

ANALIZA PROMENA INTENZITETA POPLAVA NA MALIM RAVNIČARSKIM SLIVOVIMA U SEVEROISTOČNOM ILINOISU

Momčilo MARKUŠ
Illinois State Water Survey, University of Illinois
Champaign, Illinois, SAD

REZIME

Analiza podataka osmotrenih na malim ravničarskim slivovima u okolini Čikaga pokazala je da u poslednjih nekoliko decenija, u većini slučajeva postoji statistički značajan trend porasta maksimalnih godišnjih proticaja. Ovaj trend je uticao na to da su porasle i procenjene vrednosti stogodišnjih velikih voda. Ovakve promene su prouzrokovane istovremenim dejstvom povećanog intenziteta i učestalosti kiša, kao i urbanizacijom slivova. Oba faktora su značajno promenjena u poslednjih pola veka. Kiše su postale sve češće i sve intenzivnije, a urbanizacija je takođe veoma intenzivirana u poslednjih nekoliko decenija.

Rezultati analize su ukazali da je zbog navedenih promena u slivovima, većina studija iz prošlosti potcenila vrednosti stogodišnjih proticaja. Rezultati studije su takođe prikazali stepen povećanja stogodišnjih poplavnih talasa na slivovima. Najzad, pristup razvijen u studiji može da se koristi u dugoročnom vodoprivrednom planiranju, prilikom procene hidroloških efekata različitih budućih scenarija razvoja u slivovima.

Ključne reči: mali slivovi, velike vode, poplave

UVOD

Klasični pristupi hidrološkim analizama se često baziraju na pretpostavci da su hidrološke vremenske serije stacionarne, iako je sama pretpostavka o stacionarnosti hidroloških serija u mnogim slučajevima netačna. Razlog za to može da bude u tome što su stacionarne pojave jednostavnije za analizu ili u tome što je pretpostavka o stacionarnosti "utemeljena u čovekovoј psihi" (Young, 1984). Uzroke nestacionarnosti treba tražiti u zbirnom dejstvu prirodne

varijabilnosti i čovekove aktivnosti. Prikazani rad bavi se promenama u stogodišnjim velikim vodama na malim ravničarskim slivovima u okolini Čikaga. Ove promene su nastale kao rezultat promene u padavinama, naročito povećanja intenziteta i frekvence kiša, ali i promene u korišćenju zemljišta, koje od poljoprivrednog postaje gotovo isključivo urbano.

Proračun stogodišnje velike vode na malim slivovima tradicionalno se bazira na (i) statističkoј analizi niza poznatih godišnjih maksimalnih proticaja, (ii) regionalnim regresionim jednačinama, (iii) hidrološkim modelima kojima se kiša na slivu transformiše u proticaj na izlazu iz sliva (FEMA, 1995; FEMA, 2003). Statistička analiza se smatra najpouzdanijom metodom, naročito ako se raspolože dovoljno dugim nizom osmatranja, kao naprimer 50 ili više godina. U odsustvu osmatranja, koriste se regresione jednačine ili hidrološki modeli. Koji će se pristup koristiti, često zavisi od tipa primene. Modeli padavine-oticaј su kompleksniji nego regresioni modeli, imaju veći broj parametara, pa su i popularniji jer se smatra da složeniji modeli daju tačnije rezultati. To ne mora da bude tačno, jer složeni modeli mogu da imaju daleko veću grešku zbog neizvesnosti prouzrokovanom većim brojem parametara. Savezna agencija Federal Emergency Management Agency (FEMA), u opštem slučaju, daje prednost regionalnim regresionim jednačinama u odnosu na modele padavine-oticaј (FEMA, 1995; FEMA, 2003), ali je isto tako poznato da ovi modeli imaju mnoga ograničenja.

Nestacionarnost hidroloških pojava, međutim, nameće pristupe koji se razlikuju od standardnih. U slučaju nestacionarnosti, kao što je na primer rastući trend u maksimalnim godišnjim proticajima, trend se po pravilu odstrani jednom od standardnih statističkih metoda, pa se primeni statistička analiza (USGS, 1982). Problem je u tome što je u jednom dinamičkom sistemu kao što je sliv, veoma teško pouzdano odrediti da li je trend

linearan, nelinearan, ili je u pitanju ciklična promena, a još je teže uključiti urbanizaciju u ovaj statistički proračun, jer je urbanizacija često praćena izgradnjom akumulacija, kanala, i drugih hidrotehničkih objekata. Regresione jednačine se suočavaju sa sličnim teškoćama. Bilo je pokušaja da se ove jednačine modifikuju raznim korekcionim faktorima (Thomas, 1993), ali se po pravilu dodavanjem tih faktora jednačine prilično komplikuju, gube jednostavnost, i daju manje pouzdane rezultate. U tom slučaju su modeli padavine-oticađ potencijalno najbolje rešenje.

