

Ratomir Živaljević

**ODREĐIVANJE VREMENA ODZIVA KRAŠKOG SLIVA ZA PADAVINSKE
IMPULSE JAKOG INTENZITETA**

**ESTIMATING TIME OF THE RESPONSE OF A KARST CATCHMENT AREA
FOR RAINFALLS IMPULSES OF DIFFERENT INTENSITIES**

Izvod

Odziv kraškog sistema na bilo koji ulaz padavina na njegovu aktivnu površinu manifestuje se kroz oblik hidrograma vodotoka, kao produkta sveukupnog uticaja sliva na transformaciju padavina u oticanje. Analiza odziva ili reakcija sistema sagledana je prije svega kroz impulsivni ulaz padavina sa izraženim intenzitetima. Postupak analize odziva izvršen je na primjeru sliva Rijeke Crnojevića. Na predmetnom slivu zastupljeni su skoro svi površinski i podzemni karstni oblici, te isti može biti kao ogledni sliv za rješavanje problema oticanja vode na sličnim kraškim područjima.

Ključne riječi: padavine, intenzitet, kraški sliv, impulsi, ulaz, odziv, oticanje.

Abstract

The response of karst system on each inflow of rainfalls on its active area is manifested through form of the outflow hydrograph of river, like product of all total influence of catchment area on the transformation of rainfalls to runoff. Analyze of the response, or reaction of the system is looked first of all through impulse inflow

(1) Univerzitet Crne Gore - Građevinski fakultet u Podgorici

of rainfalls with characteristicall intensities. The procedure of analyze of response is executed in the river catchment area of Rijeka Crnojević. There are most of surface and underground karst forms in this river catchment area (holokarst) so the same can be used like experimental catchment area for solving problems of water runoff in karst catchment areas.

Keywords: rainfalls, intensiti, karst catchment area, impulse, inflow, respons, runoff.

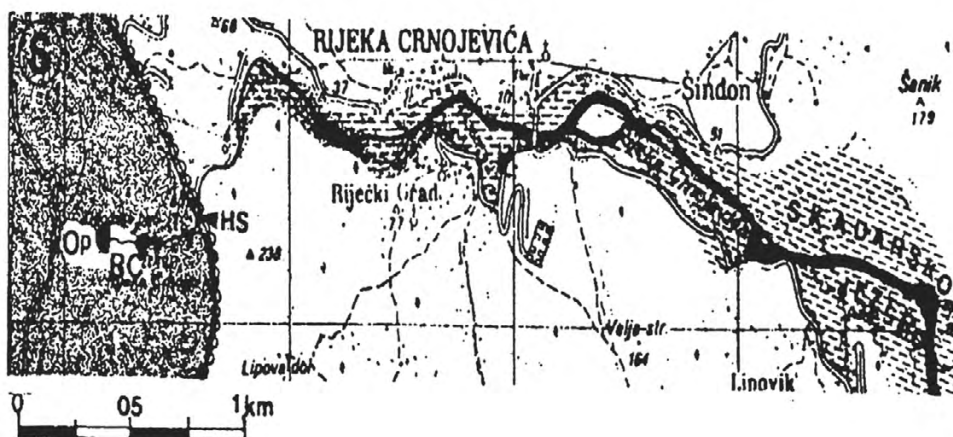
*"Neka prestanu vapaji žednih,
neka bistro vrelo bude očni vid"*
Molitva čovjeku

UVOD

Izučavanje hidroloških procesa u slivu-sistemu Rijeke Crnojevića je sagledavano kroz izučavanje geološke građe terena na širem i užem području, kao i kroz funkcionisanje hidrogeološkog sistema. Nasuprot tome, u svim dosadašnjim izučavanjima, hidrološki aspekti i hidrološke metode u rješavanju ovog problema su nedovoljno izučeni. Izraz "nedovoljno" asocira, prvenstveno, na izuzetno složene odnose voda-krš sa aspekta procesa ili ukupnih odgovora sistema. Složenost je u samom fenomenu krša. Jer, krš kao heterogena ispucala masa rastvorljivih i vodopropustljivih karbonatnih stijena, sadrži u sebi komponentu slučajnosti. Komponenta slučajnosti je primarno izražena u prostornoj raspodjeli geometrije pukotina, glavnih i sekundarnih provodnika. Slučajnost nije samo u sveukupnom karakteru krša kao čvrste faze, već u kapacitativnosti uskladištenja tečne faze i njene propustljivosti i transmisije ka erozionim bazisima. Izuzimajući poznavanje generalnih smjerova kretanja kraških voda iz određenih zona koncentrisanog karsta, mnogi drugi parametri za egzaktno definisanje hidrološkog procesa su nepoznati. Prije svega, nedostatak informacija o stanju nivoa podzemnih voda sa više tačaka pretpostavljenog sliva, odražava se na nemogućnost određivanja položaja podslivova rezervoara i međusobnih komunikacija sa glavnom provodnom zonom ka izlazu iz sliva kao sistema.

Iz ovih razloga je i prednost aplikativnosti hidrološke analize na izučavanje kretanja kraških voda u odnosu na sintezu [1]. Naime, postoji činjenica da se efekti uticaja heterogenosti i komponente slučajnosti implicitno odražavaju kroz karakter oticanja na izlazu iz kraškog sistema - sliva.

