

ANALIZA DNEVNIH, MJESEČNIH I GODIŠNJIH OBORINA ZAGREB-GRIČA (1862.-2017.) ZA POTREBE INŽENJERSKE HIDROLOGIJE

prof. emeritu Ognjen Bonacci,
dipl. ing. građ.
Sveučilište u Splitu,
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, 21000 Split
obonacci@gradst.hr

prof. emerita Tanja Roje-Bonacci,
dipl. ing. građ.
Sveučilište u Splitu,
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije
Matice hrvatske 15, 21000 Split

U članku je izvršena analiza dnevnih, mjesečnih i godišnjih količina oborine izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju od 1862. do 2017. čime je obuhvaćeno: (1) 156 godina; (2) 1872 mjeseca; (3) 56.979 dana. Za analizu su korištene sljedeće metode: (1) linearna i nelinearna regresija; (2) linearna i nelinearna korelacija; (3) krivulje log-normalne raspodjele; (4) test Kolmogorov-Smirnova; (5) Mann-Kendall test; (6) RAPS metoda; (7) t-test; (8) F-test. Godišnje se oborine kreću u rasponu od 520,8 mm (2011.) do 1387,4 mm (1937.) s prosječnom vrijednosti od 886,7 mm. Maksimalne mjesečne oborine koje su se pojavile u svakoj pojedinoj godini kreću se u rasponu od 85,3 mm (lipanj 2011.) do 267,5 mm (listopad 1895.) s prosječnom vrijednosti od 158,1 mm. Maksimalne dnevne oborine koje su se pojavile u svakoj pojedinoj godini kreću se u rasponu od 21,7 mm (14. studenog 1949.) do 118,8 mm (9. kolovoza 1926.) s prosječnom vrijednosti od 47,6 mm. Maksimalnoj dnevnoj oborini od 118,8 mm odgovara povratni period dulji od pet tisuća godina. Ne može se konstatirati prisutnost statistički značajnog trenda porasta ili opadanja kako u nizovima godišnjih tako i mjesečnih (osim u listopadu) kao i maksimalnih dnevnih oborina u godini i mjesecu. Utvrđeno je da samo u listopadu postoji statistički značajna razlika količina oborina u sljedeća dva podrazdoblja: (1) 1862.-1941.; (2) 1942.-2017. U prvom podrazdoblju prosječna mjesečna količina oborina iznosila je 105,1 mm dok je u drugom pala za 29 mm te je iznosila 76,1 mm. Na osnovi analiza izvršenih u ovom radu može se donijeti zaključak da na oborine raznih vremenskih trajanja izmjerene u razdoblju 1862.-2017. na opservatoriju Zagreb-Grič ni klimatske promjene kao ni proces urbanizacije nisu značajno utjecali.

Ključne riječi: oborina, Zagreb-Grič, log-normalna raspodjela, Mann-Kendall test, test Kolmogorov-Smirnova, RAPS metoda

1. UVOD

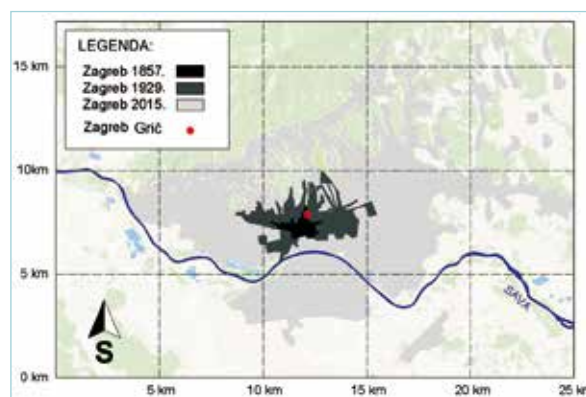
Oborine predstavljaju ključni čimbenik svih hidroloških procesa, koji bitno utječu na praktično sve ostale procese na planeti (Bonacci, 1994.). Inženjerska hidrologija, a osobito hidrološko modeliranje i prognoziranje zahtijevaju pouzdane vrijednosti količina oborina palih u raznim vremenskim skalama kao najvažniji ulazni parametar (Wood et al., 2000.). Danas se još uvijek dominantno u svekolikoj praksi koristi mjerenje oborina u točki upotrebom kišomjera ili automatskog registratora oborina. Oborine predstavljaju jedan od najvarijabilnijih parametara u hidrološkim procesima što u hidrološkim analizama na razini sliva uzrokuje dva značajna problema. Prvi se odnosi na pitanje koliko raspodjela oborina na cijeloj površini sliva može biti određena iz mjerenja u jednoj točki. Drugi se odnosi na pitanje koliko greška (rekli bismo neizbježna) u procjeni stvarne oborine pale na sliv utječe na hidrološke proračune u slivu (Hamlin, 1983.).

Arnaud et al. (2011.) su ustanovili da su hidrološki procesi u malim slivovima mnogo osjetljiviji na netočnosti određivanja prostorne raspodjele oborina koristeći mrežu oborinskih postaja od velikih slivova. Veliki su slivovi pak osjetljiviji na neizvjesnosti (nesigurnosti) generirane kad prostorne varijabilnosti oborina nisu uzete u razmatranje. Brojni autori ističu da utjecaji klimatskih promjena na oborine u raznim vremenskim skalama (od minute do godine) predstavljaju osobit problem u posljednjim desetljećima (na pr. Trenberth, 1999.; Zhou et al., 2017.; Adefisan, 2018.). Jedno od ključnih, ali još uvijek nedovoljno rasvijetljenih pitanja je: Kako će klimatske promjene utjecati na promjenu oborinskog režima u raznim vremenskim skalama? Radi se o pitanju koje suštinski utječe na društvene procese, prirodni okoliš te može bitno utjecati na raspoloživost i kakvoću slatkih voda u pojedinim regijama ili čak i na planeti, a osobito značajno na pojavu vodnih katastrofa kao što su suše i poplave (Gajić-Čapka i Cindrić, 2014.). Oborinski režim snažno utječe na procese erozije i transport sedimenata u slivovima (Deal et al., 2018.). Zbog toga je analiza dugih vremenskih nizova izmjerenih oborina, dužih od 100 godina, od osobitog interesa.

Hidrološke procese u urbanim prostorima karakterizira velika i dinamična varijabilnost u vremenu i prostoru. Nedostatak informacija o prostornim raspodjelama oborina najčešći je uzrok grešaka u procjeni parametara otjecanja. To u urbanim prostorima može za posljedicu imati krive procjene koje mogu rezultirati pogreškama u dimenzioniranju objekata za odvodnju i zaštitu od poplava, a time i katastrofalnim posljedicama (Cristiano et al., 2017.).

Za potrebe hidroloških analiza, ali i za druge potrebe nije isključivo bitno poznavati sumarne količine oborina (npr. Gajić-Čapka, 2012.). Od osobitog je interesa poznavati čestinu pojave dana s kišom ili bez nje kao i broj dana godišnje s oborinama većim od neke određene vrijednosti. Ove su analize bitne za izučavanje pojave suša i poplava.

U ovom radu bit će analizirano ponašanje dnevnih, mjesečnih i godišnjih oborina opaženih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju od 1. siječnja 1862. do 31. prosinca 2017., čime je obuhvaćeno: (1) 156 godina; (2) 1872 mjeseca; (3) 56.979 dana. Opservatorij je instaliran na malom brežuljku u samom centru grada na podnožju Medvednice ($\varphi=45^{\circ}49'$, $\lambda = 15^{\circ}59'$) na nadmorskoj visini od 157 metara nad morem (mnm) (slika 1). Započeo je s radom 1. prosinca 1861. Na slici 2 nalazi se fotografija kišomjera i automatskog registratora. Iako se sam opservatorij nalazi u središtu grada utjecaji urbanizacije na njegovu klimu (prvenstveno temperaturne prilike) su ublažene činjenicom da se nalazi na vrhu spomenutog brežuljka, kao i da u njegovoj neposrednoj okolini nije bilo značajnijih promjena svojstava okoliša (Ogrin i Krevs, 2015.; Bonacci et al., 2018.). Važno je naglasiti da mu lokacija nije bila nikada mijenjana.



Slika 1: Situacija Zagreba s ucrtanim položajem opservatorija Zagreb-Grič i širenja grada u razdoblju 1867. - 2015.



Slika 2: Fotografija kišomjera i omrografa Zagreb-Griča (foto Tanja Roje-Bonacci, snimljeno 25. prosinca 2018.)

Tijekom posljednjih 150 godina grad Zagreb se proširio s površine manje od 100 km² na današnjih oko 1700 km², dok je broj stanovnika porastao s oko 5000 na više od 800.000 (Bonacci et al., 2018.; Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.). Klimatske prilike u gradovima koji su se u posljednja dva stoljeća naglo širili i razvijali bile su istovremeno pod utjecajem globalne promjene klime i efekta urbanizacije (toplinski otok grada - *urban heat island*). Jedan od ciljeva analiza u ovom radu je da se utvrdi da li su oborine izmjerene na opservatoriju Zagreb-Grič pretrpjele značajne promjene tijekom raspoloživih 156 godina mjerenja kako zbog klimatskih promjena tako i zbog urbanizacije.

Analiza vremenskog niza oborina Zagreb-Griča izvršena je do sada u nizu radova. Nastavno će se ukratko prikazati osnovni zaključci koji su u njima izneseni. Analizom godišnjih količina oborina Zagreb-Griča u razdoblju 1862.-1980. Gajić-Čapka (1982.) je utvrdila da postoji signifikantna stacionarnost vremenskog niza, te da se ne može konstatirati prisutnost trenda. Utvrđeno je da utjecaj urbanizacije i industrijalizacije na godišnje količine oborine i količine oborine toplog dijela godine nije prisutan. Gajić-Čapka (1991.; 1992.) je analizirala podatke godišnjih količina oborina i količina oborina toplog i hladnog polugodišta opservatorija Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-1990. I u ovom slučaju utvrđena je stacionarnost vremenskog niza oborina. Prisutan je općenito padajući, ali ne statistički značajan, trend. Spektri snage godišnjih oborina i oborina toplog polugodišta mogu se prilagoditi kontinuumom «crvenog šuma», a hladnog polugodišta kontinuumom «bijelog šuma». Kvazi-periodične oscilacije javljaju se u dva intervala spektra: kratkom (2-6 godina) i srednjem (16-43 godine).

