* = \frac{W \sum_{i=1}^n Y_{i,L} + \sum_{j=1}^Z Y_{j,L}}{N-WL} \quad (13)$$

- Varijansa - $(S_L^*)^2$

$$(S_L^*)^2 = \frac{W \sum_{i=1}^n (Y_{i,L} - \bar{Y}_L^*) + \sum_{j=1}^Z (Y_{j,L} - \bar{Y}_L^*)^2}{N - WL - 1} \quad (14)$$

- Koeficijent asimetrije - G_L^*

$$G_L^* = \frac{N - WL}{(N - WL - 1)(N - WL - 2)} \cdot \left[\frac{W \sum_{i=1}^n (Y_{i,L} - \bar{Y}_L^*)^3 + \sum_{j=1}^Z (Y_{j,L} - \bar{Y}_L^*)^3}{(S_L^*)^3} \right] \quad (15)$$

Empirijske verovatnoće se računaju na osnovu izraza (16):

$$P = \frac{m^*}{N + 1} \quad (16)$$

Pri čemu je:

$$m^* = m, 1 \leq m \leq Z$$

$$m^* = Wm - (W-1)(Z+0.5), (Z+1) \leq m \leq (Z+n+L)$$

gde su:

m^* je težinski redni broj,

m redni broj podatka u vremenskoj seriji.

Modifikovane vrednosti statističkih parametara, kako je prethodno definisano, služe za određivanje teorijskih verovatnoća (ili povratnih perioda) identifikovanih "outlier"-a, na osnovu PT3 - $P(X_N)$ ili LPT3 - $P(X_N = 10^{(YL)})$ raspodele:

$$T(X_N) = \frac{1}{P(X_N)} \text{ (godina).}$$

Za određivanje statističkih parametara i povratnih perioda izuzetaka, teorijske verovatnoće su računane za period neprevaziđenja ekstremnog događaja, $N=80$ godina. U nedostatku adekvatnih podataka sa terena usvojena je dužina perioda koja uglavnom prevazilazi raspoložive dužine serija osmatranja i merenja hidroloških podataka.

- *Kartiranje*

Razgraničavanje slivova podložnih poplavama, sušama ili oboma urađeno je u ArcGIS-u. Kao podloge su

korišćene georeferencirane topografske karte (R 1:100.000 i 1: 25.000) i hidrografska mreža, GIS layer (1:300.000).

- *Uslovna verovatnoća*

Postupak za definisanje uslovnih verovatnoća pojave poplava i suša bazira se na prethodnom definisanju koincidencije istih pojava. Pod pojmom "koincidencija" podrazumeva se verovatnoća jednovremene pojave dve slučajno promenljive $Y=Q_{\max, \text{god}}$ i $X=Q_{\min, \text{god}}$. Pod pretpostavkom da se obe slučajno promenljive pokoravaju Normalnom zakonu raspodele, funkcija gustine dvodimenzionalne slučajne promenljive (X, Y) ima sledeći vid:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-R^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(1-R^2)} \left[\frac{(x-\bar{X})^2}{\sigma_x^2} - \frac{2R(x-\bar{X})(y-\bar{Y})}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-\bar{Y})^2}{\sigma_y^2} \right]} \quad (17)$$

gde su:

x i y - tekuće vrednosti slučajno promenljivih X i Y ,

\bar{X} i \bar{Y} - srednje vrednosti promenljivih X i Y ,

σ_x i σ_y - standardne devijacije promenljivih X i Y ,

R - koeficijent korelacije između promenljivih X i Y .

Kako razmatrane promenljive, apsolutno maksimalni i minimalni godišnji protoci, ne podležu normalnoj raspodeli, neophodno ih je logaritmovati i delimično standardizovati na sledeći način:

$$u = \log X \quad w = \log Y$$

$$\Psi = u - \bar{u} \quad \xi = w - \bar{w} \quad (18)$$

Na ovaj način funkcija gustine transformisanih promenljivih može se napisati u vidu:

$$f(\psi, \xi) = \frac{1}{2\pi(1-\rho^2)} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\psi^2 - 2\rho\psi\xi + \xi^2 \right]\right\} \quad (19)$$

Vrednosti varijansi σ_ξ i σ_ψ , kao i koeficijent korelacije ρ računaju se iz osmotrenih serija.

