

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvorna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Menih, M., Bezak, N., Šraj, M. 2015. Vpliv podnebne spremenljivosti na rezultate verjetnostnih analiz visokovodnih konic: primer vodomerne postaje Litija na reki Savi. V: Kuhar, M. (ur.), et al. 20. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 29. januar 2015. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2014 : zbornik del. Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 23-34.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2015/3%20SZGG_2015_Menih_Bezak_Sraj.pdf

Vpliv podnebne spremenljivosti na rezultate verjetnostih analiz visokovodnih konic: primer vodomerne postaje Litija na reki Savi

Matevž Menih, Nejc Bezak in Mojca Šraj*

Povzetek

V prispevku so predstavljeni rezultati verjetnostih analiz visokovodnih konic za različna 30-letna obdobja, kjer so bili uporabljeni podatki z vodomerne postaje Litija na reki Savi. Z uporabo metode letnih maksimumov smo tako analizirali 110 let dnevnih vrednosti pretokov od leta 1901 do 2010. V analizi so bile uporabljene različne teoretične porazdelitvene funkcije in metoda momentov L za oceno njihovih parametrov. Z uporabo različnih kriterijev ustreznosti smo za vsako obdobje izbrali porazdelitev, ki se najbolj prilega merjenim podatkom. Primerjali smo projektne pretoke izbranih povratnih dob med posameznimi 30-letnimi obdobji ter ugotovili, da lahko izbrano obdobje meritev pomembno vpliva na rezultate verjetnostnih analiz oz. da ima spremenljivost podnebja pomemben vpliv tudi na projektne pretoke.

Ključne besede: metoda letnih maksimumov, metoda momentov L, verjetnostna analiza visokih vod, Mann-Kendall test

Key words: annual maximum series method, method of L-moments, flood frequency analysis, Mann-Kendall test

Uvod

Poplave so običajno naraven in izredno dinamičen pojav. V Sloveniji je njihov nastanek povezan z močnimi nalivi velikih intenzitet, dolgo trajajočimi padavinami zmernih intenzitet, taljenjem snega ter kombinacijo padavin ter taljenja snega. Manjše poplave ne povzročijo veliko škode, ko pa pride do večjih poplav, pa gre za naravne nesreče, pri katerih je lahko povzročena večja materialna škoda, ki je posledica človeške prisotnosti na poplavnih območjih in pri katerih lahko pride tudi do človeških žrtev (Brilly et al., 1999).

Ogroženost, ranljivost in nevarnost opredeljujejo varstvo pred vodnimi ujmami. Ogroženost posameznega območja določata ranljivost, ki določa ceno škode, ki je bila povzročena na človeških dejavnostih in nevarnost, katera določa stopnjo verjetnosti pojava poplav in naravne pogoje za le-te. Ker je nastala gmotna škoda zaradi katastrofalnih poplav običajno velikih razsežnosti, popolne zaščite pa ni, lahko z uporabo pravih verjetnostnih analiz veliko pripomoremo k zmanjšanju materialne škode (Brilly et al., 1999).

Cilj zaščite pred poplavami na družbeno sprejemljivo raven je zmanjševanje posledic poplav (Brilly et al., 1999). Ko se visoka gladina vode prelije čez rob struge in se razlije po okolici, pride do pojava preplavljanja. Gladina vode pa upada počasneje, kot se je dvigala (Mikoš et al., 2002).

Soodvisnost med pretokom (Q) in povratno dobo (T) imenujemo verjetnost pojava poplav (Brilly et al., 1999). Povratna doba je interval časa, v katerem bo dogodek dosežen ali presežen (Brilly in Šraj, 2005). Če želimo ugotoviti povezavo med pretokom in povratno dobo (Q - T povezava) je treba najprej izvesti kvalitetne meritve pretoka, nato pa lahko preko različnih statističnih metod dobimo povezavo Q - T , ki je za vsako vodomerno

* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

postajo edinstvena (Bezák, 2012). Analize v Sloveniji kažejo, da se ekstremni poplavni dogodki v zadnjih dveh desetletjih pojavljajo pogosteje kot prej, kar bi lahko imelo vpliv tudi na ocenjene projektne pretoke.

Zemljino podnebje se je vedno spreminjalo. V zgodovini Zemlje je bilo veliko obdobj, ko je bilo mnogo topleje in tudi mnogo hladneje kot danes. Svet je bil prekrit s tropskimi gozdovi ali z ledenimi prostranstvi. Trenutni trend segrevanja Zemlje lahko sledimo vsaj 200 let nazaj t.j. od zadnjega zelo hladnega obdobja, imenovanega mala ledena doba. V preteklosti pa so bila obdobja, ko so bile temperature precej višje od današnjih (srednjeveško toplo obdobje, holocenski maksimum) (Durkin, 2007). Podnebna spremenljivost je torej dokazana, vzroki zanjo pa so še vedno velika polemika.

