

# ANALIZA INTENZITETA OBORINA ZA DIMENZIONIRANJE OBJEKATA ODVODNJE OBORINSKIH VODA PROSTORA GRADA DARUVARA

## ANALYSES OF INTENSITY PRECIPITATION FOR THE DIMENSIONING OF DRAINAGE FACILITY OF RAINFALL ON THE AREA TOWN DARUVAR

Vladimir Patrčević<sup>1</sup>, Bojan Đurin<sup>1\*</sup>, Ivan Kuharić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, HRVATSKA

\*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: bojan@gfv.hr

**Sažetak:** Za potrebe dimenzioniranja objekata odvodnje oborinskih voda područja grada Daruvara provedena je vremensko-prostorna analiza oborinskih osobina, koristeći povijesne podatke mjerenja kratkotrajnih oborina s meteorološke stanice Daruvar. Na primjeru meteorološke stanice Daruvar prikazani su osnovni klimatski podaci i hidrološke osobine prostora na kojemu se vrši dimenzioniranje objekata odvodnje, kao i načini te metode mjerenja oborina na meteorološkoj stanici. Obavljena je analiza oborina sa meteorološke stanice Daruvar iz povijesnog razdoblja mjerenja (1991-2010), te izvršen proračun vjerojatnosti maksimalnih intenziteta kiše trajanja od 10 min do 60 min. Proračuni vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborine obavljani su statističkom analizom sastavljenog uzorka primjenom empirijskih i teoretskih funkcija raspodjele vjerojatnosti.

**Gljučne riječi:** intenzitet oborina, ITP krivulje, vjerojatnost, ombrograf

**Abstract:** For the purposes of dimensionings drainage facilities of the rainfall of area the town Daruvar has been carried out time-space analyses of rainfall characteristics, using historical data of measurements of short-term rainfalls with the weather station Daruvar. On the example of weather station Daruvar has been presented basic climatic data and hydrological characteristics of space on which perform dimension drainage facilities, as well as approach measurement method of rainfall on the weather station. Has been performed analyses of rainfalls with the weather station Daruvar from the historical measurement period (1991-2010), also performed the calculation of probabilities of the maximum intensities rain duration from 10 minute to 60 minute. Calculations of probability maximum rainfall have been performed by the statistical analysis of constituted sample by using of empiria and theoretical function of probability distribution.

**Keywords:** intensity of precipitation, ITP curves, probability, rain gauge

Received: 20.07.2015 / Accepted: 07.12.2015

Published online: 14.12.2015

Stručni rad / Technical paper

## 1. UVOD

Ispravno dimenzioniranje objekata odvodnje oborinskih voda sa ruralnih površina (travnjaci, livade, zemljišta) ili urbanih površina (asfalti, beton, krovovi), pretpostavlja poznavanje oborinskih osobina odgovarajućeg slivnog područja (Margeta 2010). Za manje slivne površine kao što su kolnici prometnica, parkirališta, manipulativni otvoreni prostori, posebno je važno poznavanje mjerodavnih kratkotrajnih oborina jakog intenziteta, uobičajenog trajanja od 10 min do 60 min u funkciji vjerojatnosti pojave takve kiše (Patrčević 1980).

Za inženjersku praksu, posebno kod projektiranja oborinske kanalizacijske mreže u urbanim prostorima, od interesa su oborine (kiše) jakog intenziteta, koje obično izazivaju poplave i zasićenja kanalskih kolektora namijenjenih odvodnji oborinskih voda (Hurford et al. 2012). Sve hidrološke pojave, a tako i oborine (kiše) mogu se smatrati slučajnim veličinama ili događajima izazvanim velikim brojem promjenljivih uzroka. Time se na na takve događaje mogu primjenjivati zakoni statističke raspodjele, odnosno zakoni vjerojatnosti. Na temelju takvih poznatih, mjerodavnih oborina iz dugogodišnjih razdoblja opažanja, proračunavaju se odgovarajuće

mjerodavne protoke na osnovu kojih se dimenzioniraju objekti odvodnje.