Jedna od bitnih komponenti pri hidrološkoj analizi je odziv, ili reakcija sistema na padavinske impulse u kontaktu sa aktivnom površinom sistema. Reakcija sistema sagledavana je kroz primjenu oblika izlaznog hidrograma Rijeke Crnojevića. Izlazni profil lociran je na hidrološkoj stanici u neposrednoj blizini male HE - Rijeka Crnojevića. (sl.1)



Legenda: OP-Obodska pećina, RC-Rijeka Crnojevića, HS-Hidrološka stanica, S-Sliv

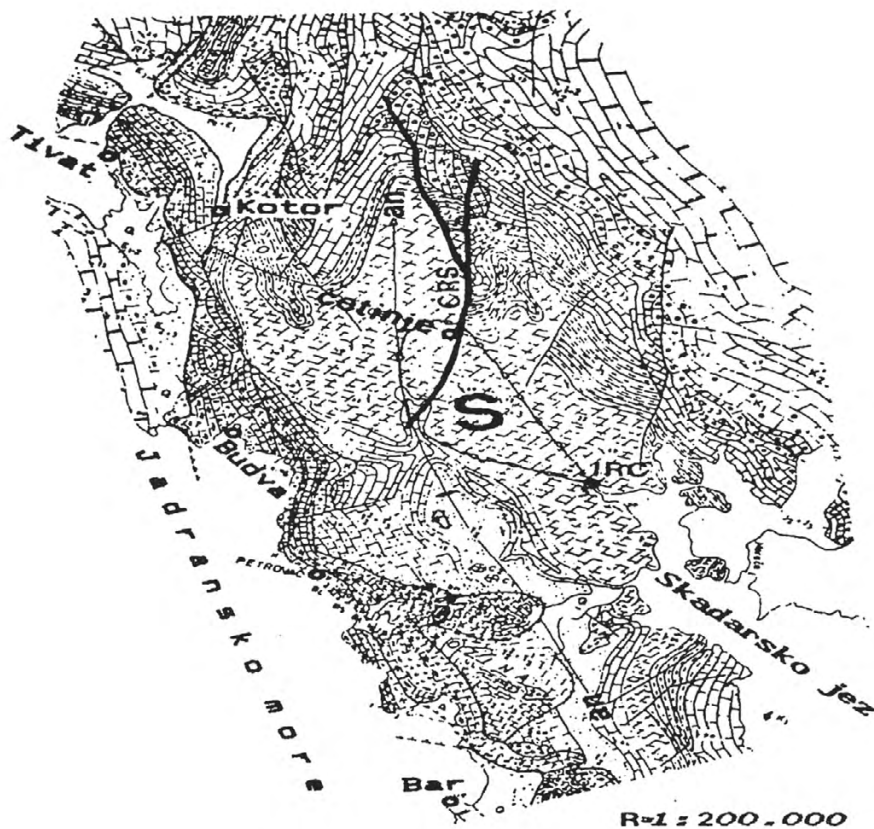
Slika 1. Situacija izvorišta Rijeka Crnojevića sa ušćem u Skadarsko jezero

U radu je sagledavana promjena forme hidrograma na padavinske impulse registrovane na pluviografu meteorološke stanice Cetinje, polazeći od stava da je izlazni hidrogram produkt efekata uticaja sveukupne složenosti sistema-sliva na transformaciju padavina u oticanje. Pri tome, vrijeme realizacije jednog izdiferenciranog hidrogeološkog procesa odgovora vremenskom intervalu izlaznog hidrograma, odnosno reakciji - odzivu sistema na učinke jedne padavinske epizode.

U tom smislu, sproveden je postupak primjene hidrološke analize izlaznog hidrograma za dva karakteristična hidrološka stanja:

- * Za slučaj hidrološkog stanja na završetku jedne i početku druge kišne epizode.
- ** Za slučaj hidrološkog stanja na kraju sezonske iscrpljenosti sistema

Sliv na kojem su razvijeni svi tipski površinski i podzemni karstni oblici - holokarst lociran je u središnjem jugozapadnom dijelu Crne Gore (sl.2).



Legenda: S-sliv Rijeke Crnojevića, an-osa antiklinorijuma, CRS-cetinjski rasjed, IRC-izvor Rijeke Crnojevića

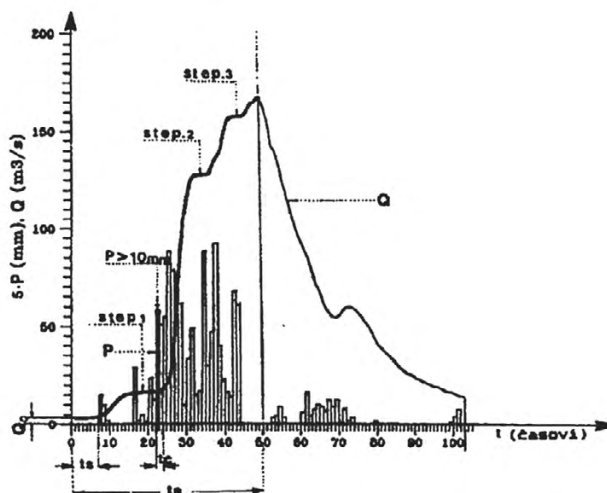
Šlika - 2. Geološka karta područja sliva Rijeke Crnojevića i priobalnog dijela Crnogorskog primorja (M.Kalezić, D.Škuletić, Z.Perović)

Geološke i hidrogeološke karakteristike stijenske mase, a posebno oblici koncentrisanog karsta: ponori, rasjedi, pećine, stara korita ponornica i izdiferencirani podzemni tokovi, su bitni činioci u procesu odvijanja i funkcionisanja hidrogeološkog i hidrološkog procesa [2], [6], [7]. U interakciji svih pojavnih oblika koncentrisanog karsta sa hidrološkim procesom u izvjesnom smislu poprimaju i upravljačku komponentu u konačnoj realizaciji procesa. Uloga karakteristike režima podzemnih voda primarno se manifestuje kroz formu i pulzaciju izlaznog hidrograma.