Namen te raziskave je ugotoviti vpliv izbranega obdobja meritev oz. vpliv podnebne spremenljivosti na rezultate verjetnostnih analiz visokovodnih konic oz. na projektne pretoke.

Podatki

Vodomerna postaja Litija na reki Savi (Slika 1) je najstarejša postaja Agencije RS za okolje (Frantar & Hrvatin, 2008). Z meritvami so se začeli ukvarjati že leta 1893, leta 1953 pa je bila postaja prestavljena nekaj sto metrov gorvodno. Meritve se od takrat izvajajo z limnigrafom Seba Omega (Bezák et al., 2012). Osnovna analiza podatkov je bila narejena z dnevnimi vrednostmi pretokov, ki so bili izmerjeni na vodomerni postaji Litija (Litija I) na reki Savi in nam jih je posredovala Agencija RS za okolje (ARSO, 2014a). V analizi smo upoštevali niz 110-ih let podatkov (1901-2010). Vzorce za verjetnostne analize visokovodnih konic smo določili po metodi letnih maksimumov. Podatke smo razdelili na 30-letna obdobja s korakom 10 let (Bezák et al., 2014) in tako smo dobili 9 obdobj, ter za vsako od teh izvedli verjetnostne analize.



Slika 1: Vodomerne postaje na Litija I na reki Savi – lokacija in vodomerne letove (ARSO, 2014b)

Metode

Magnitudo hidrološkega pojava z njegovo pogostostjo povezujejo verjetnostne analize, ki nam omogočajo, da lahko določimo pogostost ekstremnih dogodkov, kot so npr. poplave in ekstremni padavinski dogodki, za povratne dobe, ki so daljše od opazovanega obdobja. Temelj verjetnostnih analiz so tri osnovne predpostavke (Beguería, 2005):

- Za ekstremne dogodke velja, da so slučajne spremenljivke, zato jih lahko opišemo z verjetnostnimi porazdelitvami;
- Obravnavan vzorec je homogen;
- Neodvisnost podatkov.

Za učinkovito načrtovanje hidrotehničnih objektov ter razumevanje vodnih procesov so verjetnostne analize nujne. Kot rezultat teh analiz dobimo zvezo med pretokom in povratno dobo ($Q-T$). V verjetnostnih analizah so najpogosteje upoštevane visokovodne konice oziroma ekstremne vrednosti. Za metodo letnih maksimumov velja, da vzorec vsebuje največje pretoke v posameznem letu. Tako dobimo v vzorcu toliko elementov, kolikor let obravnavamo.

Metoda letnih maksimumov se v hidrologiji za izvedbo verjetnostnih analiz uporablja najpogosteje, ker je vzorec enostavno izbrati. Elementi v vzorcu predstavljajo maksimalne vrednosti pretokov vsakega leta, zaradi tega večinoma ne pride do težav z odvisnostjo posameznih elementov vzorca, razen v primerih, ko se ekstremni dogodek zgodi proti koncu ali v začetku koledarskega leta (Hosking in Wallis, 1997). Slabost te metode je, da lahko pride do neupoštevanja dogodkov, ki sicer niso bili največji v določenem letu, so pa bili dovolj veliki, da bi se jih v analizi moralo upoštevati. Pri metodi letnih maksimumov predstavlja povratna doba povprečni interval časa, v katerem se je zgodil eden ali več dogodkov, ki so večji od izbranega pretoka.

Za verjetnostno analizo visokovodnih konic z uporabo metode letnih maksimumov se v svetu najpogosteje uporabljajo naslednje teoretične porazdelitve: Gumbelova porazdelitev (G), generalizirana porazdelitev ekstremnih vrednosti (GEV), generalizirana logistična porazdelitev (GL), logaritemsko Pearsonova 3 porazdelitev (LP3), Pearsonova 3 porazdelitve (P3) in logaritemsko normalna porazdelitev (LN). Za oceno parametrov teoretičnih porazdelitev se lahko uporabljajo različne metode kot npr.: metoda momentov, metoda momentov L in metoda največjega verjetja. Izbira metode za ocenjevanje parametrov lahko bistveno vpliva na rezultate verjetnostne analize (Bezak, 2012; Hosking in Wallis, 1997; Sankarasubramanian in Srinivasan, 1999). V nadaljevanju je predstavljena metoda momentov L, ki je bila uporabljena tudi v naših analizah.

Metoda momentov L temelji na posebnih momentih L, je računsko dokaj enostavna in izhaja iz metode verjetnostno obteženih momentov (angl. *Probability weighted moments*) (Hosking in Wallis, 1997). Momenti L so bolj primerni za uporabo v primeru majhnih vzorcev in so manj občutljivi na osamelce, ki se lahko nahajajo v vzorcu (Hosking in Wallis, 1997). Ocene momentov temeljijo na vzorcu z velikostjo n , ki je razporejen v naraščajočem vrstnem redu. Ocenjene vrednosti verjetnostno obteženih momentov so zapisane z naslednjimi izrazi (Hosking in Wallis, 1997):

$$\begin{aligned}b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j, \\b_1 &= \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_j, \\b_2 &= \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_j,\end{aligned}$$

$$b_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=4}^n \frac{(j-1)(j-2)(j-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} x_j, \quad (1)$$

kjer je (Hosking in Wallis, 1997):

n velikost vzorca,
 x_j j -ti element vzorca.