Poznavanje vjerojatnosti jakih oborina, odnosno mjerodavnih intenziteta kratkotrajnih kiša, moguće je preko krivulja vjerojatnosti, odnosno tzv. ITP krivulja (intenzitet kiše – trajanje kiše – vjerojatnost, odnosno povratni period pojave kiše) (Žugaj 2000). Za proračun i dobivanje ITP krivulja najprihvatljiviji je način korištenjem izmjerenih oborina putem automatskog kišomjera (ombrografa).

Ovaj rad predstavlja doradenu verziju diplomskog rada studenta Ivana Kuharića (Kuharić 2014). Diplomski rad izrađen je na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, pod mentorstvom prof.dr.sc. Vladimira Patrčevića i uz pomoć dr.sc. Bojana Đurina. Pri tome se već kod samog diplomskog rada nastojalo primijeniti znanja stečena tijekom studija, odnosno slušanja kolegija Primenjena Hidrologija, na jednom konkretnom primjeru proračuna i definiranja ITP krivulja za potrebe dimenzioniranja oborinske kanalizacije grada Daruvara.

## 2. PODLOGE I METODOLOGIJA

Provedena metodologija analize oborina jakog intenziteta koja se koristi u radu vezana je uz pojam slučajnog događaja i statističkih zakonitosti. U radu se želi objasniti primjenu osnovnih pojmova teorije vjerojatnosti i matematičke statistike na izmjerene oborine, odnosno računске intenzitete oborina na određenoj meteorološkoj stanici.

### 2.1. Podloge

Za meteorološku stanicu Daruvar (Slika 1, 2) raspolagalo se dostupnim podacima mjerenja kratkotrajnih oborina iz 20-godišnjeg povijesnog razdoblja (1991-2010), Tablica 1. Provedeno je kontinuirano mjerenje visine oborina, budući da je osigurano grijanje ombrografa.

Pri tome su u istoj tablici proračunati karakteristični statistički pokazatelji, koji daju dodatan uvid u karakteristike veličina vrijednosti godišnjih intenziteta oborina  $i$ . To su srednja vrijednost  $i_{sred}$ , standardna devijacija  $\sigma$ , koeficijent varijacije  $c_v$ , te minimalna ( $min$ ) i maksimalna ( $maks$ ) vrijednost intenziteta oborina  $i$ .