Rešavanjem kvadratne jednačine za bilo koju veličinu ψ , dobija se odgovarajući par vrednosti $\xi_{1,2}$. Drugim rečima, za svaku standardizovanu promenljivu veličinu

$\psi = \log X - \overline{\log X}$ postoje dve standardizovane vrednosti $\xi_{1,2} = \log Y - \overline{\log Y}$. Kada se za svaku odabranu vrednost ψ u koordinatni sistem unesu odgovarajuće veličine ξ_1 i ξ_2 , mogu se konstruisati elipse koje predstavljaju željenu verovatnoću $f(\lambda)$, gde je:

$$\lambda^2 = \psi^2 - 2\rho\psi\xi + \xi^2 \quad (20)$$

Ove elipse nazivaju se korelacionim elipsama i predstavljaju zapravo presek horizontalne ravni i površine koja definiše dvodimenzionalnu normalnu raspodelu. Tada se, koristeći inverznu proceduru, antilogaritmovanjem mogu sračunati veličine prirodnih nestandardizovanih promenljivih $Y=Q_{\max, \text{god}}$ i $X=Q_{\min, \text{god}}$.

Krajnji cilj ovoga rada je definisanje verovatnoće prevazilaženja identifikovanih istorijskih događaja (oba outliera: $Q_{\max, \text{outlier}}$ i $Q_{\min, \text{outlier}}$), tj:

$$P(Q_{\max, \text{god}} \geq Q_{\max, \text{outlier}}; Q_{\min, \text{god}} \leq Q_{\min, \text{outlier}}) \quad (21)$$

Rešenje postavljenog zadatka svodi se na definisanje korelacionih elipsi u koordinatnom sistemu $Y=Q_{\max, \text{god}}$ i $X=Q_{\min, \text{god}}$, gde su posebno naznačene obe empirijske tačke koje odgovaraju pojavi jednog od istorijskih događaja: $Q_{\max, \text{outlier}}$ odnosno $Q_{\min, \text{outlier}}$. Od empirijske tačke istorijskog maksimuma $Q_{\text{ist, max}}$ povlači se horizontala do ose $Y=Q_{\max, \text{god}}$, a od empirijske tačke istorijskog minimuma $Q_{\text{ist, min}}$ vertikalna, koja seče napred konstruisanu pravu. U preseku ovih pravih dobija se tačka istorijskih događaja koja ima koordinate $ID(Q_{\min, \text{outlier}}; Q_{\max, \text{outlier}})$. Spajanjem tačke ID sa tačkom gravitacije korelacionog polja sa koordinatama $TG(Q_{\min, \text{god}}; Q_{\max, \text{god}})$ dobija se prava linija koja seče površinu definisane funkcije gustine dvodimenzionalnog zakona raspodele. Presekom prave ID-TG i površine funkcije gustine dobija se pomoćna funkcija gustine uslovnih raspodela duž definisane prave.

Uvodi se pretpostavka da tražena verovatnoća prevazilaženja istorijskih događaja predstavlja verovatnoću prevazilaženja tačke ID funkcije gustine uslovnih verovatnoća duž definisane pomoćne prave, tj:

$$P(Q_{\max, \text{god}} \geq Q_{\max, \text{outlier}}; Q_{\min, \text{god}} \leq Q_{\min, \text{outlier}}) = P(Q_{\max, \text{god}}/Q_{\min, \text{god}} \geq ID(Q_{\min, \text{outlier}}; Q_{\max, \text{outlier}}))$$

Za definisanje funkcije gustine uslovnih verovatnoća duž definisane pomoćne prave koriste se kvantili sa korelacionog polja definisanih elipsi, projektovani na osu $Y=Q_{\max, \text{god}}$, definisanih za verovatnoću λ (gornju $\vec{\lambda}$ i donju $\underline{\lambda}$ granicu), kao i za težišnu tačku $TG(Q_{\min, \text{god}}; Q_{\max, \text{god}})$. Oznake ovih kvantila su:

$$Q_{\max, \text{god}}(\vec{\lambda}); Q_{\max, \text{god}}(\underline{\lambda}) \text{ i } Q_{\max, \text{god}}(TG)$$