2. ANALIZA KARAKTERISTIČNOG IZLAZNOG HIDROGRAMA [1]

Slučaj hidrološkog stanja na završetku jedne i početku kišne epizode

Reakcija sistema posmatrana je na bilo koji impulsivni ulaz padavina jakog intenziteta kroz promjenu konture izlaznog hidrograma [3] u vremenskom intervalu jedne produktivne kišne epizode [3] - slika - 3.

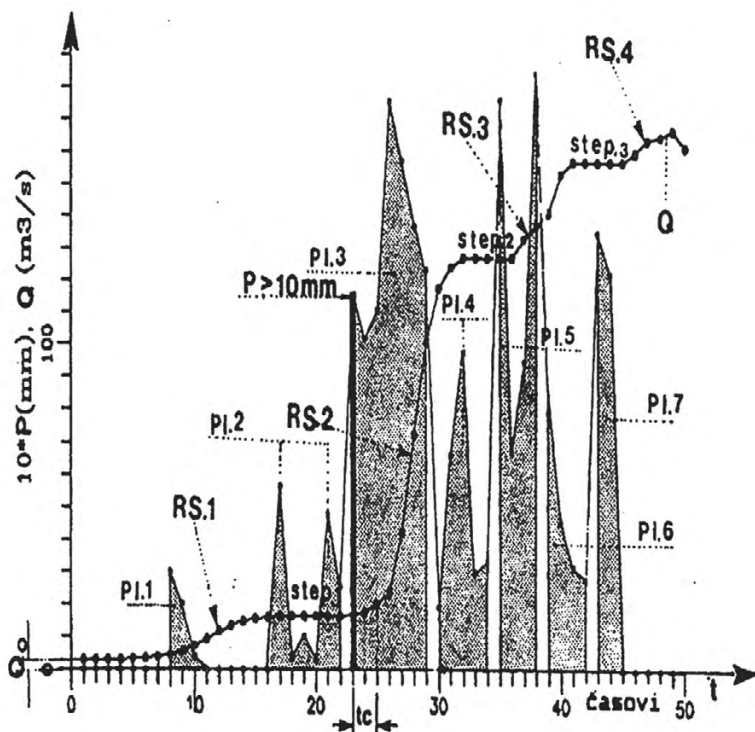


Slika 3. Karakteristični izlazni hidrogrami (pri punom radu sistema)

Na hidrogramu se uočava brzo reagovanje otcjanja (Q) na ulazne padavine (P). Ovo se odražava kroz izrazito kratko vrijeme početka reakcije sistema - vrijeme početka dizanja hidrograma (t_c). Analizirani izlazni hidrogram je inače karakterističan za pojavne hidrograme sa nešto razvučenom bazom; zbog frekventne promjene intenziteta časovnih padavina u vremenskom intervalu porasta hidrograma, kao i pojave padavina u toku intenzivne recesije kraškog sistema.

Na prekide časovnih padavina sistem brzo reaguje, što se manifestuje kroz "stepenasti oblik" konture hidrograma. To znači, da postoji vrlo dobra koordinacija između padavina i odziva sistema. Sa druge strane, stepenasta kontura hidrograma izražava i dinamičku nestabilnost hidrološkog procesa, što ponovo indicira na spoznaju, da u sistemu ne postoje značajniji akumulacioni prostori, čiji bi se uticaji odrazili kroz sporiju reakciju sistema i mirniju dinamiku hidrološkog procesa.

Na rastućoj grani analiziranog izlaznog hidrograma prikazana je reakcija sistema i izražena koordinacija između padavina i otcjanja (sl.4).



Slika 4. Prikaz koordinacije između padavina i oticanja na rastućoj grani hidrograma

Usporedno sagledavanje vizuelnih oblika stepenaste konture u funkciji padavinskih impulsa ima samo opisni karakter tumačenja manifestacije hidrološkog procesa, kao interakcije između padavina i rada - funkcionisanja sistema:

Impuls padavina (PI.1) pri početnom oticanju Q_0 , izaziva reakciju sistema →RS.1. Prvi impuls je od padavina slabog časovnog intenziteta, što je i razlog, da je početna reakcija sistema RS.1 samo reakcija izlaznih djelova u neposrednoj blizini hidrološke stanice Rijeka Crnojevića.

Drugi impuls padavina PI.2 koje su manje od 10 mm/čas izazivaju odziv sistema → Step.1, koji se manifestuje u održavanju konstantnog oticanja, kao produkta prvog impulsa.

Treći PI.3, predstavlja časovne padavine veće od 10 mm/čas i reakciju većeg dijela sistema →RS.2, koja se manifestuje u naglom dicanju hidrograma. Smanjenje padavina ispod 10 mm →impuls PI.4 izaziva odziv sistema →Step.2, koji se manifestuje u održavanju konstantnog oticanja produkta prethodnog padavinskog impulsa (PI.3).