Primjenom statističkog modela Markovljevih lanaca Juras i Jurčec (1976.) odredili su teoretske čestine sušnih i kišnih razdoblja, povratne periode sušnih razdoblja i koeficijent perzistencije u gornjem slivu rijeke Save za sve mjesece razdoblja 1947.-1971. Rezultati pokazuju da se najveće čestine sušnih razdoblja, kao i najveća perzistencija, javljaju za vrijeme hladnog doba godine i na većim visinama. Dana je usporedba rezultata sa dugogodišnjim nizom za Zagreb-Grič (1862.-1971.), sa raspodjelom perzistencije za cijelo područje Jugoslavije.

Analiza ljetnih oborina na području grada Zagreba u razdoblju 1946.-1980. pokazala je da razvoj grada nije utjecao na promjenu oborinskog režima ljeti u Zagrebu (Gajić-Čapka i Čapka, 1985.).

Na osnovi promjena u godišnjem hodu tlaka zraka, količina oborine i temperature zraka na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-1980. Juras (1985.) je zaključio da se mogu razlučiti četiri razdoblja s približnim trajanjem od trideset godina, unutar kojih godišnji hodovi klimatskih elemenata pokazuju stanovite specifičnosti. Razdoblja s nešto pojačanim obilježjima kontinentalne klime (1862.-1890. i 1921.-1950.) smjenjuje se s razdobljima kada su ta obilježja

bila znatno oslabljena (1890.-1920. i 1951.-1980.). Ukazano je da se kao posljedica ovih klimatskih oscilacija javlja nepouzdanost klimatoloških normala određenih na osnovi podataka iz 30-godišnjih razdoblja. Relativni značaj ovih klimatskih fluktuacija procijenjen je na osnovi usporedbi s prostornim promjenama razmatranih indikatora unutar relativno klimatski homogenog područja sjeverne Hrvatske. Ove usporedbe pokazuju da su klimatske promjene u našim krajevima relativno male, ali ne i zanemarive.

Bonacci i Matešan (1999.) su analizirali pojavu oborina u vremenu koristeći mjerene podatke na dva ombrografa u području Zagreba (Zagreb-Grič i Zagreb-Maksimir) tijekom razdoblja 1984.-1993. Inkrement mjerenja iznosio je 5 minuta s rezolucijom oborine od 0,1 mm. Proračuni su pokazali da manji inkrementi vremena značajno smanjuju trajanje oborina. Ako se koristi inkrement vremena od 5 minuta trajanje oborina iznosi oko 3 % godine. U slučaju kad se koristi inkrement vremena od 24 sata (dnevna oborina) trajanje iznosi čak 33 % godine. Stvarno trajanje oborina u analiziranih deset godina izračunato je da iznosi prosječno 216 sati ili 2,47 % godine.

Primjenom modela autoregresije i kliznog srednjaka na nizu podataka dnevnih količina oborine izmjerenih na postaji Zagreb-Grič u razdoblja 1948.-2000. Cindrić (2006.) je analizirala sušne i kišne sljedove. U radu je naglašena važnost koeficijenta autokorelacije kao mjere perzistencije u sljedovima dana s oborinom.

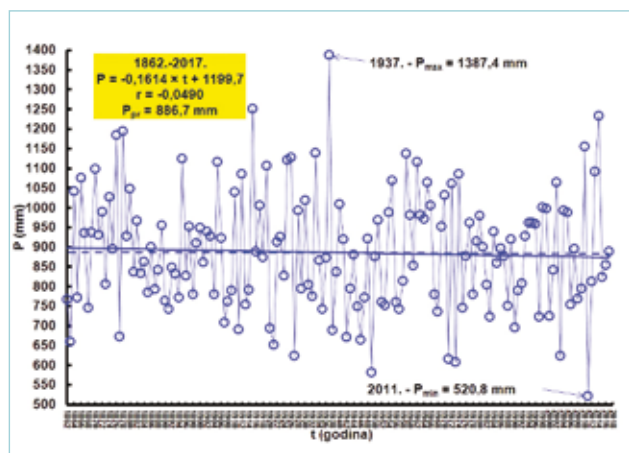
Pandžić (2016.) je vršio usporedbu rezultata dobivenih konvencionalnom metodom Palmerovog indeksa suše (*Palmer Drought Index*) i novom metodom standardiziranog indeksa oborine (*Standardized Precipitation Index*). Koristeći podatke oborine, temperature zraka i vlage zraka izmjerene na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2012. zaključio je da se vrijednosti ova dva indeksa najbolje poklapaju za razdoblje od 6 do 12 mjeseci.

Obrade izvršene u ovom članku usmjerene su na ispunjavanje potreba inženjersko hidroloških aspekta analize oborina, ali mogu biti od koristi i drugim istraživačima i strukama. Činjenica da se na opservatoriju Zagreb-Grič raspolaže s kontinuiranim mjerenjima od čak 156 godina (1862.-2017.) na istoj lokaciji smještenoj u središtu grada koji se naglo razvija omogućila je da se detaljnije istraži kako su i koliko recentne klimatske promjene kao i procesi urbanizacije utjecali na oborinski režim na ovoj lokaciji.

2. GODINA KAO VREMENSKA JEDINICA ANALIZE

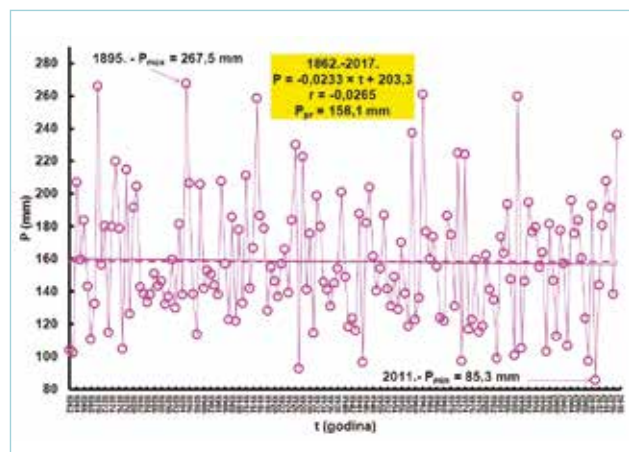
U ovom poglavlju analizirat će se nizovi godišnjih, maksimalnih mjesečnih i maksimalnih dnevnih količina oborine po godinama u razdoblju od 156 godina (1862.-2017.) za opservatorij Zagreb-Grič.

Na slici 3 prikazan je niz godišnjih oborina s ucrtanim pravcem linearne regresije za prikaz linearnog trenda. Vrijednosti godišnjih količina oborine se kreću u rasponu od 520,8 mm (2011.) do 1387,4 mm (1937.) s prosječnom vrijednosti od 886,7 mm. Vrijednost Mann-Kendall-ovog testa (Mann, 1945.; Kendall, 1975.; Hamed i Ramachandra, 1998.) vrlo je visoka ($p = 0,634$), što jasno pokazuje da nema pojave značajnog trenda u vremenskom nizu godišnjih količina oborine.



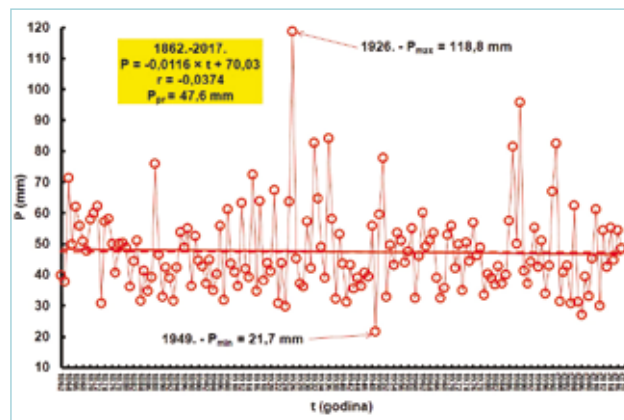
Slika 3: Niz godišnjih količina oborine izmjerene na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanim pravcem linearne regresije

Slika 4 prikazuje niz maksimalnih mjesečnih količina oborine u pojedinoj godini analiziranog razdoblja s ucrtanim pravcem linearne regresije za prikaz linearnog trenda. Maksimalne vrijednosti mjesečnih oborina koje su se pojavile u svakoj pojedinoj godini kreću se u rasponu od 85,3 mm (lipanj 2011.) do 267,5 mm (listopad 1895.) s prosječnom vrijednosti od 158,1 mm. I u ovom slučaju testiranje Mann-Kendall-ovim testom jasno pokazuje da nema pojave značajnog trenda u vremenskom nizu godišnjih maksimalnih mjesečnih oborina.