Statističkom analizom je pokazano da maksimalni godišnji proticaji na malim slivovima u okolini Čikaga imaju rastući trend, što znači da su poplave sve češće, sve veće i sve razornije. Intenzivna urbanizacija periferije Čikaga u poslednjih 50 godina kombinovana sa povećanjem intenziteta velikih kiša rezultirala je porastom maksimalnih godišnjih proticaja, a samim tim i porastom šteta od poplava. Komisija NIPC (Northeastern Illinois Planning Commission), koja upravlja razvojem infrastrukture i planira korišćenje zemljišta u severoistočnom Ilinoisu, procenila je da su u toj oblasti, u kojoj se nalazi i Čikago, godišnje štete od poplava blizu 40 miliona dolara (NIPC, 2002). S obzirom na rastući trend promenljivih koje doprinose štetama od poplava, može se pretpostaviti da će buduće procene šteta od poplava daleko premašiti procenu iz 2002. godine.

Opšte je prihvaćeno da se urbanizacijom povećava udeo vodonepropustljivih površina, što utiče na porast poplava (Dreher i Price, 1997). Povećanju poplava u severoistočnom Ilinoisu su takođe doprineli i povećanje intenziteta i učestalosti jakih pljuskova (Huff i Angel, 1989). Nedavna istraživanja ukazuju na "...kontinualno povećavanje broja jakih pljuskova, što ima izuzetan značaj za upravljanje vodama..." (Changnon i Westcot, 2002). Opasnost od poplava se povećava zbog klimatskih promena ali i zbog promena u korišćenju zemljišta, uglavnom urbanizacije na području nekadašnjih oranica, močvara ili šuma.

Razumevanje dinamike poplava je preduslov efikasnog planiranja i organizacije zaštite zemljišta od razornog dejstva voda. Poplave mogu da se opišu učestalošću, maksimalnim nivoom vode, zapreminom poplavnog talasa, i drugim tehničkim podacima. Da bi se stekla što tačnija slika o tome od kolikih i koliko čestih poplava se zemljište brani, neophodni su hidrološki proračuni poplava sa velikim povratnim periodom, kako za sadašnje stanje, tako i za neke buduće situacije u slivovima. Tačni proračuni potencijalnih poplava u

slivovima su od fundamentalnog značaja za zaštitu naselja od poplava, sprečavanje ljudskih žrtava, kao i zagađenja životne sredine.

METODOLOGIJA

Tokom poslednjih nekoliko decenija u Sjedinjenim Američkim Državama su istraživani mnogobrojni pristupi i razvijen veliki broj modela za hidrološke analize. Modeli za proračun stogodišnje velike vode su bazirani pre svega na statističkim analizama dugogodišnjih osmatranja proticaja, na regionalnim regresionim jednačinama i na modelima padavine-oticađ. Ovakav haotičan rast broja raznih metodologija nije pogodovao hidrolozima, a naročito hidrološkim biroima pri saveznim institucijama kao što su FEMA, United States Geological Survey (USGS), United States Army Corps of Engineers (USACE) jer je stvarao niz poteškoća u praktičnim primenama. Napori federalnih institucija da se propišu jedinstvene hidrološke metode rezultirali su serijom naučnih i stručnih publikacija i tehničkih pravilnika kao što je Bulletin 17B (USGS, 1982). Ideju jedinstvenog i sveobuhvatnog pristupa proračunu velikih voda na teritoriji SAD, obrazložio je Thomas (1985).