Proces koordiniranog rada između padavina i oticanja sukcesivno se odvija, čineći stepenasti oblik uzlazne grane hidrograma, sve do postizanja maksimalne

vrijednosti oticanja, odnosno početka recesije sistema.

Za analizirani slučaj hidrološkog stanja, proizilazi da je prvi odziv izlaznih djelova sistema (djelimična reakcija) nakon 2 časa od početka prvog impulsa padavina slabog intenziteta, te je:

$$t_{co} \approx 2 \text{ časa} \rightarrow \text{za } \forall P \{P; 3\text{mm} < P < 10\text{mm}\} \quad (2.1)$$

Prethodni izraz važi uz uslov da je početni proticaj $Q_o \gg Q_{\text{min. god.}}$, odnosno početno stanje sistema može se izraziti u obliku relacije:

$$Q_o \cong 10 * Q_{\text{min.god.}} \quad (2.2)$$

Djelimična reakcija sistema RS.1 uz padavinski impuls PI.1 i početno stanje Q_o za vrijeme t_{co} može se napisati u obliku

$$RS.1 = f(Q_o, PI.1) \cong 5 * Q_o = Q_{\text{cons. t.}} \rightarrow \text{Step.1} \quad (2.3)$$

$$\text{gdje je: } PI.1 = \{P; 3\text{mm} < P < 10\text{mm}\} \quad (2.4)$$

Reakcija ukupnog sistema (RS.2) koja prethodi intenziviranju procesa "sistem u punom radu" može se zapisati izrazom približne matematičke korektnosti:

$$RS.2 = f(Q_{\text{const.}}, PI.3) \quad (2.5)$$

gdje je: $PI.3 = \{P; P > 10 \text{ mm}\}$, $Q_{\text{const.}} = 5 Q_o$,

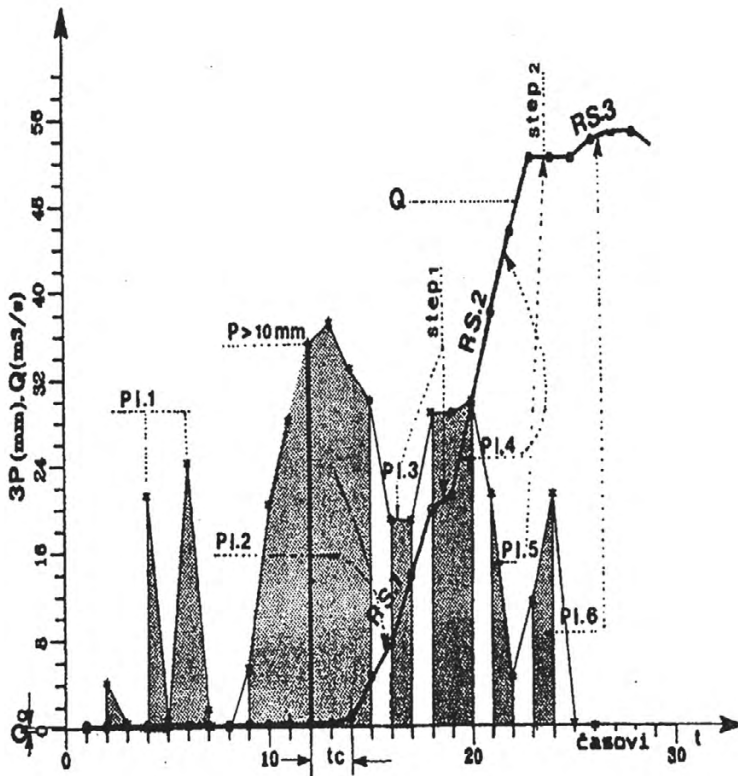
Vrijeme reakcije sistema t_c intenzivnog procesa je od 1-2 časa, ili

$$1 \text{ časa} \leq t_c \leq 2 \text{ časa} \rightarrow \forall P \in \{P; P > 10 \text{ mm}\} \quad (2.6)$$

Znači, odziv sistema na uzlaznoj grani hidrograma u periodu intenzivnog procesa manifestuju se u izraženom stepenu koordinaciji oticanja i padavina, što se reflektuje u stepenastoj formi izlaznog hidrograma (Step.2, Step.3, Step.4).

Slučaj hidrološkog stanja na kraju sezonske iscrpljenosti sistema

Pojava stepenastog oblika ulazne grane, odnosno izražena koordinacija između oticanja i padavina, slijedi i na hidrogramu koji se pojavljuje pri hidrološkom stanju koje konvergira završnoj fazi iscrpljenja zapremine vode iz pukotinskog sistema (slika 5).



Slika 5. Prikaz koordinacije padavina i oticanja na uzlaznoj grani hidrograma za hidrološko stanje na kraju sezonske iscrpljenosti sistema

Period realizacije hidrograma je u isto vrijeme i početak hidrološkog procesa kojim se obnavlja ciklus "punjenja" sistema sa početnim - baznim oticanjem $Q_0 = 0,254 \text{ m}^3/\text{s}$.

U slučaju ovog hidrološkog stanja, karakteristično je da na početne padavinske impulse nema reakcije izlaznih djelova sistema kao posledica dugog perioda bez padavina i prehranjivanja sistema.