Slika 4: Niz maksimalnih mjesečnih oborina u pojedinoj godini izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanim pravcem linearne regresije

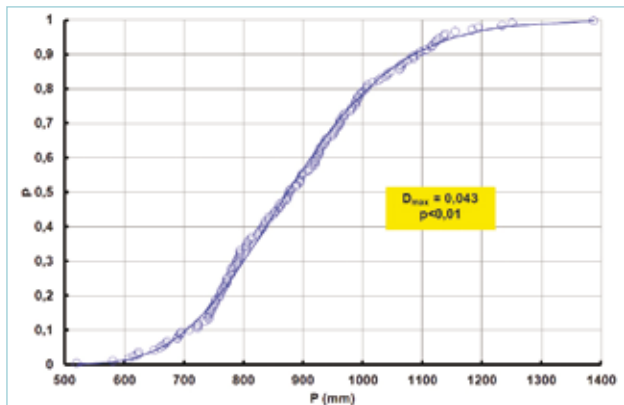
Slika 5 prikazuje niz maksimalnih dnevnih oborina u pojedinoj godini s ucrtanim pravcem linearne regresije za prikaz linearnog trenda. Maksimalne dnevne oborine koje su se pojavile u svakoj pojedinoj godini kreću se u rasponu od 21,7 mm (14. studenog 1949.) do 118,8 mm (9. kolovoza 1926.). I u ovom slučaju testiranje Mann-Kendall-ovim testom jasno pokazuje da nema pojave značajnog trenda u vremenskom nizu godišnjih maksimalnih dnevnih oborina.



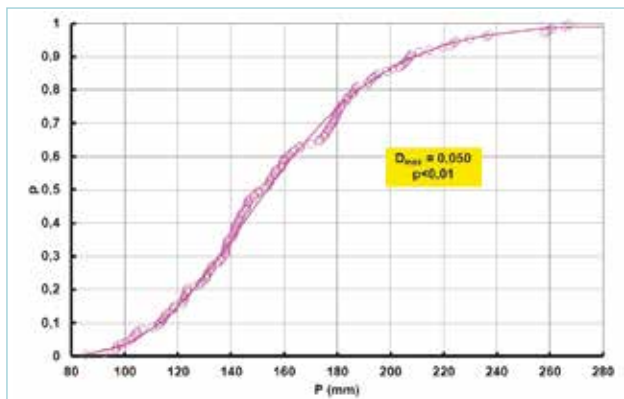
Slika 5: Niz maksimalnih dnevnih oborina u pojedinoj godini izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanim pravcem linearne regresije

Na tri prethodno analizirana niza godišnjih vrijednosti odabranih parametara oborine prilagođene su teoretske log-normalne krivulje raspodjele. Na slici 6 grafički su prikazane empirijska i teoretska krivulja raspodjele za niz godišnjih količina oborine. Test Kolmogorov-Smirnova, ($D_{\max} = 0,043$), potvrđuje da je prilagodba teoretske krivulje na podatke mjerenja statistički značajna, ($p < 0,01$). Maksimalnoj godišnjoj oborini od 1387,4 mm pripada povratni period od 312 godina, dok drugoj po veličini u nizu koja iznosi 1251,4 mm pripada povratni period od 104 godine. Na slici 7 grafički su prikazane empirijska i teoretska krivulja raspodjele za niz godišnjih maksimalnih mjesečnih količina oborine. Test Kolmogorov-Smirnova, ($D_{\max} = 0,050$), potvrđuje da je prilagodba teoretske krivulje na podatke mjerenja statistički značajna, ($p < 0,01$). Maksimalnoj mjesečnoj oborini od 267,5 mm pripada povratni period od 99 godina, dok sljedećoj po veličini u nizu koja iznosi 266 mm pripada povratni period od 93 godine. Na slici 8 grafički su prikazane empirijska i teoretska krivulja raspodjele za niz godišnjih maksimalnih dnevnih oborina. Test Kolmogorov-Smirnova, ($D_{\max} = 0,043$), potvrđuje da je prilagodba teoretske krivulje na podatke mjerenja statistički značajna, ($p < 0,01$). Maksimalnoj dnevnoj oborini od 118,8 mm pripada povratni period od 5757 godina. Drugoj po veličini u nizu koja iznosi 95,8 mm pripada

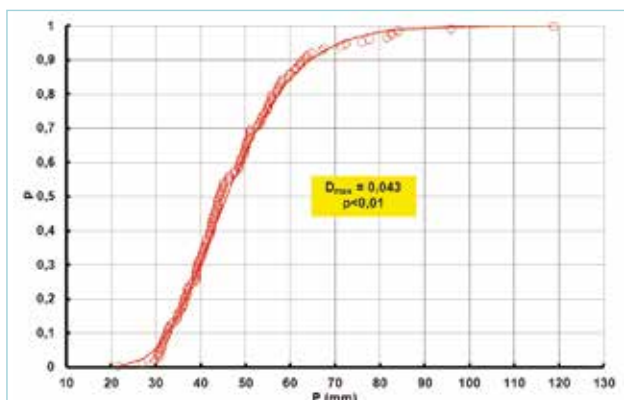
povratni period od 356 godina. Trećoj po veličini u nizu koja iznosi 84,2 mm pripada povratni period od 90 godina.



Slika 6: Log-normalna krivulja raspodjele prilagođena na niz godišnjih oborina izmjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.



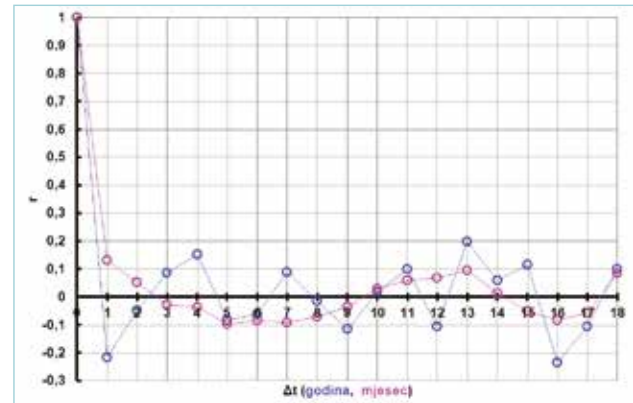
Slika 7: Log-normalna krivulja raspodjele prilagođena na niz maksimalnih mjesečnih oborina izmjenjenih u pojedinoj godini na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.



Slika 8: Log-normalna krivulja raspodjele prilagođena na niz maksimalnih dnevnih oborina izmjenjenih u pojedinoj godini na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.

Na slici 9 prikazana su dva autokorelograma nizova godišnjih (modra boja) i mjesečnih količina oborine (ljubičasta boja) izmjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Niti u jednom slučaju kod niza

godišnjih oborina vrijednosti koeficijenti autokorelacije nisu prešle graničnu vrijednost ($r = 0,2$), što svjedoči o tome da se radi o vremenskim nizovima slučajnih vrijednosti. Međutim, u slučaju autokorelograma niza mjesečnih vrijednosti u dva navrata je ta vrijednost pređena, a osim toga moguće je donekle uočiti sezonski karakter pojave mjesečnih oborina.



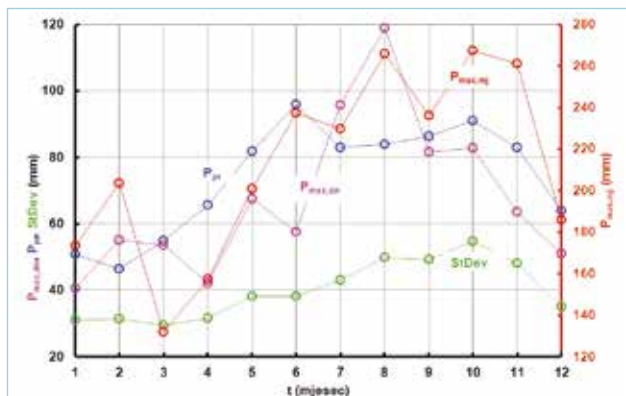
Slika 9: Autokorelogrami nizova godišnjih (modra boja) i mjesečnih oborina (ljubičasta boja) izmjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.

3. MJESeci TIJEKOM GODINE KAO VREMENSKE JEDINICE ANALIZE

U okviru ovog poglavlja analizirat će se nizovi mjesečnih oborina te maksimalnih dnevnih oborina u pojedinom mjesecu razdoblja od siječnja 1862. do prosinca 2017. Kao prva analiza ispitano je postojanje pojave trendova u pojedinom mjesecu godine tijekom razdoblja 1862.-2017. U tablici 1 navedene su vrijednosti Mann-Kendall-ovog testa za nizove mjesečnih oborina i maksimalnih dnevnih oborina u mjesecu izmjenjenih u opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Bitno je uočiti da je samo u listopadu Mann-Kendall-ov test ukazao na postojanje blagog trenda opadanja na razini signifikantnosti 0,05 ($p = 0,0381$). Ni u tom slučaju vjerojatnost, p , nije bila manja od granične vrijednosti 0,01. U ostalih 11 mjeseci godine pet puta je trend bio opadajući, a šest puta u porastu, ali niti u jednom slučaju vrijednost Mann-Kendall-ovog testa nije bila ni blizu nijednoj od graničnih vrijednosti $p < 0,01$, ili $p < 0,05$. Može se zaključiti da u tih 11 mjeseci značajni trendovi mjesečnih količina oborine ne postoje. Kod vremenskih nizova maksimalnih dnevnih oborina niti u jednom mjesecu godine ne postoji statistički značajan trend ni porasta niti opadanja u razdoblju od analiziranih 156 godina.

Na slici 10 ucrtani su godišnji hodovi maksimalnih mjesečnih oborina (crvena boja), $P_{\max,mj}$, prosječnih mjesečnih oborina (modra boja), P_{pr} , maksimalnih dnevnih oborina (ljubičasta boja), $P_{\max,dn}$ izmjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Zelenom bojom su prikazane vrijednosti

standardnih devijacija mjesečnih vrijednosti, StDev, u razdoblju 1862.-2017. Najveća prosječna mjesečna oborina pojavila se u lipnju, a potom u listopadu. Maksimalna mjesečna oborina izmjerena je u listopadu, a maksimalna dnevna u kolovozu. U hladnijem razdoblju od prosinca do travnja oborine su značajno manje nego u dijelu godine od svibnja do studenog.



Slika 10: Nizovi maksimalnih mjesečnih oborina (crvena boja), $P_{max,m}$ prosječnih mjesečnih oborina (modra boja), P_{pr} maksimalnih dnevnih oborina u mjesecu (ljubičasta boja), $P_{min,m}$ izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.