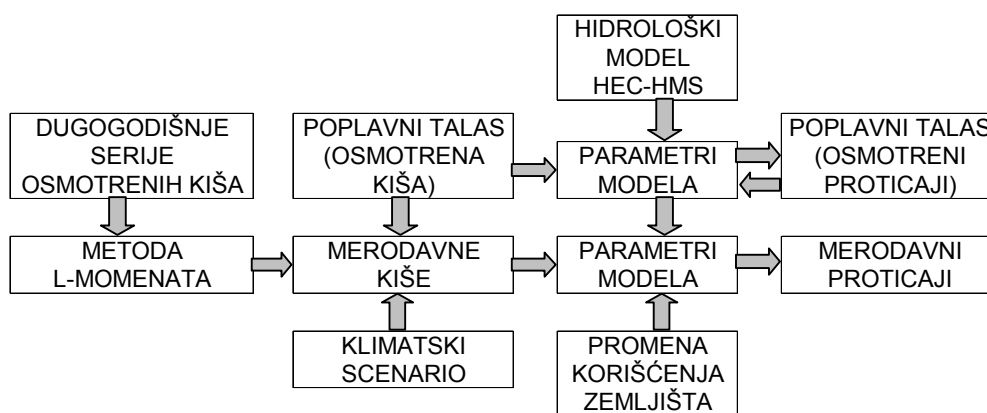
Savezna agencija FEMA (FEMA, 2003) sugeriše da je za proračun 100-godišnje velike vode najtačnija metoda analize osmotrenih maksimalnih godišnjih proticaja korišćenjem raspodele Log-Pearson III. Za slivove bez osmatranja FEMA savetuje da se koriste regresione jednačine. Regionalne regresione jednačine su jednostavnije i imaju manje neizvesnosti u parametrima modela, pa samim tim i u rezultatima. U slučajevima kada regresione jednačine nisu primenjive, preporučuje se model padavine-oticađ za koji se sračuna ukupan iznos i vremenski raspored merodavne kiše, pa se ta kiša preko hidrološkog modela transformiše u merodavni oticađ.

Daleko je komplikovanije naći pravu metodologiju za nestacionarni hidrološki sistem kao što je skup slivova u severoistočnom Ilinoisu, gde se menja i klima i korišćenje zemljišta. U ovim uslovima, serije osmotrenih proticaja često imaju linearni ili nelinearni trend u srednjoj vrednosti, kao i trend u standardnoj devijaciji, i drugim statističkim parametrima. Urbanizacija često uključuje modifikacije vodotoka, izgradnju retenzionih bazena, malih akumulacija, prebacivanje vode iz jednog sliva u drugi sliv i slično. U tom slučaju nije opravdana primena statističke analize iz pravilnika (USGS, 1982) koji se odnosi na stacionarne

vremenske serije. Bilo je puno pokušaja da se regionalne regresione jednačine modifikuju kako bi što tačnije opisale promene u slivu. Međutim, postoji niz teškoća vezan za primenu ovih jednačina u urbanim slivovima, kao što je naprimer izgradnja akumulacija. Najadekvatniji model za opisane slivove je model padavine-oticaaj.

Slika 1 ilustruje metodologiju primenjenu u ovoj studiji. U prvoj fazi (prvi red na slici) su određeni parametri hidrološkog modela HEC-HMS na osnovu osmotrenih

kiša i proticaja. Nakon kalibracije parametara, sračunata je merodavna kiša korišćenjem L-momenata (slika 1, drugi red). Merodavna kiša, modifikovana za hidrološki model, daje merodavni poplavni talas. Uticaj klimatskih promena na maksimalne proticaje može da se odredi ispitivanjem prošlih klimatskih epizoda ili budućih klimatskih scenarija. Radi lakšeg istraživanja uticaja urbanizacije, promena korišćenja zemljišta može da se kvantifikuje korišćenjem geografskog informacionog sistema.



Slika 1. Šematski prikaz metode kojom se sračunava promena merodavnih proticaja kao rezultat urbanizacije i klimatskih varijacija

CILJ ANALIZE

Jedan od osnovnih ciljeva istraživanja prikazanog u ovom radu je da se procene promene u veličini poplava na malim slivovima u severoistočnom Ilinoisu tokom poslednjih nekoliko decenija. Metodologija opisana u studiji je primenjena na 12 malih slivova površine ispod 100 km². Ova studija takođe ima za cilj da (i) proceni udeo svih komponenti u porastu velikih voda, pre svega klimatskih promena i urbanizacije; (ii) obezbedi metodu pomoću koje će se poboljšati procene budućeg rasta poplava, radi što efikasnijeg planiranja odbrane od poplava; (iii) doprinese planiranju prioriteta budućih studija poplava; (iv) sračuna poplavne talase i uporedi ih sa zvaničnim podacima o očekivanim poplavama datog povratnog perioda (FEMA, USGS), (v) posluži kao osnova za analize budućih promena u ovim slivovima.

GEOGRAFSKI PODACI O SLIVOVIMA

Slika 2 prikazuje lokaciju 12 slivova čije su poplave analizirane u ovoj studiji. Podaci o slivovima su prikazani u tabeli 1. Slivovi su izabrani na bazi sledećeg:

- Slivovi se nalaze u severoistočnom Ilinoisu, na periferiji Čikaga
- Površina sliva je ispod 100 km².
- Kontinualna osmatranja poplavnih talasa raspoloživa pre i posle perioda intenzivne urbanizacije koji je počeo u kasnim hiljadu devetsto pedesetim, i uglavnom završen u poslednjih deset godina.