Na osnovu rezultata izvršene analize, pokazuje se da je početno vrijeme odziva sistema (t_c), odnosno prva reakcija je na padavinski impuls (PI) intenziteta časovnih padavina većih od 10 mm nakon 2 časa. Vrijeme reakcije sistema u periodu unutar već intenziviranog procesa je oko 1 čas. To znači, i pored stanja iscrpljenosti, što je indikativno za sisteme razvijene geometrije podzemnih provodnih zona, a malih akumulacionih sposobnosti.

2.1. Analiza vremena reakcije sistema metodom kroskorelacije

Na osnovu izvršene analize koordinacije između padavina i oticanja uočavaju se izvjesni pokazatelji o pojavnosti i stalnosti vremena reakcije sistema (t_c) kao i graničnim vrijednostima časovnih padavina - impulsa (PI) koji pobuđuju sistem. Primjenom kroskorelacije izvršen je pokušaj kvantifikacije vremena početka reakcije sistema (t_c), a time i indirektno procjene granične vrijednosti intenziteta padavinskog impulsa koji izaziva odziv većeg dijela aktivne površine sistema - sliva u procesu oticanja.

Teorijske postavke [4]

Polazi se od pretpostavke da su dvije serije, x_t i y_t korelirane za bilo koji pomak, τ . Tako je očekivani koeficijent kroskorelacije za pomak τ pozitivan, negativan ili nula, za dvije kontinualne serije sledećeg oblika:

$$\rho_r(x,y) = \frac{\text{cov}(x_t, y_{t+\tau})}{(\text{var } x_t \text{ var } y_t)^{1/2}} = \frac{1/T - 1 \int_0^{T-\tau} (x_t - \mu_x)(y_{t+\tau} - \mu_y) dt}{(\text{var } x_t \text{ var } y_t)^{1/2}} \quad (2.7)$$

Za diskretne serije x_i i y_i , očekivana vrijednost ρ_k je :

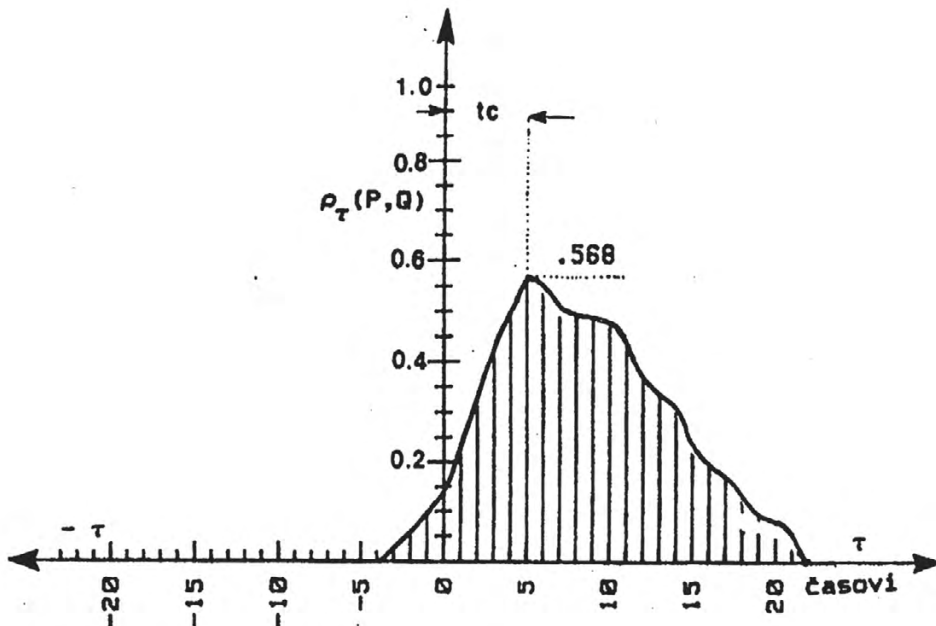
$$\rho_k(x,y) = \frac{1/N - k \sum_{i=1}^N x_i y_{i+k} - 1/N^2 \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{\left\{ 1/N \sum_{i=1}^N 1/N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \mu_x^2 \right\}^{1/2} \left\{ 1/N \sum_{i=1}^N y_i^2 - \mu_y^2 \right\}^{1/2}} \quad (2.8)$$

Veza

$$\rho_\tau(x,y) = f_1(\tau), \text{ i } \rho_k(x,y) = f_2(k) \quad (2.9)$$

je kroskorelaciona funkcija serija x_t i y_t ili njihov unakrsni korelogram. Zar $\tau = 0$ ili $k = 0$ to se svodi na obični linearni korelacioni koeficijent $\rho(x,y)$, koji se obično upotrebljava pri korelaciji dviju promenljivih.

Na donjoj slici (sl.6) predstavljen je unakrsni, ili kroskorelacioni, korelogram između padavina i časovnih oticaja $\rho_\tau(P,Q)$ za slučaj hidrološkog stranja po završetku jedne i početku druge kišne epizode (\square) Upotreba $\rho_\tau(P,Q)$ ili $\rho_k(P,Q)$ je jednaka upotrebi $\rho_\tau(P,Q)$ ili $\rho_k(P,Q)$ sa odgovarajućom zamjenom τ i k sa $-\tau$ i $-k$.