Tablica 1: Vrijednosti koeficijenta korelacije, r, i rezultati Mann-Kendall-ovog testa, p, za nizove mjesečnih oborina i maksimalnih dnevnih oborina u mjesecu izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.

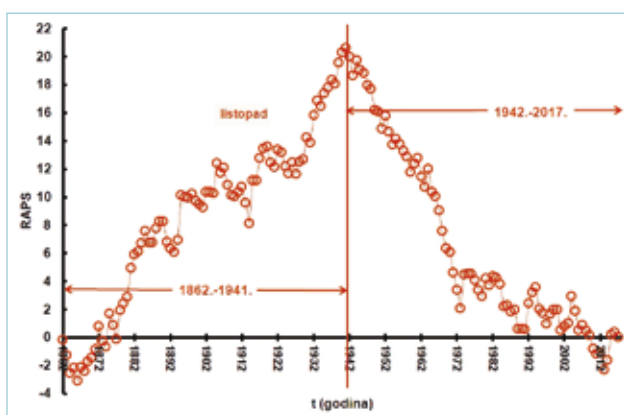
Mjesec	r (mjesečna suma)	p (Mann-Kendall) (mjesečna suma)	r (max dnevni)	p (Mann-Kendall) (max dnevni)
siječanj	0,0300	p = 0,6847	0,108	p = 0,174
veljača	0,0831	p = 0,2699	0,0424	p = 0,513
ožujak	-0,1308	p = 0,0964	-0,0346	p = 0,565
travanj	-0,0943	p = 0,1528	-0,1187	p = 0,136
svibanj	-0,0686	p = 0,4229	-0,0800	p = 0,296
lipanj	-0,0200	p = 0,5655	0,0640	p = 0,381
srpanj	0,0141	p = 0,7627	-0,0787	p = 0,303
kolovoz	0,0141	p = 0,6835	-0,0071	p = 0,770
rujan	0,1109	p = 0,1632	0,1015	p = 0,199
listopad	-0,1676	p = 0,0381	-0,1533	p = 0,046
studen	0,0480	p = 0,4924	0,1285	p = 0,105
prosinac	-0,0141	p = 0,7085	-0,0008	p = 0,822

Tablica 2: Karakteristične mjesečne vrijednosti oborina Zagreb-Grič u razdoblju od 1862.-2017. ($P_{m,min}$ - minimalna mjesečna oborina; $P_{m,pr}$ - prosječna mjesečna oborina; $P_{m,max}$ - maksimalna mjesečna oborina; $StDev_m$ - standardna devijacija mjesečnih oborina u pojedinom mjesecu; N - broj mjeseci u analiziranom razdoblju od 156 godina u pojedinom mjesecu s oborinama većim od tri naznačene vrijednosti; N1 - broj godina u kojima je u pojedinom mjesecu bila opažena maksimalna godišnja oborina; $P_{dm,min}$ - najmanja vrijednost maksimalnih dnevnih oborina u pojedinom mjesecu godine u analiziranom razdoblju; $P_{dm,pr}$ - prosječna vrijednost maksimalnih dnevnih oborina u pojedinom mjesecu godine u analiziranom razdoblju; $P_{dm,max}$ - najveća vrijednost maksimalnih dnevnih oborina u pojedinom mjesecu godine u analiziranom razdoblju; $StDev_{dm}$ - standardna devijacija maksimalnih dnevnih oborina u pojedinom mjesecu). Plavom bojom označene su minimalne, a crvenom bojom maksimalne vrijednosti pojedine od prethodno navedenih karakteristika.

Mjesec	$P_{m,min}$	$P_{m,pr}$	$P_{m,max}$	$StDev_m$	N (mjeseci)			N1	$P_{dm,min}$	$P_{dm,pr}$	$P_{dm,max}$	$StDev_{dm}$
	(mm)				$P_{\geq 100mm}$	$P_{\geq 150mm}$	$P_{\geq 200mm}$	(godina)	(mm)			
siječanj	3,8	50,7	173,5	31,0	10	1	0	1	1,1	15,9	40,7	7,97
veljača	1,1	46,5	203,5	31,4	9	1	1	4	0,4	14,9	55,2	8,63
ožujak	3,9	55,0	131,9	29,6	15	0	0	0	1,4	17,3	53,6	9,43
travanj	0,9	65,6	157,3	31,7	24	2	0	4	0,9	18,6	42,1	8,50
svibanj	10,4	81,9	200,9	38,2	45	8	1	7	3,5	24,2	67,5	11,08
lipanj	18,2	96,0	237,2	38,2	68	12	1	25	5,3	27,3	57,5	11,58
srpanj	21,9	83,0	229,8	43,0	49	13	3	15	6,3	27,5	95,8	14,54
kolovoz	0,9	83,8	266,0	49,8	49	17	4	21	0,9	27,8	118,8	15,14
rujan	5,4	86,3	236,1	49,3	52	18	7	23	2	27,4	81,6	13,77
listopad	0,2	91,0	267,5	54,8	63	22	8	26	0,2	28,2	82,8	16,17
studen	0,7	82,9	261,0	48,1	53	19	1	23	0,3	24,3	63,6	11,60
prosinac	0,3	64,0	185,8	35,1	23	3	0	7	0,3	17,9	50,9	7,96

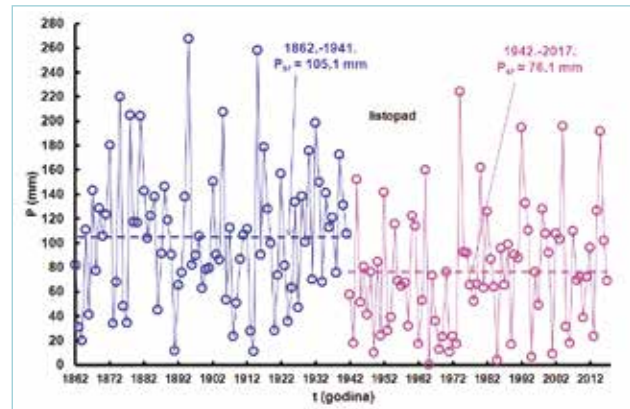
U tablici 2 upisane su karakteristične mjesečne vrijednosti oborina Zagreb-Griča u razdoblju od 1862.-2017.: (1) $P_{m,min}$ - minimalna mjesečna oborina; (2) $P_{m,pr}$ - prosječna mjesečna oborina; (3) $P_{m,max}$ - maksimalna mjesečna oborina; (4) $StDev_m$ - standardna devijacija mjesečnih oborina u pojedinom mjesecu; (5) N - broj mjeseci u analiziranom razdoblju od 156 godina u pojedinom mjesecu s oborinama većim od tri vrijednosti ($P \geq 100$ mm; $P \geq 150$ mm; $P \geq 200$ mm); (6) N1- broj godina u razdoblju 1862.-2017. u kojima je u pojedinom mjesecu bila opažena maksimalna godišnja oborina; (7) $P_{dM,min}$ - minimalna izmjerena vrijednost dnevnih maksimalnih oborina u pojedinom mjesecu godine u analiziranom razdoblju; (8) $P_{dM,pr}$ - prosječna vrijednost dnevnih maksimalnih oborina u pojedinom mjesecu godine u analiziranom razdoblju; (9) $P_{dM,max}$ - maksimalna izmjerena vrijednost dnevnih oborina u pojedinom mjesecu godine u analiziranom razdoblju; (10) $StDev_{dM}$ - standardna devijacija maksimalnih dnevnih oborina u pojedinom mjesecu. Zanimljivo je uočiti da je u istom mjesecu, listopadu, u analiziranih 156 godina opažena i minimalna ($P = 0,2$ mm) i maksimalna ($P = 267,5$ mm) mjesečna količina oborine. Mjesečne oborine jednake ili veće od 100 mm najčešće su se pojavile u lipnju, 68 puta, od čega ih je 12 bilo većih od 150 mm, a potom u listopadu, 63 puta, od čega čak trećina veća od 150 mm. Mjesečne oborine jednake ili veće od 150 mm pretežito su se javile od lipnja do studenog, a najčešće u listopadu (22 puta). Mjesečne količine jednake ili veće od 200 mm zabilježene su samo 25 puta od toga najčešće, osam puta, u listopadu.

Primjenom RAPS metode (Garbrecht i Fernandez, 1994.; Bonacci et al. 2018.; Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.) nastavno će se detaljnije proanalizirati ponašanje oborina tijekom mjeseca listopada u razdoblju 1862.-2017. Na slici 11 ucrtan je niz RAPS vrijednosti mjesečnih oborina izmjerenih u listopadu na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Uočava se postojanje dva sljedeća vremenska podniza: (1) 1862.-1941.; (2) 1942.-2017. Vrijednosti mjesečnih oborina spomenuta dva podniza ucrtane su na slici 12. U prvom vremenskom



Slika 11: Niz RAPS vrijednosti mjesečnih oborina izmjerenih u listopadu na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017.

podnizu prosječna vrijednost mjesečnih oborina iznosila je 105,1 mm i bila je za 29 mm viša od oborina izmjerenih u drugom podnizu kada je iznosila 76,1 mm. Testiranjem F-testom dokazalo se da ne postoji statistički značajna razlika varijanci dva podniza pošto vrijednost iznosi $p = 0,384$. Rezultati t-testa ukazali su da postoji značajna statistička razlika između prosječnih vrijednosti oborina u listopadu u dva analizirana podniza pošto je izračunata vrijednost $p = 0,000827$, što je značajno manje od kritične vrijednosti ($p = 0,01$).