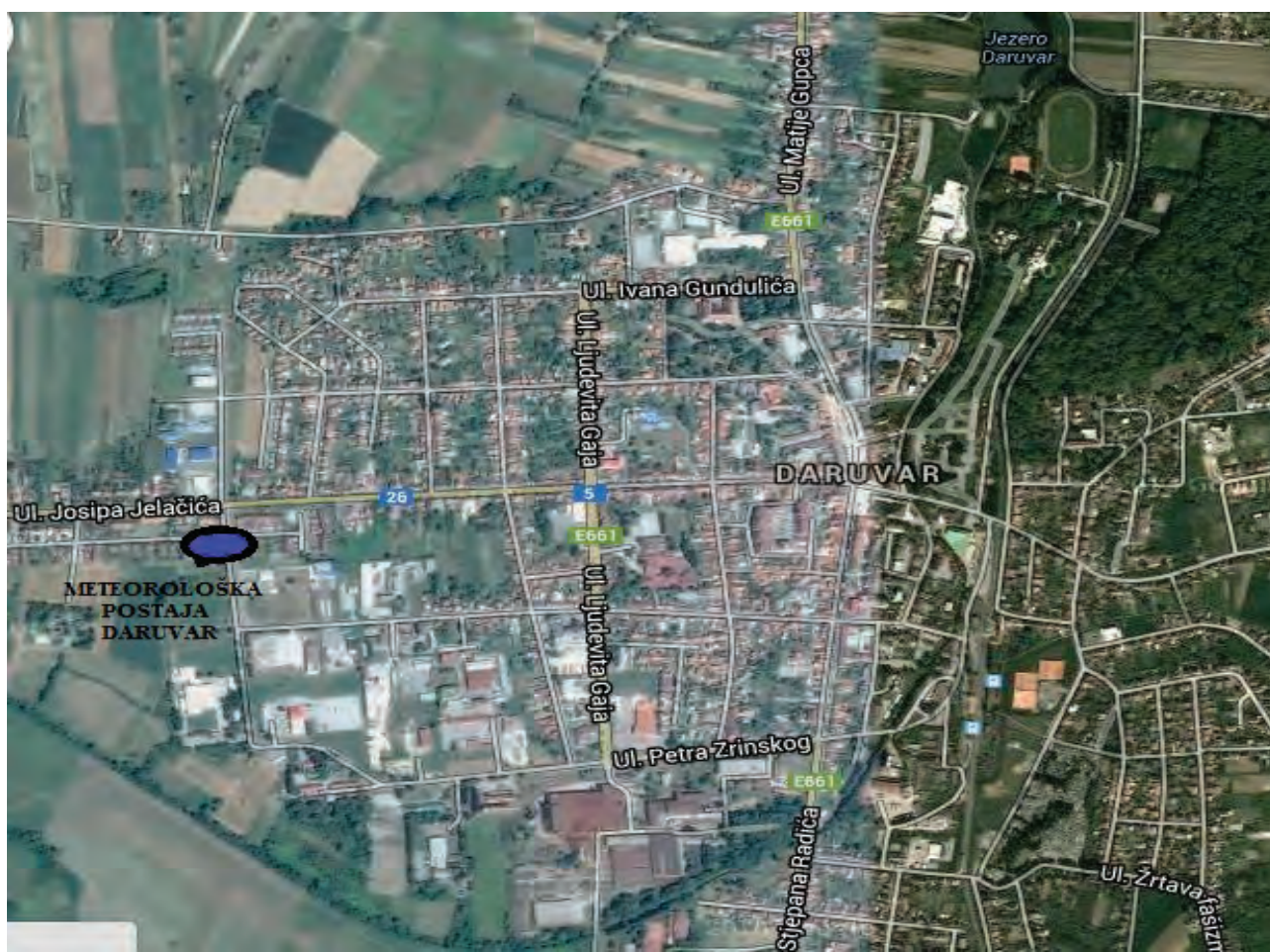
Takvo povijesno razdoblje omogućilo je formiranje podloge za definiranje potrebnih krivulja vjerojatnosti.

### 2.2. Primjena matematičke statistike

Analiza vjerojatnosti pojave jakih kiša odabrana je za trajanja oborina u trajanju od 10, 20, 30, 40, 50 i 60 minuta. Formiranje uzorka za proračun ITP krivulja vjerojatnosti, obavljeno je na temelju izmjerenih oborina za povijesno razdoblje u trajanju od 20 godina. Proračun vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborine izražen preko povratnog perioda (PP) proveden je statističkom analizom sastavljenog uzorka na temelju "niza godišnjih maksimuma", odnosno kao niz godišnjih maksimalnih vrijednosti kratkotrajnih oborina izmjerenih u okviru svake godine, iz raspoloživog povijesnog razdoblja. Veličina povijesnog uzorka za proračun vjerojatnosti iznosi 20 podataka iz 20 godišnjeg niza mjerenja (tablica 2). Provedenim hidrološkim proračunom ispitati će se kvaliteta prilagodbe na nekoliko (u hidrološkoj praksi uobičajenih) teoretskih statističkih funkcija raspodjele kao što su Gaussova, Galtonova, Gumbelova, Pearson 3 i Log-Pearson 3 (Žugaj 2000). Opravdanost primjene spomenutih funkcija raspodjele je u tome što su te funkcije sastavni dio nastave koja se obrađuje u sklopu kolegija Primijenjena Hidrologija na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, stoga je razlog njihove primjene usvajanje stečenih znanja i primjena na problem u hidrološkoj praksi.

**Tablica 1. Maksimalni godišnji intenziteti oborina i prema uzorku godišnjih maksimuma (20 godina) za Daruvar u periodu od 1991. – 2010. (Kuharić 2014)**