Osmotreni proticaji u toku dveju poplava: iz oktobra 1954. godine i iz jula 1996. godine su dobijene iz dva

izveštaja agencije USGS (Daniels i Hale, 1958, i Holmes i Kupka, 1997). Podaci o padavinama su

dobijeni iz dva izvora (Midwestern Climate Center i National Weather Service i National Weather Service).

Tabela 1. Vodomerne stanice korišćene u studiji

No.	Vodotok	Broj stanice USGS	Lokacija	Početa godina	Završna godina	Površina sliva (km ²)
1	McDonald Creek	05529500	Cook	1953	2005	20.2
2	Tinley Creek	05536500	Cook	1952	2005	28.7
3	West Fork North Branch Chicago River	05535500	Cook	1953	2005	29.4
4	Midlothian Creek	05536340	Cook	1951	2005	32.3
5	Skokie River	05535000	Lake	1952	2005	33.3
6	Flag Creek	05533000	Cook	1952	2005	42.2
7	Addison Creek	05532000	Cook	1952	2005	45.8
8	North Branch Chicago River	05534500	Lake	1953	2005	50.4
9	Long Run	05537500	Cook	1952	2005	53.5
10	Deer Creek	05536235	Cook	1949	2005	59.1
11	Butterfield Creek	05536255	Cook	1949	2005	60.2
12	Poplar Creek	05550500	Cook	1952	2005	90.1

TREND MAKSIMALNIH GODIŠNJIH PROTICAJA

Trendovi na slivovima u ovoj studiji analizirani su korišćenjem Kendalovog τ testa. Rezultati analize trenda su prikazani u tabeli 2. Testovi ukazuju na postojanje statistički značajnog trenda na gotovo svim slivovima, uz varijabilni nivo značajnosti, od 99% za Skokie River i North Branch Chicago River, pa do 80% za McDonald Creek. Midlothian Creek je jedini vodotok, koji nema statistički značajan trend. Postojanje trenda kao i činjenica da su vremenske serije nehomogene ukazuje na neophodnost korišćenja modela padavine-oticaaj.