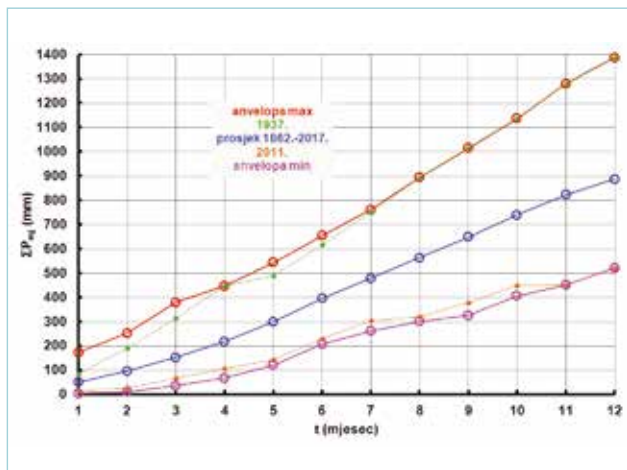


Slika 12: Dva podniza vrijednosti mjesečnih oborina izmjerenih u listopadu na opservatoriju Zagreb-Grič u podrazdobljima: (1) 1862.-1941.; (2) 1942.-2017.

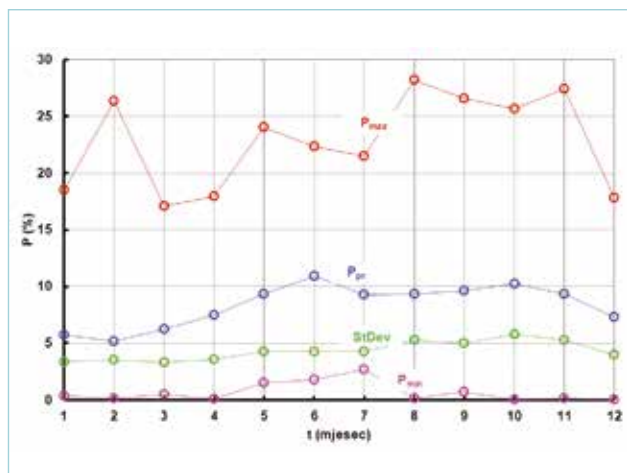
Sumarna raspodjela oborina tijekom godine od značaja je prvenstveno za izučavanje pojave suša kao i za potrebe planiranja upravljanja vodnim resursima. Na slici 13 grafički je prikazano sljedećih pet nizova suma mjesečnih oborina tijekom godine: (1) anvelopa maksimuma; (2) 1937. godina kao najvlažnija godina; (3) prosječna vrijednost u razdoblju 1862.-2017.; (4) 2011. godina kao najsušnija godina; (5) anvelopa minimuma. Uočava se poklapanje anvelope maksimuma s najvlažnijom godinom kao i anvelope minimuma s najsušnijom godinom analiziranog razdoblja.

Što se razvoja oborinskog režima tijekom godine tiče zanimljivo je analizirati koliko pojedini mjesec u postocima pridonosi u ukupnom iznosu godišnjih oborina. Na slici 14 su ucrtani nizovi minimalnih, P_{min} (ljubičasta boja), prosječnih, P_{pr} (modra boja) i maksimalnih, P_{max} (crvena boja) postotaka učešća oborine pojedinog mjeseca u ukupnoj godišnjoj oborini izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Zelenom bojom su prikazane vrijednosti standardnih devijacija mjesečnih vrijednosti, $StDev$, u razdoblju 1862.-2017. Moguće je uočiti ogroman raspon postotka oborina palih tijekom jednog mjeseca u godišnjoj sumi oborina. U veljači, mjesecu kad je u analiziranih 156 godina prosječno tijekom godine palo najmanje oborina, samo 5,18 %, raspon se kreće od 0,13 % do 26,6 %. Radi se o

vrlo sličnim vrijednostima kao i u listopadu, drugom po prosječnoj količini oborina palih tijekom jednog mjeseca u analiziranom razdoblju od 156 godina. U listopadu prosječno je palo 10,23 %, oborina, a raspon je varirao od 0,02 % do 25,7 %.

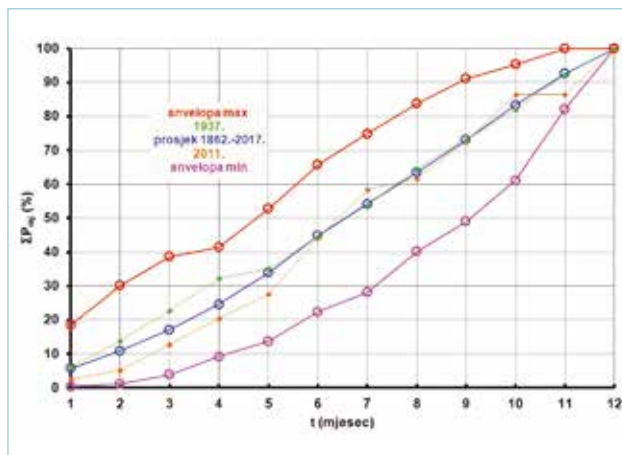


Slika 13: Grafički prikaz pet nizova suma mjesečnih oborina tijekom godine: (1) anvelopa maksimuma; (2) 1937. godina kao najvlažnija godina; (3) prosječna vrijednost u razdoblju 1862.-2017.; (4) 2011. godina kao najsušnija godina; (5) anvelopa minimuma. Zelenom bojom su prikazane vrijednosti standardnih devijacija mjesečnih vrijednosti, StDev, u razdoblju 1862.-2017.



Slika 14: Nizovi minimalnih, P_{min} (ljubičasta boja), prosječnih, P_g (modra boja) i maksimalnih P_{max} (crvena boja) postotaka učešća oborine pojedinog mjeseca u ukupnoj godišnjoj oborini izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Zelenom bojom su prikazane vrijednosti standardnih devijacija mjesečnih vrijednosti, StDev, u razdoblju 1862.-2017.

Na slici 15 nalazi se grafički prikaz pet nizova suma postotaka mjesečnih oborina u ukupnoj godišnjoj oborini tijekom godine: (1) anvelopa maksimuma; (2) 1937. godina kao najvlažnija godina; (3) prosječna vrijednost u razdoblju 1862.-2017.; (4) 2011. godina kao najsušnija godina; (5) anvelopa minimuma. Uočava se da se u ovom slučaju raspodjele postotaka mjesečnih oborina u ukupnoj godišnjoj sumi za najsušniju (2011.) i najvlažniju



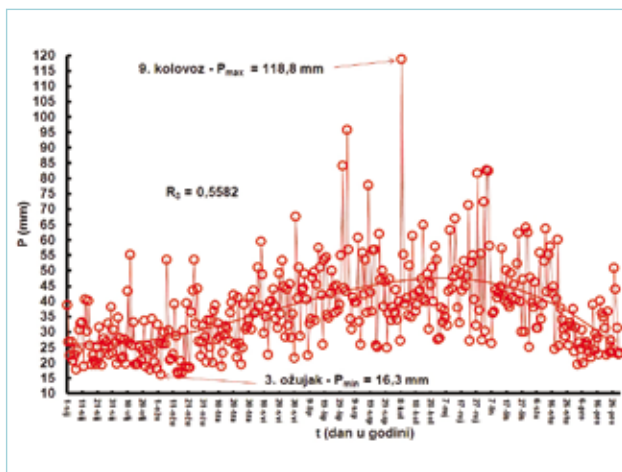
Slika 15: Grafički prikaz pet nizova suma postotaka mjesečnih oborina u ukupnoj godišnjoj oborini tijekom godine: (1) anvelopa maksimuma; (2) 1937. godina kao najvlažnija godina; (3) prosječna vrijednost u razdoblju 1862.-2017.; (4) 2011. godina kao najsušnija godina; (5) anvelopa minimuma

(1937.) godinu poklapaju s prosjekom za analizirano razdoblje 1862.-2017.

4. DANI TIJEKOM GODINE KAO VREMENSKE JEDINICE ANALIZE

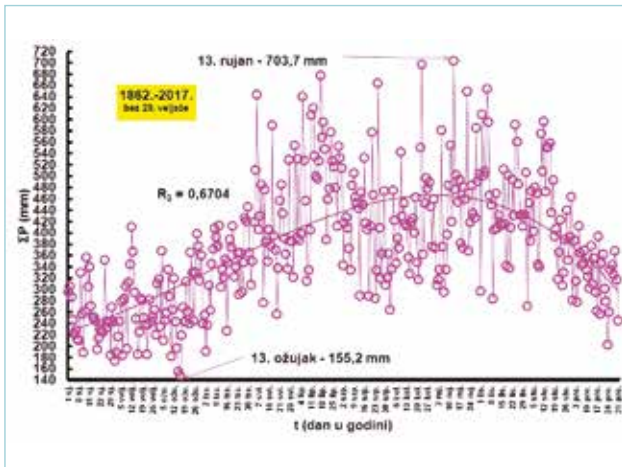
U ovom poglavlju izvršit će se analiza nizova maksimalnih dnevnih i sumarnih dnevnih oborina u pojedinom danu godine u analiziranom razdoblju 1862.-2017. na opservatoriju Zagreb-Grič.

Na slici 16 prikazan je niz maksimalnih dnevnih oborina koje su se pojavile tijekom 366 dana godine s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanom vrijednosti indeksa nelinearne korelacije $R_3 = 0,5582$. Maksimalna vrijednost dnevne oborine pojavila se 9. kolovoza u iznosu od 118,8 mm, dok je minimalna opažena 3. ožujka u iznosu od 16,3 mm.