God.	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	mm	mm/min	mm	mm/min	mm	mm/min	mm	mm/min	mm	mm/min	mm	mm/min
1991	8,0	0,80	12,9	0,65	16,4	0,55	19,6	0,49	21,1	0,42	22,7	0,38
1992	6,5	0,65	9,2	0,46	12,5	0,42	14,0	0,35	15,5	0,31	17,7	0,30
1993	3,4	0,34	6,8	0,34	9,3	0,31	10,2	0,26	10,9	0,22	11,3	0,19
1994	6,0	0,60	7,9	0,40	9,3	0,31	9,5	0,24	10,0	0,20	11,4	0,19
1995	8,2	0,82	12,8	0,64	18,0	0,60	23,3	0,58	29,9	0,60	35,2	0,59
1996	3,8	0,38	6,4	0,32	9,5	0,32	11,4	0,29	13,1	0,26	14,6	0,24
1997	18,6	1,86	29,5	1,48	30,4	1,01	31,0	0,78	31,7	0,63	32,3	0,54
1998	7,7	0,77	10,7	0,54	13,7	0,46	15,9	0,40	16,2	0,32	16,2	0,27
1999	15,6	1,56	28,4	1,42	36,3	1,21	38,0	0,95	38,5	0,77	39,0	0,65
2000	7,3	0,73	12,5	0,63	15,9	0,53	21,0	0,53	26,0	0,52	27,7	0,46
2001	14,2	1,42	21,9	1,10	27,0	0,90	29,2	0,73	30,5	0,61	30,7	0,51
2002	7,6	0,76	14,3	0,72	16,1	0,54	19,7	0,49	24,2	0,48	29,0	0,48
2003	10,3	1,03	13,8	0,69	13,9	0,46	14,0	0,35	14,7	0,29	17,2	0,29
2004	5,2	0,52	9,0	0,45	11,6	0,39	12,8	0,32	14,0	0,28	14,1	0,24
2005	8,5	0,85	12,8	0,64	17,1	0,57	19,8	0,50	21,1	0,42	22,4	0,37
2006	6,0	0,60	9,1	0,46	10,9	0,36	12,3	0,31	13,4	0,27	14,2	0,24
2007	6,7	0,67	8,9	0,45	10,6	0,35	13,8	0,35	15,5	0,31	15,5	0,26
2008	23,6	2,36	33,6	1,68	40,0	1,33	44,2	1,11	48,4	0,97	50,4	0,84
2009	14,4	1,44	20,2	1,01	22,2	0,74	25,2	0,63	27,1	0,54	27,8	0,46
2010	40,1	4,01	51,5	2,58	58,7	1,96	59,5	1,49	59,6	1,19	59,8	1,00
$i_{sred}$	11,09	1,11	16,61	0,83	19,97	0,67	22,22	0,56	24,07	0,48	25,46	0,43
$\sigma$	8,58	0,86	11,39	0,57	12,77	0,43	12,84	0,32	13,04	0,26	13,14	0,22
$c_v$	0,77	0,77	0,69	0,68	0,64	0,64	0,58	0,58	0,54	0,54	0,52	0,51
$min$	3,40	0,34	6,40	0,32	9,30	0,31	9,50	0,24	10,00	0,20	11,30	0,19
$maks$	40,10	4,01	51,50	2,58	58,70	1,96	59,50	1,49	59,60	1,19	59,80	1,00



Slika 1. Lokacija meteorološke postaje Daruvar (Kuharić 2014)



Slika 2. Meteorološka postaja Daruvar - ombrograf (Kuharić 2014)

### 2.2.1. Gaussova funkcija

Za slučajnu varijablu  $x$  kažemo da je raspodijeljena po simetričnoj funkciji raspodjele ako je njezina gustoća vjerojatnosti, odnosno funkcija vjerojatnosti  $p(x)$  data izrazom (Žugaj 2000):

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Statistički parametri funkcije raspodjele su srednja vrijednost  $\bar{x}$  i standardna devijacija  $\sigma$ , koji se

izračunavaju iz raspoloživih uzorka mjerenja. Funkcija raspodjele  $P(x)$  tada ima oblik:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-x_0}{\sigma}\right)^2} dx \quad (2)$$

Za praktičan proračun vjerojatnosti koristi se Gaussov integral s reduciranim odstupanjem  $z$  preko standardizirane varijable

$$z = (x - \bar{x})/\sigma \quad (3)$$

Uvrštavanjem standardizirane varijable u Gaussov integral dobiva se izraz za Gaussovu krivulju bez parametara, odnosno standardnu normalnu raspodjelu  $P(z)$ :

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz \quad (4)$$

Vrijednosti funkcije raspodjele  $P(z)$  prema odabranoj standardiziranoj varijabli  $z$  date su u statističkim priručnicima. U hidrološkom analizama Gaussov zakon se ne koristi iz razloga što daje simetričnu podjelu obzirom na opažanu sredinu, dok je raspodjela vjerojatnosti pojava hidroloških varijabli gotovo u svim slučajevima nesimetrična.