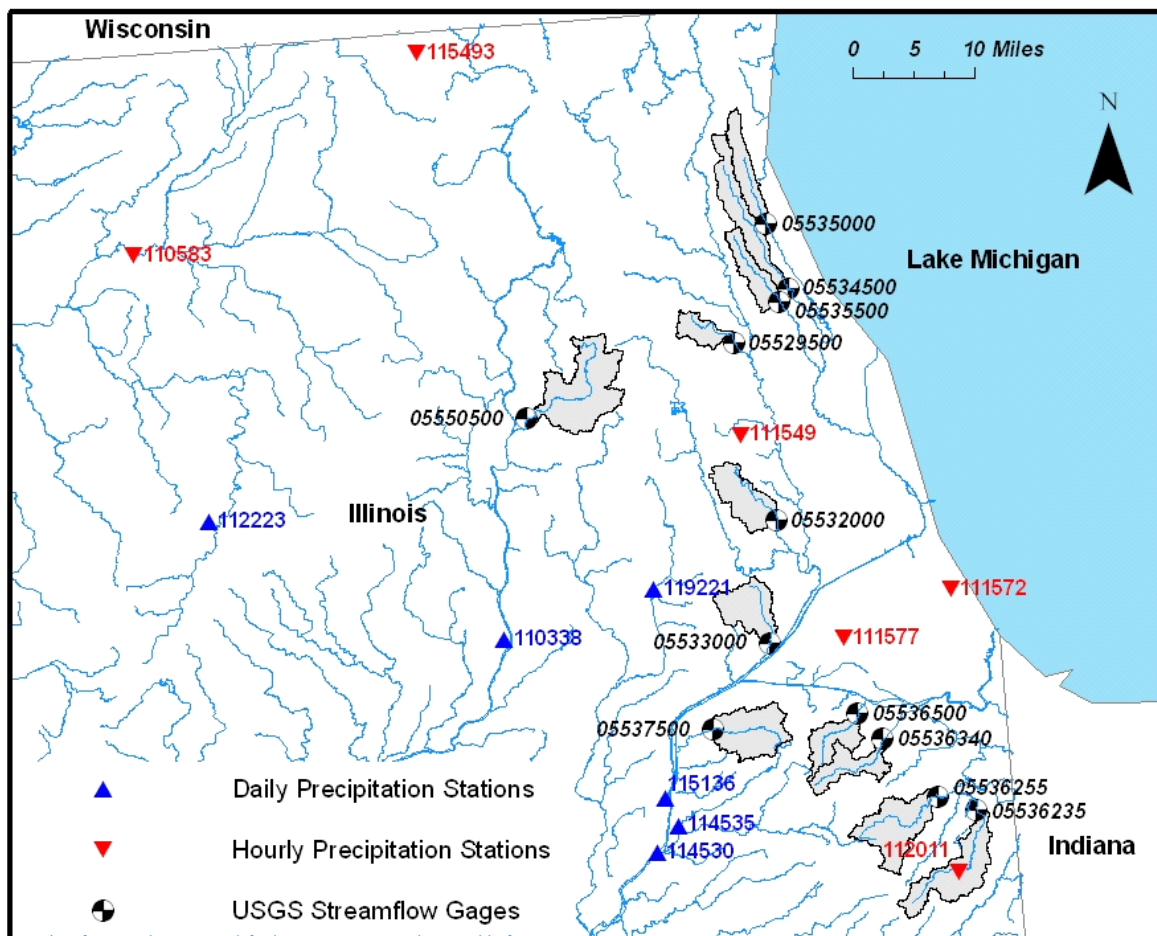
METODA L-MOMENATA

Ekstremne pojave, kao što su kiše, suše ili poplave, imaju veliki značaj za čovekovu okolinu. Ocena ekstremnih događaja je otežana činjenicom da su raspoložive vremenske serije često nedovoljno dugačke. Tako se naprimer stogodišnja velika voda često sračunava na bazi raspoložive vremeske serije koja je mnogo kraća od sto godina. Među pokušajima da se ovaj problem reši je "zamena prostora za vreme", gde se svi podaci iz određenog regiona koriste da se sračuna regionalna kumulativna funkcija raspodele (Hosking et

al., 1985; Lettenmaier i Potter, 1985; Lettenmaier et al., 1987; Potter i Lettenmaier, 1990). Jedna od regionalnih metoda za analizu učestalosti je metoda L-momenata (Hosking i Wallis, 1997). L-momenti mogu da se sračunaju kao linearna kombinacija statistički ponderisanih momenata uređenog uzorka. Pokazalo se da L-momenti imaju mnoge teorijske i praktične prednosti u odnosu na konvencionalne momente (Hosking, 1990; Dalen, 1987).

Bezdimenzioni količnici L-momenata se dobiju kada se L-moment drugog reda podeli L-momentom prvog reda, i kada se L-momenti višeg reda podele L-momentom drugog reda (jednačina 1). Simboli u jednačini predstavljaju bezdimenzione koeficijente varijacije (L-CV), asimetrije (L-S) i spljoštenosti (L-K) hidrološke promenljive, sračunate na bazi L-momenata.

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, & (L - CV) \\ \tau_3 &= \frac{\lambda_3}{\lambda_2}, & (L - S) \\ \tau_4 &= \frac{\lambda_4}{\lambda_2}, & (L - K) \\ &\vdots & \end{aligned} \quad (1)$$



Slika 2. Kišomeri, vodomerne stanice i slivovi iz studije

Tabela 2. Rezultati Kendal τ testa za različite nivoe statističkog značaja. Simbol "x" označava statistički značajne trendove.

No.	Vodotok	USGS broj stanice	Kendal τ	Statistički značaj (%)				
				80	90	95	98	99
1	McDonald Creek	05529500	0.1373	x				
2	Tinley Creek	05536500	0.1792	x	x			
3	West Fork North Branch Chicago River	05535500	0.2300	x	x	x	x	
4	Midlothian Creek	05536340	-0.0552					
5	Skokie River	05535000	0.3215	x	x	x	x	x
6	Flag Creek	05533000	0.1880	x	x	x		
7	Addison Creek	05532000	0.2313	x	x	x	x	
8	North Branch Chicago River	05534500	0.4351	x	x	x	x	x
9	Long Run	05537500	0.1565	x	x			
10	Deer Creek	05536235	0.2218	x	x	x	x	
11	Butterfield Creek	05536255	0.1736	x	x			
12	Poplar Creek	05550500	0.3839	x	x	x	x	x

L-momenti iz jednačine 1 se rešavaju uz pomoć sledećih jednačina baziranih na Legendre-ovim polinomima:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \beta_0 \\ \lambda_2 &= 2\beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 &= 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \\ \lambda_4 &= 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0\end{aligned}\quad (2)$$

Koeficijenti u jednačinama 2 su statistički ponderisani momenti uređenog uzorka i računaju se pomoću sledećih jednačina (Greenwood et al. 1979)

$$\begin{aligned}\beta_0 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \\ \beta_r &= \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_j\end{aligned}\quad (3)$$

gde su x_j , $j=1, \dots, n$ vrednosti osmotrenih podataka uređenih od najmanjeg do najvećeg; n je broj podataka u osmotrenom uzorku.