S pomočjo enačb (1) zapišemo vrednosti momentov L (Hosking in Wallis, 1997):

$$\begin{aligned} l_1 &= b_0, \\ l_2 &= 2b_1 - b_0, \\ l_3 &= 6b_2 - 6b_1 + b_0, \\ l_4 &= 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Razmerje momentov L (angl. *L-moment ratios*) tj. koeficient variacije momentov L (t_2), koeficient simetrije momentov L (t_3) in sploščenost momentov L (t_4) lahko uporabimo za oceno parametrov porazdelitve ter jih izračunamo z naslednjimi izrazi (Hosking in Wallis, 1997):

$$\begin{aligned} t_2 &= l_2/l_1 && \text{koeficient variacije momentov L,} \\ t_3 &= l_3/l_2 && \text{koeficient asimetrije momentov L,} \\ t_4 &= l_4/l_1 && \text{sploščenost momentov L.} \end{aligned} \quad (3)$$

Po izvedbi verjetnostnih analiz je potrebno preveriti še ustreznost posamezne porazdelitve in izbrati tisto, katera se najbolj prilega merjenim podatkom. V svetu se uporablja veliko različnih kriterijev ustreznosti, nekateri so bolj, nekateri manj primerni za preverjanje ustreznosti porazdelitve. Največkrat se uporabljajo testne statistike kot so: *RMSE* (koren povprečne kvadratne napake), *MSE* (povprečna kvadratna napaka), *MAE* (povprečna absolutna napaka) in Pearsonov koeficient korelacije r . V nadaljevanju je podrobneje predstavljena testna statistika *RMSE*, ki smo jo uporabili v naših analizah.

RMSE kriterij ustreznosti (angl. *Root mean square error*) je eden izmed mnogih kriterijev za določitev najustrežnejše porazdelitve. V nadaljevanju je predstavljena enačba kriterija *RMSE*, ki jo določata izmerjen in izračunan pretok in pri katerem morajo biti izračunani podatki oziroma pretoki urejeni po vrstnem redu od najmanjšega do največjega. Povratno dobo posameznega pretoka lahko določimo z Weibullovo empirično enačbo (Maidment, 1993).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - Q_{max,i})^2}, \quad (4)$$

kjer je:

x_i izračunana vrednost pretoka za izbrano porazdelitev,
 $Q_{max,i}$ izmerjena vrednost pretoka.

Rezultatov kriterija *RMSE* ne moremo ovrednotiti kot dobrih ali slabih, ampak lahko na podlagi rezultatov kriterija ustreznosti izberemo najprimernejšo porazdelitev. Izberemo lahko tisto porazdelitev, pri kateri so rezultati kriterija ustreznosti *RMSE* najmanjši. Pri tem velja opozoriti, da imajo osamelci v nekaterih primerih lahko velik vpliv na izračunano vrednost (Swanson et al., 2011).

Za zaznavanje trenda v podatkih smo v raziskavi uporabili Mann-Kendallov test, saj je po mnenju mnogih raziskovalcev za tovrstne analize izredno učinkovit (Hirsch et al., 1982; Gan, 1992; Kundzewicz in Robson, 2000). V analizah hidroloških podatkov velja Mann-Kendallov test za enega izmed najširše uporabljenih robustnih ne-parametričnih testov na trend. Test služi za identifikacijo pomembnih trendov v spremenljivkah in je zasnovan na »tau« statistiki ter ima dva parametra, to sta stopnja značilnosti (angl. *Significance level*), ki označuje moč trenda in velikost obsega (angl. *slope magnitude estimate*), ki označuje smer in obseg trenda (Jurko, 2009). Osnova Mann-Kendallovega testa je rangiranje podatkovnih nizov, pri čemer se predpostavlja, da so podatki neodvisni in identično porazdeljeni, v nasprotnem primeru bi pozitivna serijska korelacija povečala možnost statistično značilnega trenda. Mann-Kendall test se lahko uporabi za zaznavanje postopne spremembe ali trenda v časovnih nizih.

Vse analize so bile izvedene s programskim orodjem R (R-project, 2014). Program R oziroma vmesnik tega programa R Studio je prosto dostopen in odprtokodni program, ki se večinoma uporablja za statistične analize in je po zmogljivosti primerljiv z ostalimi programi kot je na primer Matlab. Poleg operacijskega sistema Windows ga je mogoče poganjati tudi na Linux in Mac OS X. R je torej okolje, v katerem se lahko izvajajo statistične analize različne zahtevnosti in programski jezik, ki omogoča mnogo več kot le izvajanje osnovnih statističnih analiz.