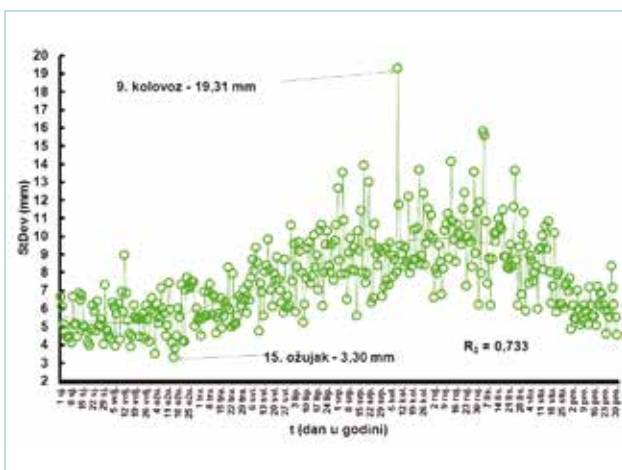
Slika 16: Niz maksimalnih dnevnih oborina tijekom 366 dana godine izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanim indeksom nelinearne korelacije, R_3

Slika 17 prikazuje niz suma dnevnih oborina tijekom 365 dana godine (29. veljače nije uključen) s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanom vrijednosti indeksa nelinearne korelacije $R_3 = 0,6704$. Maksimalna vrijednost sumarnih dnevnih oborine u analiziranom razdoblju od 156 godina pojavila se 13. rujna te je iznosila 703,7 mm, dok je minimalna vrijednost opažena 13. ožujka u iznosu od 155,2 mm.



Slika 17: Niz suma dnevnih oborina tijekom 365 dana godine (29. veljače nije uključen) izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanim indeksom nelinearne korelacije, R_3

Na slici 18 ucrtan je niz standardnih devijacija, StDev, dnevnih oborina tijekom 366 dana godine s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanom vrijednosti indeksa nelinearne korelacije $R_3 = 0,733$. Maksimalna vrijednost standardne devijacije dnevnih oborina u analiziranom razdoblju od 156 godina pojavila se 9. kolovoza u iznosu od 19,3 mm, dok je minimalna vrijednost opažena 15. ožujka u iznosu od 3,3 mm.



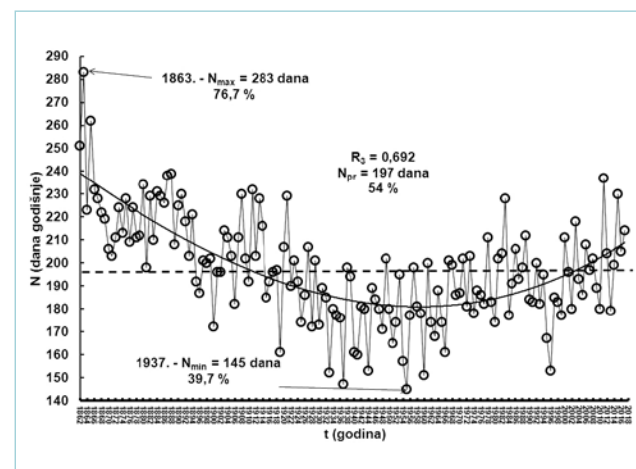
Slika 18: Niz standardnih devijacija, StDev, dnevnih oborina tijekom 366 dana godine izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanim indeksom nelinearne korelacije, R_3

U sve tri analizirane karakteristike dnevnih oborina moguće je uočiti slično ponašanje tijekom godine. Minimalne se vrijednosti javljaju u siječnji i veljači, a maksimalne u rujnu i listopadu. Između bliskih i/ili susjednih dana razlike mogu biti vrlo velike. Kao primjer se navodi 13. rujna, dan s najvećom sumom oborina u 156 godina u iznosu od 703,7 mm. Samo dan ranije suma je iznosila 419,2 mm, a dan kasnije 476,8 mm. Analize izvršene u ovom poglavlju dodatno ukazuju na slučajni karakter pojave oborina na razini dana (datuma) na lokaciji opservatorija Zagreb-Grič.

5. ČESTINA POJAVE DNEVNIH OBORINA

Kod izučavanja oborinskog režima neophodno je utvrditi učestalost oborinskih dana odnosno broj dana godišnje s oborinom manjom ili većom od nekih graničnih vrijednosti (pragova).

Na slici 19 je grafički prikazan niz godišnjeg broja dana s oborinom manjom od 0,1 mm (N), po godinama izmjenom na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. Na slici je ucrtana parabola trećeg reda te je upisan indeks nelinearne korelacije koji iznosi, ($R_3=0,692$). Prosječan broj dana godišnje s oborinom manjom od 0,1 mm iznosi, 197 dana (N_{pr}), odnosno u prosjeku 54% dana u godini je bez oborine. Broj takvih dana varira između minimalne vrijednosti od 145 dana (N_{min}) ili oko 40% dana u godini (opaženo 1937.) i maksimalne vrijednosti od 283 dana (N_{max}) ili oko 77% dana u godini (opaženo 1863.).



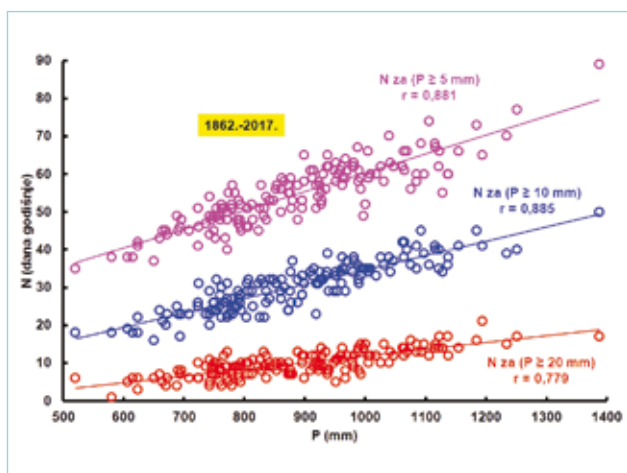
Slika 19: Niz broja dana godišnje s oborinama manjim od 0,1 mm u pojedinoj godini izmjenom na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s ucrtanom parabolom trećeg reda i upisanim indeksom nelinearne korelacije, R_3

U tablici 3 upisane su vrijednosti čestine dana (N) s dnevnim količinom oborine različitih kategorija izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju od 1. siječnja 1862. do 31. prosinca 2017. (ukupno 56.979 dana) izražene u broju dana i postocima.

Tablica 3: Apsolutne (N-dani) i relativne (N-%) čestine dana s različitim kategorijama dnevnih količina oborine (P-mm) izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju od 1. siječnja 1862. do 31. prosinca 2017. (ukupno 56.979 dana).

P (mm)	N (dani)	N (%)
≥100,0	1	0,0018
90,0-99,9	1	0,0018
80,0-89,9	4	0,0070
70,0-79,9	4	0,0070
60,0-69,9	14	0,0245
50,0-59,9	48	0,0842
40,0-49,9	120	0,2106
30,0-39,9	330	0,5792
20,0-29,9	1014	1,7796
10,0-19,9	3191	5,6003
5,0-9,9	3809	6,6849
1,0-4,9	7336	12,875
0,1-0,9	6356	11,155
Σ	22228	39,010

U **tablici 4** navedene su vrijednosti minimalnog, prosječnog i maksimalnog broja dana godišnje s oborinom većom ili jednakom od pet odabranih pragova u razdoblju od 1862.-2017. izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič: (1) ($P \geq 0,1$ mm); (2) ($P \geq 5$ mm); (3) ($P \geq 10$ mm); (4) ($P \geq 20$ mm); (5) ($P \geq 30$ mm). Odnos između broja dana u godini, N, s oborinama većim ili jednakim 5 mm (ljubičasta boja), 10 mm (modra boja) i 20 mm (crvena boja)



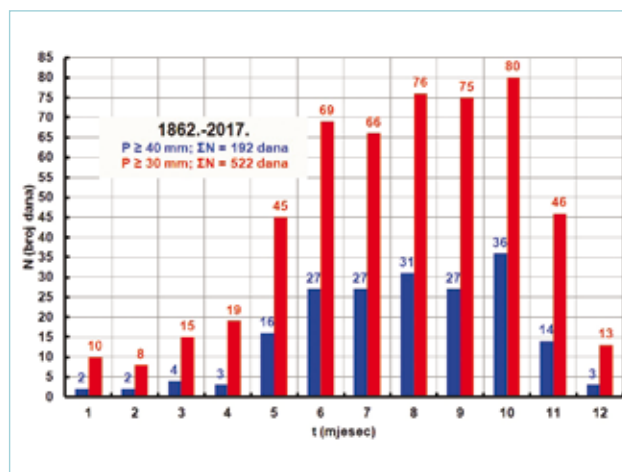
Slika 20: Odnos između broja dana u godini, N, s oborinama većim ili jednakim 5 mm (ljubičasta boja), 10 mm (modra boja) i 20 mm (crvena boja) kao zavisne varijable i godišnjih oborina kao nezavisne varijable

Tablica 4: Minimalni, prosječni i maksimalni broj dana godišnje s oborinom većom ili jednakom od neke vrijednosti u razdoblju 1862.-2017. opservatoriju Zagreb-Grič.

N (dana godišnje)	za P (mm)				
	≥ 0,1 mm	≥ 5 mm	≥ 10 mm	≥ 20 mm	≥ 30 mm
min	80	35	16	1	0
prosjek	141,9	54,8	30,3	9,8	3,3
max	196	89	50	21	10

kao zavisne varijable i godišnjih oborina kao nezavisne varijable prikazan je na **slici 20**. Na slici su ucrtani i pravci regresije te su upisane i vrijednosti koeficijenta korelacije koji su vrlo visoki, a variraju između vrijednosti $r = 0,779$ i $r = 0,885$.