Statistički parametri funkcije gustine uslovnih verovatnoća duž pomoćne prave definisani su pomoću poznate grafo-analičke procedure. U konkretnom slučaju prvo se određuje koeficijent skošenosti po formuli:

$$SK = \frac{Q_{\max, \text{god}}(\vec{\lambda}) + Q_{\max, \text{god}}(\underline{\lambda}) - 2Q_{\max, \text{god}}(CP)}{Q_{\max, \text{god}}(\vec{\lambda}) - Q_{\max, \text{god}}(\underline{\lambda})} \quad (22)$$

Saglasno literaturi (Prohaska 2003) postoji direktna veza između koeficijenta SK i koeficijenta asimetrije Cs. Za odgovarajuće vrednosti verovatnoća λ iz tabele za Pearson III zakon raspodele, dobijaju se faktori frekvence:

$$K(\vec{\lambda}); K(\underline{\lambda}) \text{ i } K(\lambda_{TG} = 0.5)$$

Za proračun ostalih parametara koriste se formule:

- Srednje kvadratno odstupanje:

$$\sigma = \frac{Q_{\max, \text{god}}(\vec{\lambda}) - Q_{\max, \text{god}}(\underline{\lambda})}{K(\vec{\lambda}) - K(\underline{\lambda})} \quad (23)$$

- Srednja vrednost

$$\bar{Q}_{\max, \text{god}} = Q_{\max, \text{god}}(TG) - \sigma K(\lambda_{TG} = 0.5) \quad (24)$$

- Koeficijent varijacije

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}_{\max, \text{god}}} \quad (25)$$

Za određivanje verovatnoće prevazilaženja istorijskog događaja ID neophodno je, na osnovu poznatih vrednosti statističkih parametara, prethodno sračunati faktor frekvence istorijskog događaja, po Pearson III zakonu raspodele:

$$K(p) = \frac{Q_{\max, \text{god}}(\text{ID}) - \bar{Q}_{\max, \text{god}}}{\sigma} \quad (26)$$

Is tabele za Pearson III raspodelu, za poznatu vrednost koeficijenta asimetrije, nalazi se odgovarajuća vrednost funkcije raspodele $F(x=\text{ID})$, a verovatnoća prevazilaženja istorijskog događaja po formuli:

$$\begin{aligned} P(X > x = \text{ID}) &= \\ &= P(Q_{\max, \text{god}} / Q_{\min, \text{god}} \geq \text{ID} (Q_{\min, \text{outlier}}; Q_{\max, \text{outlier}})) = \\ &= P(Q_{\max, \text{god}} \geq Q_{\max, \text{outlier}}; Q_{\min, \text{god}} \leq Q_{\min, \text{outlier}}) \end{aligned}$$

4. REZULTATI

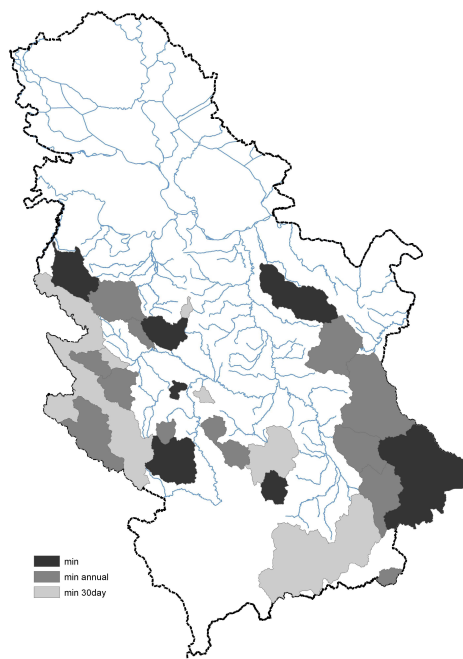
Testirane su serije podataka na 143 hidrološke stanice Pilot i Harvey testom po proceduri koja je prethodno opisana. Pronađeno je 14 stanica sa gornjim izuzetkom u serijama apsolutnih maksimuma i 35 stanica sa donjim izuzetkom u serijama apsolutnih minimuma i 30-dnevnih minimuma.

Podslivovi hidroloških stanica sa identifikovanim "outlierima" prikazani su osenčenom površinom na slikama ispod i predstavljaju područja Republike Srbije podložna poplavama (Slika 2), hidrološkim sušama (Slika 3) i poplavama i sušama (Slika 4).