Tabela 3. Šest kišomernih stanica sa najdužom serijom neprekidnih osmatranja na periferiji Čikaga

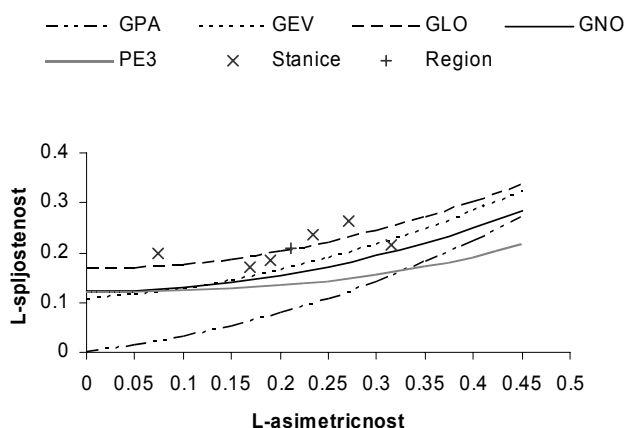
Broj stanice	Geografska dužina	Geografska širina	Nadmorska visina (m)	Period osmatranja	Naziv stanice
110583	-88.83	42.25	248	1948-2004	BELVIDERE
111549	-87.90	42.00	201	1962-2004	CHICAGO_O'HARE
111572	-87.60	41.78	181	1948-2004	CHICAGO_UNIVERSITY
111577	-87.77	41.73	189	1948-2004	CHICAGO_MIDWAY
112011	-87.63	41.45	202	1948-2004	CRETE
115493	-88.23	42.28	226	1948-2004	MCHENRY LOCK & DAM

U regionalnoj analizi je važno da se odredi raspodela koja najbolje opisuje ceo region. Za ovaj zadatak se koristi dijagram bezdimenzionih količnika L-momenata (slika 3), sa koga se vidi koja distribucija je najbolja za osmotreni uzorak. Na bazi slike 3 može da se zaključi da se uopštena logistička raspodela (GLO) najbolje prilagođava podacima na 6 kišomera. Ostale raspodele čija prilagođenost podacima je testirana su raspodela uopštenih ekstremnih vrednosti (GEV), uopštena normalna raspodela (GNO), uopštena Pareto raspodela (GPA) i Pirson III raspodela (PE3). Vrednosti stogodišnjih dnevnih kiša su prikazane u tabeli 4.

Na osnovu sračunatih L-momenata i njihovih bezdimenzionih količnika mogu da se sračunaju parametri raznih raspodela. Svaka raspodela ima poseban način proračuna L-momenata (Hosking i Wallis, 1997). Preliminarnim analizama se prvo ustanovi koja raspodela najbolje opisuje podatke, pa se onda sračunaju njeni parametri.

ANALIZA PADAVINA

U severoistočnom Ilinoisu postoji 6 kišomera sa kontinualnim periodom osmatranja dužim od 40 godina i intervalom od 15 minuta. I pored značaja padavina u oblasti grada, u samom gradu ne postoji puno pouzdanih stanica, jer su zbog razvoja, gradske stanice često izmeštane ili ukidane. Pregled kišomernih stanica korišćenih u ovoj studiji je prikazan u tabeli 3.



Slika 3. Dijagram bezdimenzionih količnika L-momenata

Tabela 4 Stogodišnje kiše trajanja 24 časa sračunate metodom L-momenata

Naziv Stanice	P ₁₀₀ (cm)	Interval poverenja (90%)	
Belvedere	17.74	15.89	19.94
Chicago O'Hare	18.19	16.29	20.45
Chicago University	17.12	15.34	19.25
Chicago Midway	19.65	17.60	22.09
Crete	17.71	15.86	19.91
McHenry Lock & Dam	15.26	13.67	17.16

URBANIZACIJA I HIDROLOŠKE ANALIZE

Promene korišćenja zemljišta sa poljoprivrednog na urbano utiče na mnoge druge promene, uključujući i hidrološke. Urbanizacija po pravilu utiče na smanjenje vremena koncentracije poplavnih talasa, i samim tim, na povećanje maksimalnih proticaja za vreme poplava. Primer intenzivne urbanizacije sliva Poplar Creek je