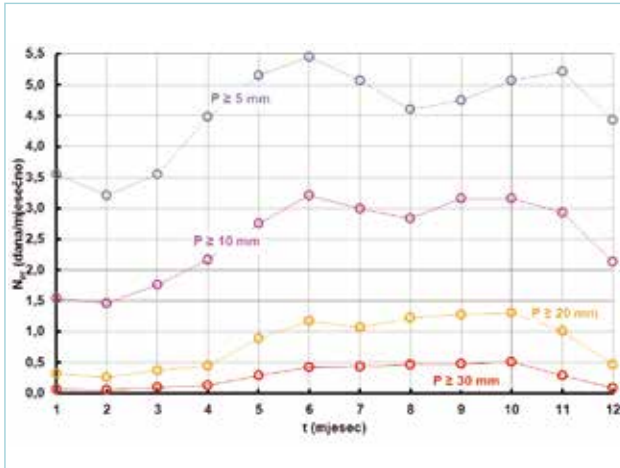
Poznavanje čestina dana s dnevnom količinom oborine većom od nekih graničnih vrijednosti u raznim mjesecima godine od interesa je za inženjerske hidrološke analize. Na **slici 21** ucrtani su histogrami ukupnog broja dana u pojedinom mjesecu u razdoblju 1862.-2017. s dnevnim oborinama jednakim ili većim od: (1) 30 mm (crvena boja); (2) 40 mm (modra boja). Mjesec s najvećim brojem dana za oba praga oborine je listopad, dok se najmanje dana s ovako obilnim dnevnim oborinama javlja u veljači. U razdoblju od 156 analizom obuhvaćenih godina pojavilo se ukupno 522 dana s dnevnom oborinom većom ili jednakom od 30 mm i 192 dana s dnevnom oborinom većom ili jednakom od 40 mm.



Slika 21: Ukupni broj dana u pojedinom mjesecu u razdoblju 1862.-2017. s oborinama jednakim ili većim od: (1) 30 mm (crvena boja); (2) 40 mm (modra boja)

Na **slici 22** grafički su prikazani nizovi prosječnog broja dana godišnje u pojedinom mjesecu, N,

izmjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s dnevnim oborinama većim od: (1) 5 mm; (2) 10 mm; (3) 20 mm; (4) 30 mm. Dnevne oborine veće od 5 mm i 10 mm najčešće se javljaju u lipnju dok se one veće od 20 mm i 30 mm najčešće javljaju u listopadu.



Slika 22: Nizovi prosječnog broja dana godišnje u pojedinom mjesecu, N, izmjenjenih na opservatoriju Zagreb-Grič u razdoblju 1862.-2017. s dnevnim oborinama većim od: (1) 5 mm; (2) 10 mm; (3) 20 mm; (4) 30 mm

6. ZAKLJUČCI

Jedan od osnovnih ciljeva analiza izvršenih u ovom radu bio je da se utvrdi da li su i na koji način klimatske promjene kao i urbanizacija utjecali na oborinski režim mjeren na opservatoriju Zagreb-Grič u 156-godišnjem razdoblju u kojem se raspolagalo s mjerenjima. Pri tome se odmah treba naglasiti da se zaključci odnose samo na dnevne, mjesečne i godišnje oborine, a ne na oborine kraćih vremenskih intervala. Ove analize bitne su zbog toga jer su brojni autori definitivno utvrdili da je na istoj lokaciji došlo do značajnih promjena ostalih klimatoloških parametara, prije svega temperature zraka (na pr. Penzar et al., 1992.; Radić et al., 2004.; Pandžić et al. 2009.; Pandžić i Likso, 2010.; MZOPUG, 2010.; Bonacci et al., 2018.; Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.). Drugi osnovni cilj bio je analizirati dnevne, mjesečne i godišnje oborine za potrebe primjene njihovih rezultata u inženjersko hidrološkim studijama.

Godišnje količine oborine kreću se u rasponu od 520,8 mm (2011. godine) do 1387,4 mm (1937. godine) s prosječnom vrijednosti od 886,7 mm. Testiranje Mann-Kendall-ovim testom pokazalo je da nema pojave značajnog trenda u vremenskom nizu godišnjih oborina od sredine devetnaestog stoljeća do druge dekade dvadeseti prvog stoljeća.

Iznosi maksimalnih mjesečnih oborina tijekom 156-godišnjeg u razdoblja kretali su se u rasponu od 85,3 mm (lipanj 2011.) do 267,5 mm (listopad 1895.) s prosječnom vrijednosti od 158,1 mm. Testiranje Mann-Kendall-ovim testom pokazalo je da nema pojave

značajnog trenda u vremenskom nizu maksimalnih mjesečnih oborina u godini.

Vrijednosti maksimalnih dnevnih količina oborine tijekom svake pojedine godine u razdoblju od analiziranih 156 godina kreću se u rasponu od 21,7 mm (14. studenog 1949.) do 118,8 mm (9. kolovoza 1926.) s prosječnom vrijednosti od 47,6 mm. Testiranje Mann-Kendall-ovim testom pokazalo je da ni u ovom slučaju nema pojave značajnog trenda u analiziranom 156 godina dugom vremenskom nizu.

Na sva tri prethodno iznesena vremenska niza prilagođena je log-normalna krivulja raspodjele. Test Kolmogorov-Smirnova pokazao je da se teoretska log-normalna krivulja statistički značajno prilagodila empirijskim podacima. Povratni period pojave maksimalne godišnje oborine od 1387,4 mm iznosi nešto više od 300 godina. Povratni period pojave maksimalne mjesečne oborine od 267,5 mm iznosi oko 100 godina. Maksimalna dnevna oborine od 118,8 mm iznosi čak više od 5000 godina što jasno ukazuje da tolika dnevna oborina predstavlja izrazito rijetku pojavu.

Analiza trendova, korištenjem Mann-Kendall-ovog testa, godišnjih nizova mjesečnih oborina za svaki pojedini mjesec u razdoblju 1862.-2017. pokazala je da samo u listopadu postoji statistički značajan trend opadanja pošto je vrijednost $p = 0,0381$ manja od granične vrijednosti $p = 0,05$. Primjenom RAPS metode ustanovljeno je da se u mjesecu listopadu tijekom 156 godina ističu sljedeća dva vremenska podniza: (1) 1862.-1941.; (2) 1942.-2017. U prvom je prosječna vrijednost oborina palih u listopadu iznosila 105,1 mm i bila je za 29 mm viša od oborina izmjenjenih u drugom podnizu kada je iznosila 76,1 mm. Testiranjem F-testom dokazalo je da ne postoji statistički značajna razlika varijanci navedena dva podniza. Rezultati t-testa ukazali su da postoji značajna statistička razlika između prosječnih vrijednosti oborina u listopadu u dva analizirana podniza pošto je izračunata vrijednost od $p = 0,000827$ znatno manja od kritične vrijednosti koja iznosi $p = 0,01$.

Analiza trendova, korištenjem Mann-Kendall-ovog testa, nizova maksimalnih mjesečnih oborina koje su se pojavile u pojedinom mjesecu razdoblja 1862.-2017. pokazala je da niti u jednom mjesecu godine ne postoji statistički značajni trend porasta ili opadanja.

Analiza nizova maksimalnih dnevnih, sumarnih dnevnih oborina u pojedinom danu u analiziranom razdoblju 1862.-2017. pokazala je slično ponašanje tijekom 365 ili 366 dana godine. U sve tri analizirane dnevne karakteristike oborina moguće je uočiti slično ponašanje tijekom godine. Minimalne se vrijednosti javljaju u siječnju i veljači, a maksimalne u rujnu i listopadu. Između bliskih i/ili susjednih dana razlike u izmjerenim vrijednostima mogu biti vrlo velike. Kao primjer se navodi 13. rujna, dan s najvećom sumom oborina u 156 godina u iznosu od 703,7 mm. Samo dan ranije suma je iznosila 419,2 mm, a dan kasnije 476,8 mm. Ovo ukazuje na veliku međudnevnu varijabilnost

zbog čega se dobiveni rezultati za pojedine datume moraju koristiti s oprezom. Ukazuje se potreba dodatnog ispitivanja međudnevne varijacije i uključivanja u analizu nekoliko dana prije i nekoliko dana poslije promatranog datuma radi dobivanja stabilnijih rezultata na dnevnoj skali.

Prosječan broj dana godišnje u razdoblju od 156 godina od 1862. do 2017. s oborinom manjom od 0,1 mm iznosi 197 dana (54% dana u godini), a varira između minimalne vrijednosti od 145 dana (39,7% dana u godini) (opaženo 1937.) i maksimalne vrijednosti od 283 dana (76,7% dana u godini) (opaženo 1863.).

Mjesec s najvećim brojem dana s dnevnom oborinom većom od 30 mm i 40 mm je listopad, dok se najmanje

dana s ovako obilnim dnevnim oborinama javlja u veljači. U razdoblju od 156 analizom obuhvaćenih godina pojavilo se ukupno 522 dana s oborinom jednakom ili većom 30 mm od čega su 192 dana s dnevnom oborinom većom ili jednakom 40 mm.