Za ilustraciju primene razrađenog postupka ocene uslovnih verovatnoća istovremenih pojava istorijskih poplava i suša tokom jedne kalendarske godine odabran je profil v.s Raška na reci Raški. Kao reprezent poplave usvojene su serije maksimalnih godišnjih protoka, a za hidrološku sušu serije minimalnih godišnjih protoka. Rezultati proračuna koincidencije i uslovnih verovatnoća navedenih serija prikazani su na slici 5. Na slici su, takođe, posebno naznačene empirijske tačke identifikovanih istorijskih pojava poplave i suše, srednje vrednosti njihovih serija, kao i granična tačka istorijskog događaja ID za koju se traži verovatnoća prevazilaženja.



Slika 2. Područija podložna poplavama u Srbiji



Slika 3. Područija podložna hidrološkim sušama u Srbiji



Slika 4. Područja podložna poplavama i sušama u Srbiji

Saglasno iznetoj proceduri karakteristične vrednosti razmatranih serija indikatora poplava i suša do profila v.s. Raška na r. Raški su:

$$Q_{\max, \text{outlier}} = 400 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\min, \text{outlier}} = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Q}_{\max, \text{god}} = 69,70 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\bar{Q}_{\min, \text{god}} = 2.34 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\lambda = 0.1$$

$$Q_{\max, \text{god}}(\tilde{\lambda}) = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

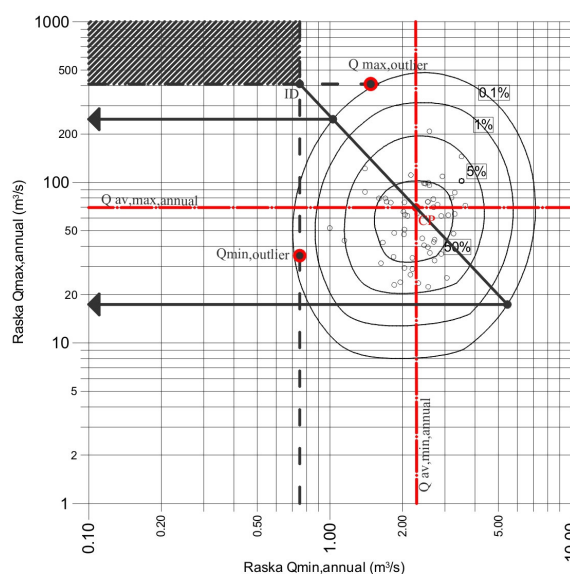
$$Q_{\min, \text{god}}(\tilde{\lambda}) = 19.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Prema tome, verovatnoća da će u istoj kalendarskoj godini doći do prevazilaženja do sada registrovanih istorijskih poplava i suša u profilu H.S. Raška na r. Raški iznosi:

$$P(X > x = ID) = P(Q_{\max, \text{god}} / Q_{\min, \text{god}} \geq ID(0.75 ; 400)) = \\ = P(Q_{\max, \text{god}} \geq 400 \text{ m}^3/\text{s}; Q_{\min, \text{god}} \leq 0.75 \text{ m}^3/\text{s}) \ll 0.0001.$$

Povratni period je:

$$T(X > x = ID) = T(Q_{\max, \text{god}} / Q_{\min, \text{god}} \geq ID(0.75 ; 400)) = \\ = T(Q_{\max, \text{god}} \geq 400 \text{ m}^3/\text{s}; Q_{\min, \text{god}} \leq 0.75 \text{ m}^3/\text{s}) \gg 10.000 \text{ god.}$$



Slika 5. Uslovna verovatnoća pojave apsolutno minimalnog i maksimalnog protoka iste godine na v. s. Raška na reci Raški

5. ZAKLJUČAK

Osnovna svrha rada je razrada nove metode za proračun verovatnoće da će se u istoj kalendarskoj godini pojaviti istorijske poplave i hidrološke suše. Za identifikaciju istorijskih događaja ("outlier"-i) ekstremnih hidroloških situacija (poplava i suša) korišćen je poznati Pilot i Harvey test. Međutim, za ocenu verovatnoće istovremene (u istoj godini) pojave identifikovanih istorijskih događaja razrađena je originalna procedura. Identifikacija pojave istorijskih poplava i suša izvršena je na 143 profila vodomernih stanica na teritoriji Srbije. Kao reprezent poplava korišćeni su podaci o apsolutno maksimalnim godišnjim protocima, a za suše apsolutno minimalni godišnji protoci i minimalni srednji 30-dnevni protoci.