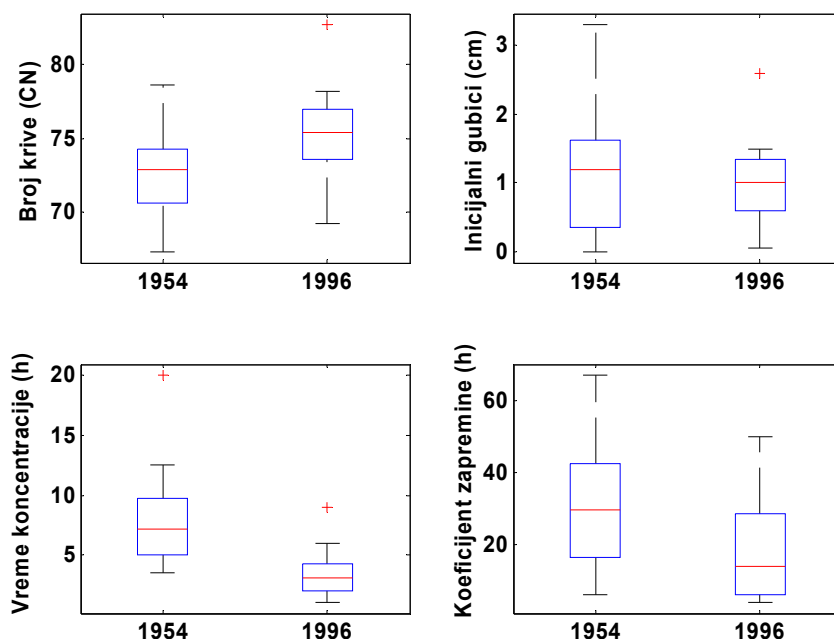
prikazan na slici 4, dok slika 5 pokazuje kako su se menjali parametri modela između 1954. i 1996. godine.

Hidrološke analize su bazirane na HEC-HMS modelu. Parametri modela: broj krive, inicijalni gubici, koeficijent zapremine i vreme koncentracije su određeni kalibracijom poplava iz 1954 i 1996. Sumarni rezultati su prikazani na slici 5, gde su uporedno prikazani minimum, kvartili i maksimum (Box-Whisker dijagram). Sa slike je evidentan porast vrednosti broja krive, kao i smanjenje vremena koncentracije i koeficijenta zapremine, dok inicijalni gubici nisu pokazali značajan trend, ali im je smanjena disperzija.

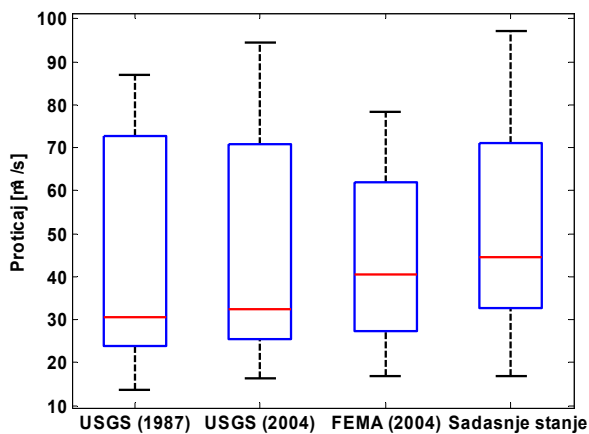
Nakon određivanja merodavnih padavina, parametara hidrološkog modela, sračunati su merodavni proticaji. Ovi proticaji su upoređeni sa sračunatim stogodišnjim proticajima na istim lokacijama (slika 6) objavljenim u nizu publikacija kao sto su USGS (1987), USGS (2004), FEMA (2004). Proračuni velikih voda u sadašnjem stanju, koji uzimaju u obzir povećanje u padavinama i urbanizaciju, ukazuju na porast velikih voda u odnosu na prethodne studije. Najznačajniji je porast stogodišnjih voda u medijani i u donjem kvartilu.



Slika 4. Karta korišćenja zemljišta 1954. (levo) i 1996 (desno) u slivu Poplar Creek blizu mesta Elgin u severoistočnom Ilinoisu



Slika 5. Parametri hidrološkog modela



Slika 6. Sračunate vrednosti Q_{100} na bazi raznih studija

ZAKLJUČCI

- Ocenjene vrednosti Q_{100} na malim slivovima na periferiji Čikaga su porasle u toku proteklih nekoliko decenija sto se objašnjava porastom padavina i intenzivnom urbanizacijom na području slivova.

- Savezne agencije su u proseku potcenile Q_{100} . Ovo može da se objasni zanemarivanjem trenda u maksimalnim proticajima, koji je rezultat povećanog intenziteta kiša ili promene u zemljištu (USGS 1987, USGS 2004), ili time što se u nekim slučajevima zvanično prihvaćene vrednosti Q_{100} baziraju na zastarelim podacima i proračunima (FEMA, 2004)
- Analizama predstavljenim u ovoj studiji može da se proceni doprinos svakog faktora porasta stogodišnjih voda ponaosob.
- Predstavljene analize mogu da posluže kao osnova za vodoprivredno planiranje u slučaju raznih hipotetičkih budućih promena u merodavnim padavinama i u stepenu urbanizacije.