Na osnovi u ovom radu izvršenih analiza može se donijeti zaključak da na oborine raznih vremenskih trajanja izmjerenih na opservatoriju Zagreb-Grič nije ustanovljena prisutnost značajnog trenda koji bi se mogao pripisati klimatskim promjenama ili procesu urbanizacije. Slučaj mjeseca listopada potrebno je posebno pažljivo pratiti i analizirati jer bi on eventualno mogao ukazivati na postojanje određene preraspodjele oborina tijekom godine. ■

LITERATURA

- Adefisan, E.A. (2018.): Climate change impact on rainfall and temperature distributions over West Africa from three IPCC scenarios. *Journal of Earth Science & Climatic Change* 9(6):1-14.
- Arnaud, P., Lavabre, J., Fouchier, C., Diss, S., Javelle, P. (2011.): Sensitivity of hydrological models to uncertainty in rainfall input. *Hydrological Sciences Journal* 56(3):397-410.
- Bonacci, O. (1994.): *Oborine: glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*. GEING, Split, str. 341.
- Bonacci, O., Andrić, I., Roje-Bonacci, T. (2018.): Increasing trends of air temperature in urban area: a case study from four stations in Zagreb City area. *Vodoprivreda* 50(294-296):203-214.
- Bonacci, O., Matešan, D. (1999.): Analysis of precipitation appearance in time. *Hydrological Processes* 13(11):1683-1690.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (2018.): Analyses of the Zagreb-Grič Observatory air temperatures indices for the period 1881-2017. *Acta Hydrotechnica* 31(54):67-85.
- Cindrić, K. (2006.): Statistical analysis of wet and dry spells in Croatia by the binary DARMA (1,1) model. *Hrvatski Meteorološki Časopis - Croatian Meteorological Journal*. 41:43-51.
- Cristiano, E., ten Veldhuis, M.-C., van de Giesen, N. (2017.): Spatial and temporal variability of rainfall and their effects on hydrological response in urban areas - a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 21(7):3859-3878.
- Deal, E., Braun, J., G. Botter, G. (2018.): Understanding the role of rainfall and hydrology in determining fluvial erosion efficiency. *JGR: Earth Surface* 123(4):744-778.
- Gajić-Čapka, M. (1982.): Varijabilnost prosječnog oborinskog režima šire zagrebačke regije. *Rasprave* 17: 23-40.
- Gajić-Čapka, M. (1991.): Trend of precipitation at the SE edge of the Alps. *Proceedings of the 21th International Conference on Carpathian Meteorology*, Uzhgorod, USSR. 337-344.
- Gajić-Čapka, M. (1992.): Stationarity, trend and periodicity of precipitation at the Zagreb-Grič Observatory from 1862 to 1990. *Hrvatski Meteorološki Časopis* 27:1-10.
- Gajić-Čapka M. (2012) Klimatske informacije i klimatske promjene za potrebe upravljanja vodama. *Hrvatska vodoprivreda*, 201, 22-26.
- Gajić-Čapka M., Cindrić K. (2014): Pojava oborinskih ekstrema s osvrtom na poplave. *Hrvatska vodoprivreda*, 207, 96-99.
- Gajić-Čapka M., Čapka, B. (1985.): Analiza ljetnih oborina na području grada Zagreba. *Hrvatski Meteorološki Časopis* 20:31-40.
- Garbrecht, J., Fernandez, G.P. (1994.): Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin* 30(2):297-306.
- Hamed, K.H., Ramachandra, R. (1998.): A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204(1-4):182-196.
- Hamlin, M.J. (1983.): The significance of rainfall in the study of hydrological processes at basin scale. *Journal of Hydrology* 65(1-3):73-94.
- Juras, J. (1985.): Neke karakteristike promjene klime Zagreba u posljednjem tri desetljeću. *Geofizika* 2:93-102.
- Juras, J., Jurčec, V. (1976.): Statistička analiza sušnih i kišnih razdoblja primjenom modela Markovljevihi lanaca. *Rasprave i prikazi - Republički hidrometeorološki zavod Socijalističke Republike Hrvatske* 13:59-98.
- Kendall M.G. (1975.): *Rank correlation methods*, 4th edition. Charles Griffin, London, Great Britain.
- Mann, H.B. (1945.): Non-parametric test of randomness against trend. *Econometrica* 13(3):245-259.
- MZOPUG, 2010: Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change. Republic of Croatia Ministry of Environmental Protection, Physical

- Planning and Construction (MZOPUG), Zagreb, pp 215
http://unfccc.int/resource/docs/natc/hrv_nc5.pdf
- Ogrin, D., Krevs, M. (2015.): Assessing urban heat island impact on long-term trends of air temperatures in Ljubljana. *Dela* 43:41-59.
- Pandžić, K., Likso, T. (2010.): Homogeneity of average annual air temperature time series for Croatia. *International Journal of Climatology* 30(8):1215-1225.
- Pandžić, K., Trninić, D., Likso, T., Bošnjak, T. (2009.): Long-term variations in water balance components for Croatia. *Theoretical and Applied Climatology* 95(1-2):39-51.
- Pandžić, K. (2016.): Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index for Zagreb-Grič Observatory. Abstract *EGU General Assembly 2016, Vienna Austria*, id. EPSC2016-7340:2992.
- Penzar, B., Penzar, I., Juras, J., Marki, A. (1992.): Brief review of climatic fluctuations recorded in Zagreb between 1862 and 1990. *Geofizika* 9(1):57-67.
- Radić, V., Pasarić, N., Šinik, N. (2004.): Analiza zagrebačkih klimatoloških nizova pomoću empirijski određenih prirodnih sastavnih funkcija. *Geofizika* 21(1):15-36.
- Trenberth, K.E. (1999.): Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change* 42:327-339.
- Wood, S.J., Jones, D.A., Moore, R.J. (2000.): Accuracy for rainfall measurement for scales of hydrological interest. *Hydrology and Earth System Sciences* 4(4):531-543.
- Zhou, Z., Ouyang, Y., Li, Y., Qiu, Z., Moran, M. (2017.): Estimating impact of rainfall change on hydrological processes in Jianfengling rainforest watershed, China using BASINS-HSPF-CAT modelling system. *Ecological Engineering* 105:87-94.

Analysis of daily, monthly and annual precipitation at the Zagreb-Grič observatory (1862 -2017) for purposes of engineering hydrology

Abstract. The paper conducts the analysis of daily, monthly and annual precipitation quantities measured at the Zagreb-Grič observatory in the period from 1862 to 2017, which comprises of: (1) 156 years; (2) 1,872 months and (3) 56,979 days. The analysis uses the following methods: (1) the linear and non-linear regression; (2) linear and non-linear correlation; (3) log-normal distribution curves; (4) Kolmogorov-Smirnov test; (5) Mann-Kendall test; (6) RAPS method; (7) t-test; (8) F-test. The annual precipitation ranges from 520.8 mm (2011) to 1387.4 mm (1937), with an average value of 886.7 mm. The maximum monthly precipitation occurring in each individual year ranges from 85.3 mm (June 2011) to 267.5 mm (October 1895), with the average value of 158.1 mm. The maximum daily precipitation occurring in each individual year ranges from 21.7 mm (14 November 1949) to 118.8 mm (9 August 1926), with the average value of 47.6 mm. The maximum daily precipitation of 118.8 mm equates to a return period of over five thousand years. The presence of a statistically significant upward or downward trend in the annual or monthly (except in October) precipitation series as well as maximum daily precipitation in a year or a month cannot be confirmed. The presence of a statistically significant difference in the precipitation quantities has been determined only for October, and comprises of two sub-periods: (1) 1862-1941 and (2) 1942-2017. In the first sub-period, the average monthly precipitation quantity equalled 105.1 mm whereas in the second sub-period it decreased by 29 mm and equalled 76.1 mm. According to the analyses conducted in this paper, it can be concluded that the precipitation of different time durations measured in the period from 1862 - 2017 at the Zagreb-Grič observatory showed no significant impact of either the climate change or urbanisation.

Key words: precipitation, Zagreb-Grič, log-normal distribution, Mann-Kendall test, Kolmogorov-Smirnov test, RAPS method

Analyse von täglichen, monatlichen und jährlichen Niederschlagsmengen an Zagreb-Grič (1862-2017) für die Bedürfnisse der Ingenieurgeologie

Zusammenfassung. Im Artikel wird die Analyse von täglichen, monatlichen und jährlichen an der Wetterstation Zagreb-Grič im Zeitraum zwischen 1862 und 2017 gemessenen Niederschlagsmengen dargestellt, die insgesamt 156 Jahre oder 1 872 Monate oder 56 979 Tage umfasst. In der Analyse wurden folgende Methoden angewendet: lineare und nichtlineare Regression, lineare und nichtlineare Zusammenhänge, Log-Normalverteilung, Kolmogorow-Smirnow-Test, Mann-Kendall-Tendenztest, summarische Abweichungskurve (*Eng.* Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) method), t-Test und F-Test. Die Jahresniederschlagsmengen schwanken zwischen 520,8 mm (2011) und 1387,4 mm (1937), und der Durchschnittswert beträgt 886,7 mm. Die maximalen Monatsniederschlagsmengen in jedem einzelnen Jahr schwanken zwischen 85,3 mm (Juni 2011) und 267,5 mm (Oktober 1895), und der Durchschnittswert beträgt 158,1 mm. Die maximalen Tagesniederschlagsmengen in jedem einzelnen Jahr schwanken zwischen 21,7 mm (14. November 1949) und 118,8 mm (9. August 1926), und der Durchschnittswert beträgt 47,6 mm. Dem maximalen Tagesniederschlag von 118,8 mm entspricht ein Wiederkehrzeitraum länger als 5000 Jahre. Die Anwesenheit eines statistisch signifikanten Verringerungs- oder Steigerungstrends konnte in den Reihen von jährlichen und monatlichen (außer im Oktober) sowie von maximalen täglichen Niederschlagsmengen im Jahr und Monat nicht festgestellt werden. Es wurde aber festgestellt, dass nur im Oktober ein statistisch signifikanter Unterschied in Niederschlagsmengen in zwei Unterzeiträumen (1862-1941 und 1942-2017) besteht. Im ersten Unterzeitraum betrug die durchschnittliche monatliche Niederschlagsmenge 105,1 mm, während sie im zweiten Unterzeitraum 29 mm niedriger war, betrug also 76,1 mm. Auf Grund der hier durchgeführten Analysen konnte man schließen, dass auf die Niederschläge unterschiedlicher Dauer, die im Zeitraum 1862-2017 an der Wetterstation Zagreb-Grič gemessen wurden, Klimaänderungen und Urbanisierungsprozesse keine wesentliche Wirkung hatten.

Schlüsselwörter: Niederschlag, Zagreb-Grič, Log-Normalverteilung, Mann-Kendall-Tendenztest, Kolmogorow-Smirnow-Test, summarische Abweichungskurve (RAPS method)