Rezultati in analiza

Kot je bilo že uvodoma omenjeno, nas je zanimalo, če vse pogostejši ekstremni poplavni dogodki, ki se dogajajo v Sloveniji v zadnjem času, vplivajo na ocenjene projektne pretoke. Tako smo torej 110-letno obdobje meritev na postaji Litija razdelili na 30-letna obdobja s korakom 10 let in tako dobili 9 obdobj, ter vsako posebej analizirali. V preglednici 1 so predstavljeni rezultati verjetnostne analize za vseh devet obravnavanih 30-letnih obdobj in za celotno obdobje (1901-2010) za izbrane povratne dobe (T10, T50, T100 in T500) ter pripadajoča najustreznejša porazdelitev, ki je bila izbrana na podlagi rezultatov kriterija ustreznosti *RMSE* (preglednica 2). Poleg tega testne statistike *RMSE*, smo izračunali še nekaj drugih testnih statistik kot so: *MAE*, *MSE* in *r* (Pearsonov koeficient korelacije), ki pa jih v prispevku nismo predstavili. Kot najustreznejšo smo izbrali tisto porazdelitev, kjer je bila vrednost kriterija ustreznosti najmanjša.

Preglednica 1: Primerjava projektnih pretokov izbranih povratnih dob za posamezna 30-letna obdobja ter izbrana najustreznejša teoretična porazdelitev na desni strani.

	G	PE3	GEV	GL	LN	LP3	
1901-1930							
T10	1805	1803	1803	1771	1818	1811	LP3
T50	2327	2236	2246	2299	2311	2269	
T100	2548	2405	2418	2552	2516	2453	
T500	3059	2774	2781	3225	2987	2866	

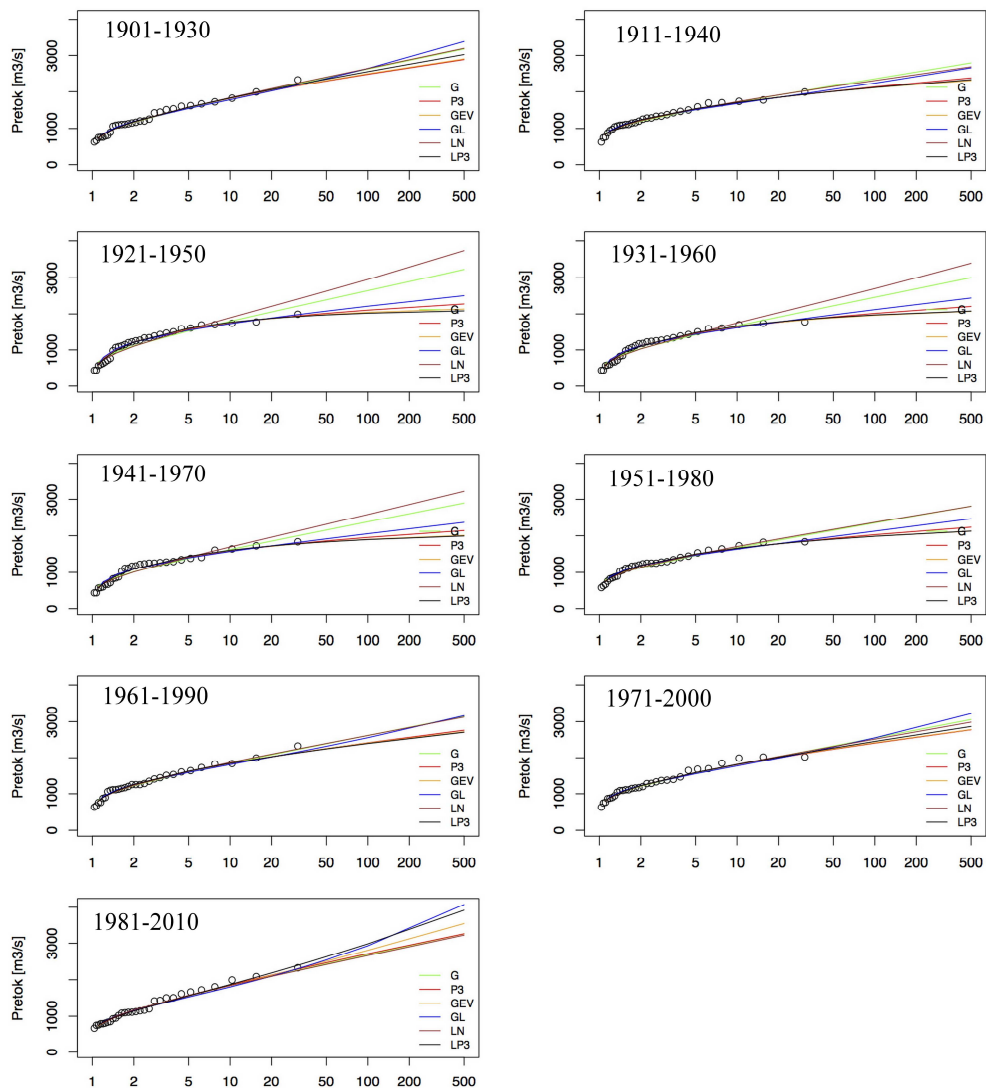
	G	PE3	GEV	GL	LN	LP3	
1911 - 1940							
T10	1713	1699	1705	1680	1729	1706	GEV
T50	2163	2014	2007	2063	2139	2006	
T100	2353	2131	2110	2235	2306	2114	
T500	2793	2379	2305	2658	2686	2331	
1921-1950							
T10	1795	1741	1752	1727	1896	1766	LP3
T50	2392	2016	1984	2079	2632	1972	
T100	2645	2106	2045	2215	2955	2020	
T500	3229	2277	2135	2506	3737	2085	
1931-1960							
T10	1670	1629	1639	1614	1750	1656	LP3
T50	2226	1917	1890	1975	2412	1904	
T100	2461	2015	1961	2120	2701	1972	
T500	3004	2209	2072	2442	3397	2079	
1941 - 1970							
T10	1624	1585	1594	1570	1694	1605	LP3
T50	2154	1861	1835	1916	2313	1834	
T100	2379	1955	1903	2055	2581	1896	
T500	2897	2141	2011	2364	3224	2079	
1951 - 1980							
T10	1675	1649	1657	1634	1708	1659	GEV
T50	2148	1929	1912	1979	2173	1908	
T100	2348	2029	1990	2124	2366	1986	
T500	2810	2233	2123	2462	2810	2126	
1961 - 1990							
T10	1845	1837	1840	1808	1868	1843	LN
T50	2387	2256	2258	2318	2397	2245	
T100	2617	2416	2411	2556	2617	2394	
T500	3147	2763	2720	3167	3128	2706	
1971 - 2000							
T10	1818	1817	1816	1781	1837	1828	LN
T50	2384	2293	2305	2360	2402	2343	
T100	2624	2479	2495	2640	2640	2552	
T500	3177	2885	2904	3387	3197	3025	
1981 - 2010							
T10	1843	1862	1841	1804	1842	1872	PE3
T50	2434	2465	2506	2541	2416	2628	
T100	2683	2711	2806	2931	2658	2986	
T500	3261	3264	3546	4076	3226	3918	