Slika - 6. Prikaz kroskorelacije serija P i Q
 Slika 6. Prikaz kroskorelacije serije P i Q

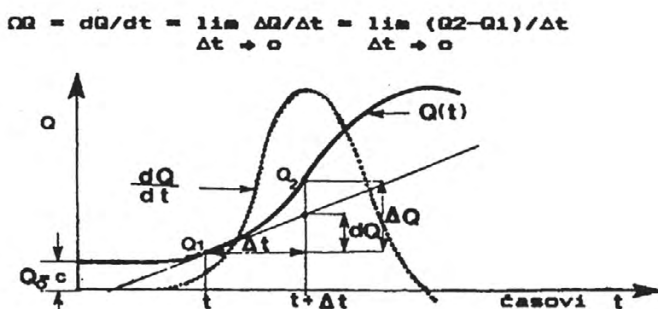
Osobnosti kroskorelacije pri karakterističnim, sa postupkom prilagođavanja [4]

Unakrsni korelogrami nijesu simetrični za $\tau = 0$ ili $k = 0$, zato što τ i $-\tau$ ili k i $-k$ daju različite vrijednosti ρ_τ i $\rho_{-\tau}$ odnosno ρ_k i ρ_{-k} . Često se dešava da se najveća apsolutna vrijednost r ne dobije za $\tau = 0$ ili $k = 0$ nego su pomjereni ka τ_0 i k_0 različitim od nule. To se obično događa kada jedna slučajna promenljiva prethodi u vremenu u odnosu na drugu slučajnu promenljivu, kao što najveći intenzitet kiše prethodi u odnosu na najveće oticanje, ili kao što data meteorološka ili okeanska situacija prethodi za vrijeme to ili za broj vremenskih jedinica ko predviđenim padavinama ili oticajima prema sinoptičkoj situaciji. Vrijednost τ_0 i k_0 u hidrologiji nijesu konstantne, zato što proces povezivanja x i y promenljivih može dati brži odziv y za veće vrijednosti od x (τ ili $k \rightarrow$ mali), nego za manje vrijednosti x (t ili $k \rightarrow$ veliki)

Za predviđanje rezultata u hidrologiji je važno odrediti vremenske pomake ili vremenska kašnjenja povezanih hidroloških promenljivih bilo kao konstanti, bilo kao parametarskih funkcija ili apsolutnih vrijednosti od x i y . Što su veći τ_0 i k_0 duži je vremenski interval predviđanja. Kroskorelacija je zbog toga jedna od tehnika koja služi za otkrivanje vremenskih pomaka maksimuma korelacije ili za istraživanje pomaka između hidroloških vremenskih serija.

Postupak prilagođavanja kroskorelacije [1]

Kroskorelacija između časovnih padavina i oticanja u doslovnom smislu ne definiše veličinu vremena reakcije sistema (t_c) na padavinski impuls (slika 6), odnosno ne daje očekivani kvantum odgovora o iznosu vremena početka odziva sistema na padavinski impuls. Zbog toga je izvršen postupak prethodnog prilagođavanja. Suština prilagođavanja je u zamjeni članova serije časovnih proticaja sa veličinom njihovih prvih derivacija po vremenu dQ/dt . Fizikalno značenje derivacije proticaja je blisko značenju "brzina promjene proticanja" ΩQ u vremenskom intervalu dt (slika 7).

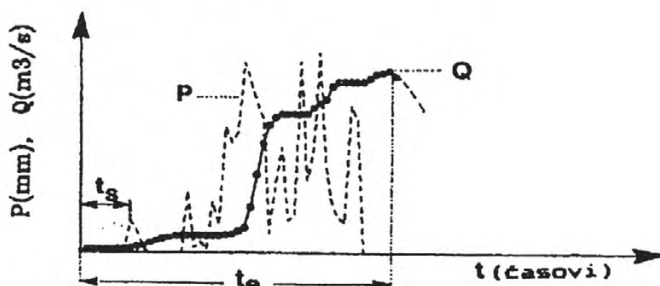


Slika - 7. Dijagram brzine promjene proticaja

Uvođenjem nove promenljive(ΩQ) umjesto Q obrazovana je serija:

$$\{P(t), (\Omega Q)(t)\} \tag{2.10}$$

Za razmatrana vremena početka reakcije sistema (t_c), seriju časovnih padavina $P(t)$ i prvih derivacija časovnih proticaja (ΩQ) (t) sačinjavaju samo članovi iz skupa kojem pripada uzlazna grana analiziranog hidrograma, odnosno serija za omeđeni vremenski interval t_s i t_e .



Slika 8. Prikaz granica vremenskog intervala za analizu reakcije sistema (t_c)

Što znači da obrazovanje serija:

$$\{P(t), \Omega Q(t)\} \rightarrow \text{važi za interval: } t_s \leq t \leq t_e \quad (2.11)$$

Gdje je:

t_s - vrijeme pojave prvog padavinskog impulsa
 t_e - vrijeme za koje proticaj postigne max. vrijednost u trajanju jedne kišne epizode.