Praktičnom primenom Pilot i Harvey testa je dobijeno da su se do sada na teritoriji Srbije pojavile istorijske poplave na 14 profila vodomernih stanica sa povratnim periodom od 77 do 1000 godina. Sa gledišta minimalnih godišnjih protoka registrovano je ukupno 26 istorijskih suša, sa povratnim periodima od 80 do 1500 godina, a sa stanovišta minimalnih tridesetodnevni protoka ukupno ukupno 20 istorijskih suša, sa sličnim vrednostima povratnih perioda.

U razmatranom periodu osmotrenih podataka samo na dve vodomerne stanice su se pojavile istorijske poplave

i hidrološke suše. Praktični primer istovremene (iste godine) pojave istorijskih poplava i suša dat je za profil v.s Raška na r. Raški. U konkretnom slučaju klasični povratni periodi registrovanih istorijskih događaja iznose, za poplave 539 godina, a za suše 238 godina. Međutim sračunata verovatnoća da će se ta dva istorijska događaja (istorijska poplava iz 1979. godine, a istorijska suša iz 1951. godine) desiti u istoj kalendarskoj godini je manja od 0.0001, što odgovara povratnom periodu većem od 10 000 godina.

ZAHVALNICA

Predstavljeno istraživanje je sprovedeno za potrebe naučnog projekta br. 22005: „Ekstremne hidrološke situacije: poplave i suše u Srbiji“, koji je finansiralo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Prohaska S., Ilić A., Miloradović B., Petković T. (2009) Detection and classification of Serbia's historic floods, International Conference "LAND CONSERVATION" - LANDCON 0905: GLOBAL CHANGE – CHALLENGES FOR SOIL MANAGEMENT From Degradation through Soil and Water Conservation to Sustainable Soil Management, Tara Mountain, Serbia, Book of Conference Abstracts, p.121
- [2] McCuen R. H. (2003) Modeling hydrologic change: statistical methods, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
- [3] Prohaska S. (2003) Hidrologija I deo, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" i RHMZ Srbije, Beograd.
- [4] Prohaska S. (2006) Hidrologija II deo, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Rudarsko-geološki fakultet i RHMZ Srbije, Beograd.
- [5] Prohaska S. et al. (1999) Coincidence of Flood Flow of the Danube River and its Tributaries, The Danube and its Basin, Hydrological monograph, Follow-up Vol. IV, Bratislava.
- [6] Prohaska S., Blagojević B., Ilić A (2010) Methodology for assessing probability of extreme hydrologic events coincidence, FACTA UNIVERSITATIS Series: Architecture and Civil Engineering, Vol. 8, no. 2, pp. 187 – 199, 2010.

NEW METHODOLOGY FOR DEFINING CONDITIONAL PROBABILITY OF CATASTROPHIC FLOODS AND DROUGHTS IN THE SAME CALENDAR YEAR

by

dr. Stevan PROHASKA, Aleksandra ILIĆ
Institute for Development of Water Resources "Jaroslav Černi", Belgrade
Borisava BLAGOJEVIĆ, M.Sc
Faculty of Civil Engineering, Niš

Summary

The paper outlines the methodology for defining conditional probability of occurrence of extreme hydrological events (floods and droughts). From the water management point of view in particular it is very important to know the probability of extreme hydrological events, such as floods and droughts, happening in the same place. The basis of this method is to define coincidences of extreme floods and droughts in the same calendar year, based on the available series of maximum and minimum annual discharges, as well as to identify extremes (outliers - high and low) on the same correlation field. Based on these extremes and two dimensional coincidence distribution, we can determine exceedance probabilities

for considered high and low extremes. Pilot and Harvey tests were used for the identification of these outliers.

The newly developed method was used to identify extreme hydrological events over the territory of Serbia. Practical example for the application of the new method for defining conditional probability for the absolute minimum and maximum discharge in the same calendar year is given for the river Raška on the gauging station Raška.

Key words: outlier, catastrophic flood and drought, conditional probabilities, coincidence

Redigovano 18.11.2010.