	G	PE3	GEV	GL	LN	LP3	
Celotno obravnavano obdobje (1901-2010)							
T10	1775	1758	1765	1734	1810	1768	LP3
T50	2317	2136	2127	2196	2371	2126	
T100	2547	2277	2251	2402	2607	2251	
T500	3077	2576	2486	2911	3161	2494	

Rezultati so pokazali, da je za vodomerno postajo Litija na Savi najustreznejša teoretična porazdelitev logaritemsko Pearsonova 3 porazdelitev (LP3) (preglednica 1), ki je za 3 obdobja izkazala najmanjšo testno statistiko, za vsa ostala obdobja pa eno od najmanjših (preglednica 2). Grafični rezultati verjetnostih analiz visokovodnih konic za posamezna obdobja in za vse uporabljene porazdelitve so predstavljeni na sliki 2.

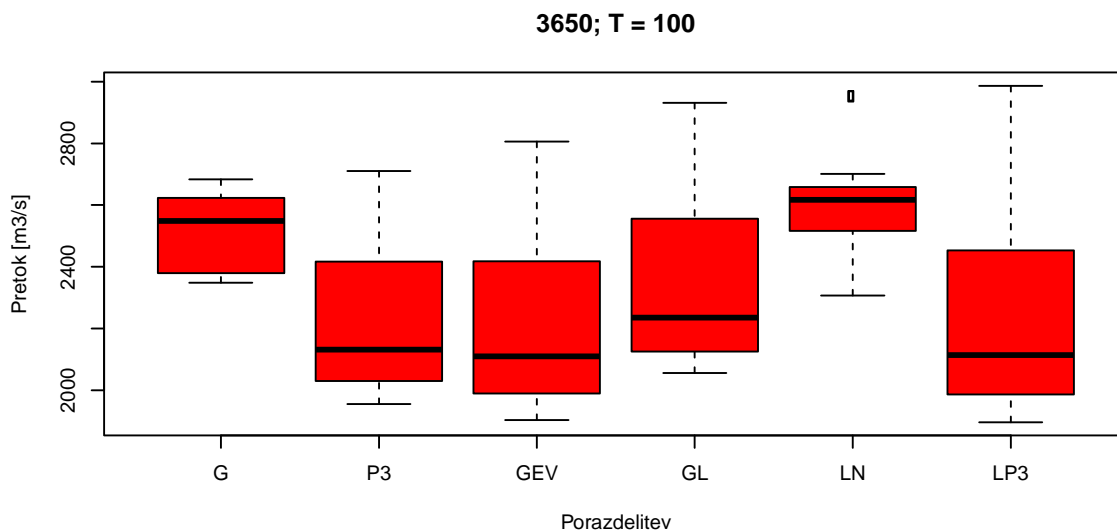
Preglednica 2: Rezultati testne statistike *RMSE* izbranih porazdelitev za vsa obravnavana 30-letna obdobja