Na osnovu izvršenog prilagođavanja serija u dijelu formiranja serije časovnih proticaja, odnosno za seriju prema (2.11), može se napisati izraz kroskorelacije za kontinualnu seriju u obliku:

$$\rho_r(P, \Omega Q) = \int_0^{\infty} P(t - \tau) \cdot \Omega Q(t) dt \quad \rho_r(P, \Omega Q) = \int_0^{\infty} P(t - \tau) \cdot \Omega Q(t) dt \quad (2.12)$$

Za diskretnu seriju P i ΩQ očekivana vrijednost ρ_k je :

$$\rho_k(P, \Omega Q) = \sum_{i=k}^N P_{i-k} \cdot \Omega Q \Delta t \quad (2.13)$$

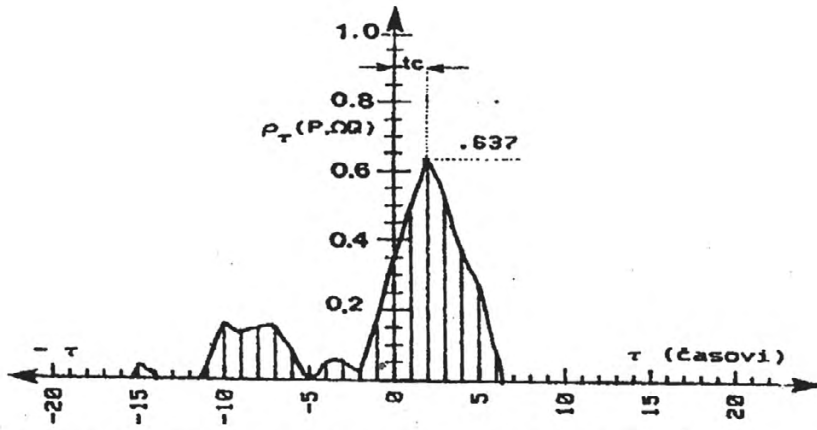
Gdje je : N- broj članova u skupu serije

Proračun ΩQ i kroskorelacija izvršen je pomoću programskog paketa DADi SP - Signal Analysis Softwer [5] za dva hidrološka stanja sistema i analiza vremena reakcije sagledavana kroz stepenastu formu uzlazne grane hidrograma, odnosno za:

- Slučaj hidrološkog stanja na završetku jedne i početku druge kišne epizode - puni rad sistema

Rezultati proračuna prikazani na unakrsnom korelogramu (slika - 9) pokazuju da je najveća vrijednost unakrsne vremenske funkcije $\rho_r(P, \Omega Q)$ za vremenski pomak $t - 2$ časa, što je ekvivalentno vremenu reakcije sistema (t_c) određenog analizom konture uzlazne grane hidrograma. Dobijena vrijednost vremenskog pomaka od dva časa metodom kroskorelacije navodi ka postojanju zavisnosti vremena reakcije sistema, a time i ukupnog odziva sistema (RS) u velikoj mjeri od neke donje granične vrijednosti intenziteta časovnih padavina.

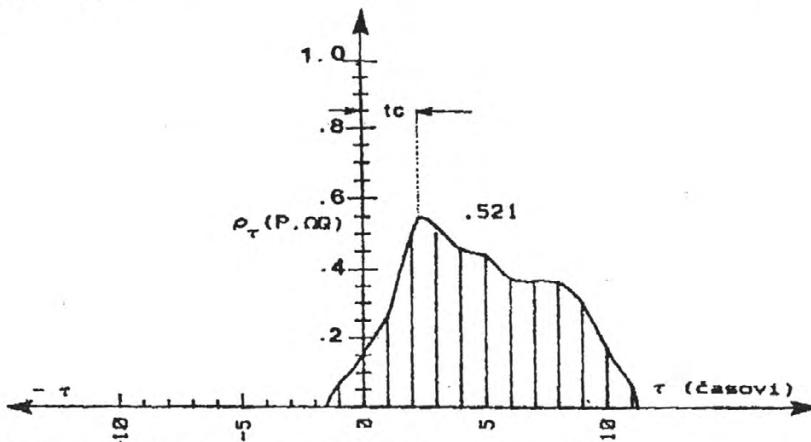
Za posmatrani slučaj hidrološkog stanja koje se praktički nadovezuju neposrednorealizaciji jedne intenzivne kišne epizode, padavinski impulsi od padavina intenziteta ispod 10 mm ne uspijevaju da izazovu intenzivnu reakciju sistema. Nasuprot tome, padavine intenziteta iznad 10 mm nakon 2 časa izazivaju intenzivni odziv većeg dijela sistema aktivne površine sistema -sliva u procesu transformacije padavina u oticanje.



Slika 9. Unakrsni korelogram za hidrološko stanje punog rada sistema

□ □ Hidrološko stanje na kraju sezonske iscrpljenosti sistema

Unakrsni korelogram (slika - 10) pokazuje da je najveća vrijednost unakrsne vremenske funkcije $\rho(P, \Omega)$ za vremenski pomak $t = 2$ časa, što odgovara vremenu reakcije sistema t_c identifikovanog analizom konture uzlazne grane hidrograma. Značajno je da rezultati kroskorelacije i na ovom primjeru pokazuju da se odziv sistema dešava na padavinske impulse intenziteta većih od 10 mm. Ovo je na izvjestan način verifikacija saznanja, da i u slučaju iscrpljenosti sistem u domenu min. godišnjih proticaja, reakcija sistema zavisi od veličine intenziteta padavina većih od 10 mm.



Slika 10. Unakrsni korelogram za hidrološko stanje na kraju sezonske iscrpljenosti sistema.