### 2.2.2. Galtonova funkcija

Galton je iskustveno došao do spoznaje da će dobiti nesimetričnu raspodjelu, koja je uobičajena u hidrološkim veličinama, ako u Gaussovom zakonu raspodjele parametre funkcije aritmetičku sredinu i standardnu devijaciju izrazi u logaritamskim vrijednostima, odnosno uvede logaritamsku varijablu (Žugaj 2000):

$$y = \log x \quad (5)$$

Galtonova funkcija vjerojatnosti  $p(y)$  tada glasi:

$$p(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\bar{y}}{\sigma}\right)^2} \quad (6)$$

Reducirano odstupanje kod ove raspodjele je:

$$z = (y - \bar{y})/\sigma \quad (7)$$

Odnosno odgovarajuća funkcija raspodjele glasi:

$$p(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y-\bar{y}}{\sigma}\right)^2} dy \quad (8)$$

Za proračun krivulja vjerojatnosti također se koriste tablice Gaussovog integrala dostupne u statističkim priručnicima.

### 2.2.3. Pearsonove funkcije

Karl Pearson je publicirao 14 oblika različitih krivulja vjerojatnosti (frekvencije) koje moraju zadovoljavati diferencijalnu jednadžbu (Ahsanullah et al. 2013):

$$\frac{dy}{y} = \frac{(m-x)dx}{a+bx+cx^2} \quad (9)$$

Navedena diferencijalna jednadžba ima 4 parametra ( $m, a, b, c$ ) od kojih zavise oblici krivulja. Time Pearsonova funkcija vjerojatnosti ima oblik:

$$p(x) = e^{-\int \frac{(m-x)(a+bx+cx^2)}{y} dx} \quad (10)$$

U hidrološkoj praksi najčešće se koristi Pearsonova funkcija III-tipa, s običnom varijablom (Pearson 3) ili logaritamskom varijablom (Log-Pearson 3), gdje je funkcija vjerojatnosti dana izrazom:

$$p(x) = p_m e^{-\frac{x}{d} \left(1 + \frac{x}{m}\right)^{\frac{m}{d}}} \quad (11)$$

gdje su:

$p_m$  - modusna ordinata (najveća ordinata krivulje raspodjele);

$d$  - udaljenost modusa od centra ( $\bar{x}$ ).

odnosno:

$$d = \frac{1}{2} c_v c_s \quad (12)$$

pri čemu je  $m$  - udaljenost modusa od lijevog kraja krivulje:

$$m = c_v \left( \frac{2}{c_s} - \frac{c_s}{2} \right) \quad (13)$$

Statistički parametri funkcije su koeficijent varijacije  $c_v$ , koeficijent asimetrije  $c_s$ , te aritmetička sredina  $\bar{x}$ .

Za praktičan proračun ove Pearsonove funkcije koristi se modifikacija po Foster i Ribkin-u (Rethati 1983). Radi se o tabelarno prikazanim vrijednostima Pearsonove funkcije raspodjele. Tabelarno su data odstupanja vezano uz izraz:

$$\phi = (c_s, P) \quad (14)$$

od srednje vrijednosti  $\bar{x}$  za  $c_v = 1$ .