obdobje/porazdelitev	G	PE3	GEV	GL	LN	LP3
1901-1930	66,09	59,69	60,1	70,76	60,4	59,41
1911-1940	53,39	37,95	37,39	41,77	42,05	37,56
1921-1950	120,9	67,03	62,87	81,08	143,17	58,34
1931-1960	104,75	61,81	56,94	76,27	120,36	52,88
1941-1970	98,81	68,59	66,8	77,01	108,76	65
1951-1980	72,12	44,57	43,28	51,34	64,73	43,75
1961-1990	55,99	53,98	53,39	55,43	49,07	54,38
1971-2000	60,3	59,63	59,97	68,04	55,55	56,98
1981-2010	65,99	56,89	65,84	80,58	66,4	60,73



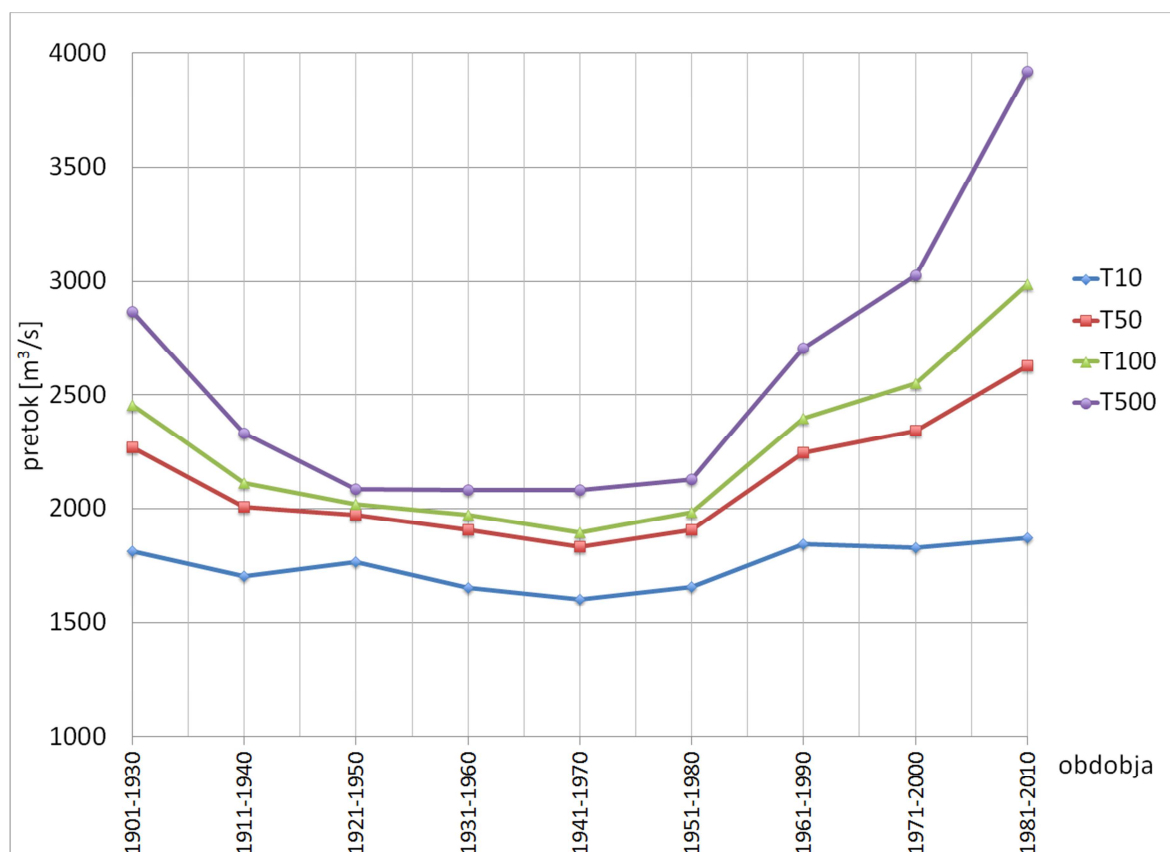
Slika 2: Grafični prikaz rezultatov verjetnostnih analiz z vsemi uporabljenimi teoretičnimi porazdelitvami za posamezna 30-letna obdobja.