Prethodni rezultati analize reakcije sistema pokazuju da je pretežni dio sistema lociran neposredno uz primarne provodne zone koncentrisanog karsta (Cetinjsko polje - Lipska pećina - Dobrsko selo - Obodska pećina). S druge strane, brzi odziv sistema na padavinske impulse i njihova izražena koordinacija indicira dobro razvijenu geometriju primarnih provodnih zona, što se manifestuje kroz sličnost režima tečenja podzemnih voda režimu površinskih tokova na kraškim područjima mediteranskog karsta.

Izraženost reakcije sistema na padavinske impulse registrovane u samom Cetinju takođe je parametar identifikacije dominantnog uticaja hidrološkog stanja sistema Cetinjskog polja na režim i kretanje kraških voda ka izlazu iz sistema.

ZAKLJUČAK

* U cilju određivanja vremene reakcije - odziva kraškog sistema na padavinske impulse, nužan preduslov je prethodna hidrološka analiza na izlaznom profilu kraškog sistema.

* Hidrološki aspekti analize oslonjeni su na rezultate istraženih hidroloških radova u trajanju od 3 godine (1. oktobar 1987 - 1. oktobar 1990. godine) i na raspoložive informacije interdisciplinarnog izučavanja na ovom i širem području sistema. Skoro sve hidrološke istrage u ovom periodu povezane su sa rezultatima mjerenja proticaja na novoj hidrološkoj stanici Rijeka Crnojevića na izlaznom profilu sistema.

* Na osnovu analize konture izlaznog hidrograma sagledavan je odziv sistema ili brzina reakcije na padavinske impulse časovnog intenziteta. Stepenasta forma uzlazne grane hidrograma je dokaz izražene koordinacije između oticanja i padavina. S druge strane, kroz stepenastu konturu manifestuje se dinamička nestabilnost hidrološkog procesa, što indicira na spoznaju da u sistemu ne postoje značajniji akumulacioni prostori, čiji bi se uticaji odrazili kroz sporiju reakciju sistema i mirniju dinamiku hidrološkog procesa.

* Rezultati analize pokazuju da na vrijeme početne reakcije sistema (t_c) bitno ne utiče prethodno hidrološko stanje u sistemu. Naime, bilo da je sistem u zasićenju ili na kraju iscrpljenosti, početno vrijeme reakcije u oba slučaja iznosi oko 2 časa i zavisi od intenziteta padavinskog impulsa iznad 10 mm/čas. Kroz ovu pojavu manifestuje se dominantnost uticaja provodnih zona na hidrološki proces i kretanje kraških voda u sistemu.

* Kvantifikacija vremena početka reakcije sistema (t_c) izvršena je primjenom kroskorelacije između padavina (P) i prvih izvoda protoka (∇Q). Ključni parametar za primjenu autokorelacije kod definisanja vremena reakcije sistema je upravo u izboru adekvatnog postupka prilagođavanja jednog od parametara korelacije. U konkretnom slučaju prilagođavanje protoka (Q) njihovim prvim izvodom ima svoje

fizikalno značenje kroz samu brzinu reakcije proticaja, odnosno "brzinu promjene proticaja" u nekom vremenskom intervalu.

* Određivanje vremena reakcije kraškog sistema (uz prethodnu hidrološku analizu i analizu geološkog i hidrogeološkog funkcionisanja kraškog sistema) može biti od koristi kao parametar identifikacije u slučajevima određivanja prostorne lokacije i veličine sliva kraškog sistema, kao indikator postojanja dominantnih podzemnih provodnih zona i njihovih geometrijskih karakteristika, bitan indikator o ocjeni postojanja akumulacionih uskladištenja vode u podzemlju i zadržavanja padavina na kontaktu sa aktivnom površinom i, konačno, kao parametar za generalno sagledavanje režima oticanja na površini i podzemlju kraškog sistema.

* Poznavanje veličine vremena početka reakcije sistema na padavinske impulse u neposrednoj je vezi sa jačinom intenziteta padavina i karakteristika kraškog sistema. Znači, isti može biti primenljiv kod početnih ocjena o mogućoj brzini kontakta i prenosa štetnih supstanci kroz tečnu i čvrstu fazu karstnog područja.

LITERATURA

- ŽIVALJEVIĆ, R.: Hidrološka analiza kretanja kraških voda na primjeru Rijeke Crnojevića - doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, 1992.g.
- MIJATOVIĆ, B.: Funkcionisanje hidrogeološkog sistema u Cetinjskom polju, časopis VODOPRIVREDA, 102-103, Beograd, 1986.
- RHMZ-CRNE GORE.: Hidrološka mjerenja i osmatranja Rijeke Crnojevića (1987-1990), Arhivski materijal, Podgorica, 1987-1989.g.
- JEVĐEVIĆ, V.: Stohastički procesi u hidrologiji, Sarajevo, 1974.g.
- SIGNAL ANALISIS SOFTWARE.: Proračun kroskorelacije programskim paketom DADISPI za PC-računare, 1990.g.
- RADULOVIĆ, M., VUJISIĆ, P.: Prilog metodologiji istraživanja akumulacija podzemnih voda i provodnih zona u karstnim terenima, Geološki glasnik, knjiga XIII, Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore, Titograd, 1989.g.
- RADULOVIĆ, V.: Hidrogeologija sliva Skadarskog jezera, Zavod za geološka istraživanja SR Crne Gore, Titograd, 1989.
- BONACCI, O.: Hidrološka analiza u poljima u krašu, časopis VODOPRIVREDA, 102, 103, Beograd, 1986.g.