Pri tome je svaka varijabla, vezana uz određenu vjerojatnost, dobivena preko odnosa:

$$X_i = (\phi c_v + 1) \bar{x} \quad (15)$$

Za upotrebu ove funkcije raspodjele potrebno je da nesimetričnost krivulje, odnosno koeficijent asimetrije bude u granicama:

$$\frac{2c_v}{1 - k_{\min}} \geq c_s \geq 2c_v \quad (16)$$

### 2.2.4. Gumbelova funkcija

Gumbelova funkcija se često koristi u hidrologiji za analizu maksimalnih intenziteta oborina, odnosno imat će

raspodjelu prema zakonu ekstremnih vrijednosti. To je dvostruko eksponencijalna funkcija raspodjele prikazana u slijedećem obliku (Hosking & Wallis 1997):

$$p(x) = a \exp\{-a(x-m) - \exp[-a(x-m)]\} \quad (17)$$

Odnosno odgovarajuća funkcija raspodjele glasi:

$$P(X \leq x) = P(x) = e^{-e^{-z}} \quad (18)$$

gdje je zbog lakšeg proračuna uvedena standardizirana varijabla  $z$  (Žugaj 2000):

$$z = a(x - x_m) \quad (19)$$

Odgovarajući statistički parametri funkcije raspodjele su:

$$a = \frac{1}{0.78\sigma}, \quad x_m = \bar{x} - \frac{0.577}{a} \quad (20)$$

gdje su:

$\sigma$  - standardna devijacija uzorka.

$x_m$  - vrijednost modusa.

$\bar{x}$  - centar ili srednja vrijednost uzorka.

Time je proračun Gumbelove funkcije raspodjele maksimalnih intenziteta oborine sistematiziran odnosom:

$$i_{\max} = i_0 + \frac{1}{a} z \quad (21)$$

ITP krivulje predstavljaju izabranu funkciju raspodjele intenziteta oborina, dobivenu iz ograničenog uzorka, za različita trajanja oborine. Za praktičan proračun potrebno je izabrati funkciju i proračunati njezine parametre iz raspoloživih podataka u uzorku. Postoji mnogo različitih metoda za procjenu parametara funkcija raspodjele. U ovom radu upotrebljena je metoda momenata kao najčešće korištena metoda u hidrologiji. Metodu je postavio Karl Pearson kao vrlo praktičnu metodu, (Pearson 1936). Efikasnost te metode opada za asimetrične funkcije raspodjele, dok je za raspodjele koje su bliske normalnoj, odnosno simetričnoj raspodjeli, metoda vrlo kvalitetna.

### 2.3. Procjena parametara funkcija raspodjele i testiranje prilagodbe

Budući da su u hidrologiji moguće primjene različitih funkcija raspodjele, testiranje prilagodbe korištenih funkcija je nužan korak u odlučivanju o prihvatanju odabrane funkcije. Za testiranje funkcija raspodjele kao mjere odstupanja empirijske raspodjele od teoretske raspodjele primijeniti će se matematičko-statistički test Kolmogorov-Smirnov (K-S). Prema K-S testu, mjera odstupanja teoretske raspodjele od iskustvene je najveća razlika između te dvije raspodjele. (Žugaj 2000).

Empirijska raspodjela maksimalnih intenziteta oborine iz promatranog uzorka može se odrediti pomoću nekoliko izraza za kompromisnu vjerojatnost (Žugaj 2000). U ovom slučaju primijeniti će se kompromisna vjerojatnost po Čegodajevu:

$$F(X \geq x) = \frac{m-0,3}{N+0,4} \quad (22)$$

Pri tome je  $m$  redoslijed promotrenog podatka u opadajućem nizu, a  $N$  veličina sastavljenog uzorka maksimalnih intenziteta oborina.

### 3. PRORAČUN ITP KRIVULJA

Proračun parametara odabranih funkcija vjerojatnosti (Gauss, Galton, Gumbel, Pearson 3 i Log-Pearson 3) proveden je na odgovarajućim matematičko - statističkim programom (DIST), korištenim u (Patrčević 1980). U Tablici 2 prikazane su veličine prilagodbe odabranih teoretskih funkcija raspodjele empirijskom raspodjelama primjenom statističkog testa Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Pri tome je Log-Pearson 3 funkcija izdvojena kao najkvalitetnije prilagođena empirijskoj funkciji raspodjele, s obzirom na prosječnu vrijednost postotka prilagodbe. Iz navedenog razloga ona će se koristiti za proračun (dobivanje) ITP krivulja.

Dobiveni rezultati proračuna prema povijesnim, mjeranim podacima kratkotrajnih oborina od 10 minuta do 60 minuta s meteorološke stanice Daruvar, prikazani su za vrijednosti procijenjenih maksimalnih visina oborina  $i$  (mm) u tablici 3. Odgovarajući mjerodavni intenziteti oborina u standardnoj hidrološkoj dimenziji (mm/min) prikazani su u tablici 4., dok su intenziteti oborina u praktičnoj dimenziji za korištenje u projektnim zadacima (l/s/ha) prikazani u tablici 5.