Slika 3 prikazuje rezultate verjetnostnih analiz vseh obdobj z uporabo okvirjev z ročaji (angl. *box plot*) za povratno dobo 100 let za vse posamezne porazdelitve. Okvir z ročaji (Košmelj, 2001) je razdeljen na kvartile in ima pet značilnih točk. Srednja črta okvirja predstavlja mediano vzorca, spodnja stranica okvirja predstavlja 25 percentilov (prvi kvartil), zgornja pa 75 percentilov vzorca (tretji kvartil), medtem ko sta s črto z ročajem označeni minimalna in maksimalna vrednost vzorca (Brilly in Šraj, 2005). Vidimo, da najmanjši raztros ocenjenih projektnih pretokov izkazuje logaritemsko normalna porazdelitev (LN), največjega pa logaritemsko Pearsonova 3 porazdelitev (LP3). Seveda pa to ne more biti kriterij za izbiro porazdelitve, saj je LN porazdelitev dala ene najvišjih vrednosti statistik pri kriteriju ustreznosti (preglednica 2). Razlike so precejšnje tudi v samih vrednostih projektnih pretokov. Najvišjo mediano projektnih pretokov dobimo z LN porazdelitvijo, sledi Gumbelova, vse ostale pa imajo približno enak red velikosti (slika 3). Seveda razlike ocenjenih projektnih pretokov naraščajo s povratno dobo, kar je razvidno iz slike 2.



Slika 3: Rezultati verjetnostnih analiz posameznih obdobij za 100-letno povratno dobo in posamezne porazdelitve.

Če naredimo primerjavo projektnih pretokov (LP3) izbranih povratnih dob za posamezna 30-letna obdobja (slika 4) je razvidno, da ocenjene vrednosti projektnih pretokov, ki pripadajo izbranim povratnim dobam od petega obdobja (1941-1970) naprej rastejo, medtem ko so do tega obdobja rahlo padale. Najvišje vrednosti projektnih pretokov izkazuje zadnje 30-letno obdobje (1981-2010), kar je bilo nekako pričakovano, saj se v Sloveniji ekstremni padavinski dogodki in s tem tudi poplave v zadnjih dveh desetletjih pojavljajo pogosteje kot prej (Kobold, 2011). Razlike v projektnih pretokih pa se s povratno dobo povečujejo in so najočitnejše za 100- in 500-letno povratno dobo (slika 4).



Slika 4: Prikaz spreminjanja projektnih pretokov izbranih povratnih dob za 30-letna obdobja meritev z izbrano logaritemsko Pearsonovo 3 porazdelitvijo

Poleg verjetnostnih analiz visokovodnih konic smo ugotavljali tudi trend v obravnavanem vzorcu maksimalnih pretokov. Uporabili smo statistični Mann-Kendallov test, ki je dal vrednost testne statistike τ enako $-0,0372$ in p -vrednost $0,5663$, kar pomeni, da je trend celotnega vzorca maksimalnih pretokov na Savi rahlo padajoč, a ni statistično značilen (s stopnjo zaupanja $0,05$). Rezultat kaže, da celoten vzorec maksimalnih pretokov v povprečju praktično skoraj ne kaže nobenega trenda, saj se naraščajoči trend zadnjih desetletij izgubi v padajočem trendu do leta 1941. To pa je še en pokazatelj, ki kaže, da obravnava celotnih nizov meritev pri verjetnostnih analizah lahko podceni projektne pretoke.

Zaključki

Poplave so naraven in zelo dinamičen pojav, povzročena škoda pa je posledica človeške dejavnosti. Varovanje človeških življenj in zmanjšanje gospodarske škode sta cilja zaščite pred poplavami. S pasivnimi ukrepi za zaščito pred poplavami varujemo pred posledicami, z aktivnimi pa vplivamo na obliko in naravo pojava (zmanjšanje trajanja in velikosti) (Brilly et al., 1999). Kvalitetno in zanesljivo izvedene verjetnostne analize so potrebne za izvajanje učinkovitih vodarskih ukrepov in so pomembne za projektiranje, načrtovanje in tudi za obratovanje hidrotehničnih objektov (Bezak, 2012). Verjetnostne analize so osnova

tudi za analizo nevarnosti in analizo ranljivosti, slednjo določa cena škode na človeških dejavnostih, s čimer pa nadalje lahko opredelimo pojem ogroženosti (Brilly et al., 1999).

V prispevku so predstavljeni rezultati verjetnostnih analiz, ki so bile izvedene na podatkih o pretokih z vodomerne postaje Litija na reki Savi, kjer se meritve izvajajo od leta 1893. Analiziranih je bilo 110 let podatkov. Vzorec smo oblikovali po metodi letnih maksimumov in ga razdelili na 30-letna obdobja s premikanjem po 10 let. Na vsakem tako oblikovanem vzorcu smo izvedli verjetnostno analizo. Za ocenjevanje parametrov porazdelitev smo izbrali metodo momentov L. Metoda momentov L se je pri analizah drugih avtorjev izkazala za učinkovitejšo kot metoda momentov ali metoda največjega verjetja (Bezak, 2012; Hosking in Wallis, 1997; Sankarasubramanian in Srinivasan, 1999).