LITERATURA

- [1] Changnon, S. i Westcott, N., Heavy Rainstorms in Chicago: Increasing Frequency, Altered Impacts, and Future Implications, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 38, No. 5. October 2002.

- [2] Dalen, J., Algebraic bounds on standardized sample moments, *Statistics and Probability Letters*, **5**, 329-31, 1987.
- [3] Daniels, Warren S. i Malcolm D. Hale, 1958. Floods of October 1954 in the Chicago Area Illinois and Indiana, US Geological Survey Water-Supply Paper 1370-B. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- [4] Dreher, D.W. i Price, T.H., 1997. Reducing the impacts of Urban Runoff: The Advantages of Alternative Site Design Approaches. Northeastern Illinois Planning Commission, Chicago, IL.
- [5] Federal Emergency Management Agency (FEMA), Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners, Appendix C: Guidance for Riverine Flooding Analyses and Mapping, April 2003 (http://www.fema.gov/pdf/fhm/frm_gsac.pdf)
- [6] Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2000. Flood Insurance Study, Cook County, Illinois and Incorporated Areas. Volumes 1 through 5, Washington, D.C.
- [7] Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1995. Flood Insurance Study Guidelines and Specifications for Study Contractors, FEMA-37.
- [8] Greenwood, J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas, and J. R. Wallis, Probability weighted moments: Definitions and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form, *Water Resour. Res.*, **15**(6), 1049–1054, 1979.
- [9] Holmes, R.R., Jr., i Kupka, A.L., 1997. Floods of July 18-20, 1996, in Northern Illinois. U.S. Geological Survey OFR 97-425.
- [10] Hosking J.R.M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. Roy. Stat. Soc.*, **52B**
- [11] Hosking J.R.M., Wallis J.R., Wood E.F. 1985. Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, **27**, 251-261
- [12] Hosking J.R.M., Wallis J.R. 1997. Regional Frequency Analysis. An Approach Based on L-moments. Cambridge Univ. Press, Cambridge, New York, Melbourne, 224 pp.
- [13] Huff, F. i J. Angel, Frequency Distributions and Hydroclimatic Characteristics of Heavy Rainstorms in Illinois, Illinois State Water Survey, Bulletin 70, 1989
- [14] Lettenmaier D.P., i Potter, K.W., 1985, "Testing Flood Frequency Estimation Methods Using a Regional Flood Generation Model", *Water Resources Research*, **21**(12):1903-1914.
- [15] Lettenmaier, D.P., Wallis, J.R., i Wood, E.F., 1987, "Effect of Regional Heterogeneity on Flood Frequency Estimation," *Water Resources Research*, **23**(2):313-324.
- [16] Northeastern Illinois Planning Commission, Strategic Plan for Water Resource Management, 2002
- [17] Potter K.W. i Lettenmaier, D.P., 1990, "A Comparison of Regional Flood Frequency Estimation Methods Using Bootstrap Statistics," *Water Resources Research*, Vol. 26. No. 3
- [18] Thomas, W.O., A Uniform Technique for Flood Frequency Analysis, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 111, No. 3, July 1985, pp. 321-337
- [19] United States Geological Survey (USGS), Guidelines for Determining Flood Flow Frequency, Bulletin 17B of the Hydrology Subcommittee, Interagency Advisory Committee on Water Data, March, 1982
- [20] Young, P., Recursive Estimation and Time-Series Analysis – An Introduction, Springer-Verlag, Berlin, 1984.

ANALYSIS OF THE CHANGES IN FLOODS ON SMALL WATERSHEDS IN NORTHEASTERN ILLINOIS

by

Momčilo MARKUŠ

Illinois State Water Survey, University of Illinois, Champaign, Illinois, USA

Summary

Trend analysis of the annual flood peaks on twelve small urbanizing watersheds in the northeastern Illinois indicated that the annual peaks increased in the recent decades. The increase in peaks can be explained by intensive urbanization, which is generally considered a major contributor to the increase in flood peaks. In addition, recent precipitation studies pointed to increasing intensity and frequency of the heavy rainfall, which could have further increased the flood peaks. Precipitation frequency analysis for different time periods was calculated based on L-moments, hydrologic parameters for different land-use categories were determined using Geographical Information

System (GIS), and hydrologic analysis was performed using the HEC-HMS model. This study quantified the increase in flood peaks between 1954 and 1996; quantified the increase in calculated design precipitation; identified the land-use changes in the watershed areas; compared the published regulatory discharges with flood discharges computed for current conditions; and provided tools to analyze future land use and climate scenarios.

Keywords: small watersheds, high flows, floods, urbanization, climate change

Redigovano 16.08.2006.