Z uporabo različnih kriterijev ustreznosti smo ugotovili, da se večini vzorcev najbolje prilega logaritemsko Pearsonova porazdelitev 3. Primerjava projektnih pretokov izbranih povratnih dob med 30-letnimi obdobji je pokazala, da se projektni pretoki izbranih povratnih dob od obdobja 1941-1970 naprej povečujejo, medtem kot so do tega leta rahlo padali. Razlike ocenjenih pretokov se povečujejo z večanjem povratne dobe.

Če bi želeli bolj zanesljive zaključke o vplivu podnebne spremenljivosti na projektne pretoke, bi bilo priporočljivo podobne analize izvesti še z metodo vrednosti konic nad izbrano mejno vrednostjo – pragom ti. POT metodo (angl. *peaks over threshold method*). Vsekakor pa lahko na podlagi naših rezultatov ugotovimo, da je za vodomerno postajo Litija zaznana naraščanje projektnih pretokov v zadnjih 70 letih in da je zato v smislu varnosti zelo pomembno, katero obdobje meritev vzamemo za osnovo verjetnostnih analiz. Na osnovi izvedenih analiz ugotavljamo, da bi bilo v praksi za oceno projektnih pretokov, namesto celotnega obdobja meritev priporočljiveje jemati zadnje 30-letno obdobje meritev, saj lahko v nasprotnem primeru projektne pretoke določene povratne dobe precej podcenimo.

Literatura

- Agencija RS za okolje, 2014a. Mesečni in letni pretoki vodomernih postaj. Ljubljana. http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html (Pridobljeno 15. 4. 2014.)
- Agencija RS za okolje, 2014b. Površinske vode. Arhiv hidroloških podatkov. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Sava&p_postaja=3650&p_letno=1953&b_arhiv=Prika%C5%BEi (Pridobljeno 23. 10. 2014.)
- Beguiria, S. 2005. Uncertainties in partial duration series modelling of extremes related to the choice of the threshold value. *Journal of Hydrology* 303, 1-4: 215-230.
- Bezak, N. 2012. Analiza visokovodnih konic z metodo vrednosti nad izbranim pragom in z metodo letnih maksimumov. Diplomsko naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Bezak): 106 str.
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M. (2012). Izbira metode pri verjetnostnih analizah visokovodnih konic, *Zbornik Raziskave in s področja geodezije in geofizike 2012, SZGG*, 45–55.
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M. (2014). Flood frequency analysis, statistical trends and seasonality analyses of discharge data : a case study of the Litija station on the Sava river. *Journal of flood risk management*, v tisku 2014, doi: 10.1111/jfr3.12118.
- Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. 1999. Vodne ujme - varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 186 str.
- Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik, 1.izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.
- Durkin, M. 2007. The great global warming swindle (film). A Wag TV Production, Velika Britanija.

- Frantar, P., Hrvatin, M. 2008. Pretočni režimi. P. Frantar (ur.), Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. MOP ARSO, Ljubljana, 43–50.
- Gan, T. Y. 1992. Finding trends in air temperature and precipitation for Canada and North-eastern United States. Proceedings of NHRI Workshop No. 8. National Hydrology Research Institute, Saskatoon, SK, 57–78.
- Hirsch, R. M., Slack, J. R. & Smith, R. A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18, 107–121.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 1997. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge, Cambridge University Press: 224 str.
- Jurko, M. 2009. Statistična analiza trendov značilnih pretokov slovenskih rek. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Jurko): 65 str.
- Kobold M. 2011. Comparison of floods in September 2010 with registered historic flood events. *Ujma* 25, 48–56.
- Košmelj, K. 2001. Uporabna statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 249 str.
- Kundzewicz, Z. W. in Robson, A., 2000. Detecting trends and other changes in hydrological data. World climate programme-Water, WCDMP-45, WMO/TD – št. 1013. Geneva, WMO: 157 str.
- Maidment, D. 1993. Handbook of hydrology. Austin McGraw-Hill: 1424 str.
- Mikoš, M., Kranjc, A., Maticic, B., Muller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Actahydrotehnica* 20(32). Ljubljana, str. 103, 105. ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 13. 5. 2014.)
- R-project, version 3.0.2., 2014. <http://www.r-project.org/> (Pridobljeno 20. 2. 2014.)
- Sankarasubramanian, A., Srinivasan, K. 1999. Investigation and comparison of sampling properties of L-moments and conventional moments. *Journal of Hydrology* 218, 1-2: 13–34.
- Swanson, D. A., Tayman, J., Bryan, T. M. 2011. MAPE-R: a rescaled measure of accuracy for cross-sectional subnational population forecasts. *Journal of Population Research* 28, 2-3: 225–243. <http://www.springerlink.com/content/5174672j6091437t/> (Pridobljeno 15. 5. 2014.)