Zbog praktičnijeg korištenja preporučenih ITP krivulja, na rezultate računskih vjerojatnosti za meteorološku stanicu Daruvar, primijenjeno je izjednačenje mjerodavnih intenziteta oborina nelinearnom korelativnom funkcijom. Izjednačenje rezultata po eksponencijalnoj funkciji provedeno je po Gaussovoj teoriji najmanjih kvadrata. Takvo izjednačenje provedeno je zbog točnije interpolacije intenziteta oborina unutar 5 minuta trajanja oborina, a različitih od definiranog uzorka mjerenih oborina.

Proračunom je dobivena veza između mjerodavnih intenziteta oborina  $i$  (mm/min), te trajanja oborina  $t$  (min) za različite vjerojatnosti pojave, odnosno povratne periode PP u obliku slijedećih funkcija:

PP = 3 godine (vjerojatnost jednom u tri godine):

$$i = 3,797 t^{-0,511}$$

PP = 5 godine (vjerojatnost jednom u pet godina):

$$i = 5,257 t^{-0,538}$$

PP = 10 godina (vjerojatnost jednom u deset godina):

$$i = 8,442 t^{-0,594}$$

PP = 20 godina (vjerojatnost jednom u 20 godina):

$$i = 13,088 t^{-0,649}$$

PP = 25 godina (vjerojatnost jednom u 25 godina):

$$i = 15,004 t^{-0,666}$$

Vrijednosti računskih vjerojatnosti maksimalnih intenziteta oborina za grad Daruvar iz 20-godišnjeg razdoblja mjerenja kratkotrajnih oborina, prikazani su u tablicama 6 i 7.

Odgovarajući grafički prikazi ITP krivulja prikazani su na slici 3. za intenzitete oborina u (mm/min), odnosno na slici 4. za intenzitete oborina u dimenziji (l/s/ha), za odabrane povratne periode PP.

Tablica 2. Statistički test (K-S) za različite funkcije raspodjele

Trajanje kiše $t$ (min)	Postotak prilagodbe (%)				
	Gauss	Galton	Pearson 3	Log-Pearson 3	Gumbel
10	19,58	64,29	74,05	94,65	50,07
20	16,32	72,98	88,51	98,15	48,75
30	22,68	83,61	85,20	99,91	62,83
40	71,02	90,58	99,96	96,97	98,58
50	70,53	80,33	95,23	89,98	85,35
60	81,12	95,51	99,13	98,80	95,24
prosjeak	46,88	81,22	90,35	96,41	73,47

Tablica 3. Maksimalne visine oborine za Daruvar u periodu od (1991 – 2010) dobivene korištenjem Log-Pearson 3 raspodjele

Trajanje kiše $t$ (min)	Povratni period PP (godine)				
	3	5	10	20	25
10	11,3	14,7	20,5	27,7	30,3
20	17,3	21,9	30,0	39,8	43,4
30	20,4	25,9	34,9	45,8	49,7
40	23,2	29,2	38,2	48,4	52,0
50	25,6	31,8	40,9	50,8	54,2
60	27,4	33,7	42,8	52,4	55,7

Tablica 4. Maksimalni intenziteti oborine (mm/min) za Daruvar u periodu od (1991 – 2010) dobiveni korištenjem Log-Pearson 3 raspodjele

Trajanje kiše $t$ (min)	Povratni period PP (godine)				
	3	5	10	20	25
10	1,126	1,467	2,050	2,768	3,034
20	0,867	1,097	1,502	1,991	2,171
30	0,681	0,864	1,163	1,525	1,657
40	0,581	0,731	0,954	1,209	1,299
50	0,511	0,636	0,817	1,015	1,083
60	0,456	0,562	0,713	0,874	0,929

Tablica 5. Maksimalni intenziteti oborine (l/s/ha) za Daruvar u periodu od (1991 – 2010) dobivene korištenjem Log-Pearson 3 raspodjele

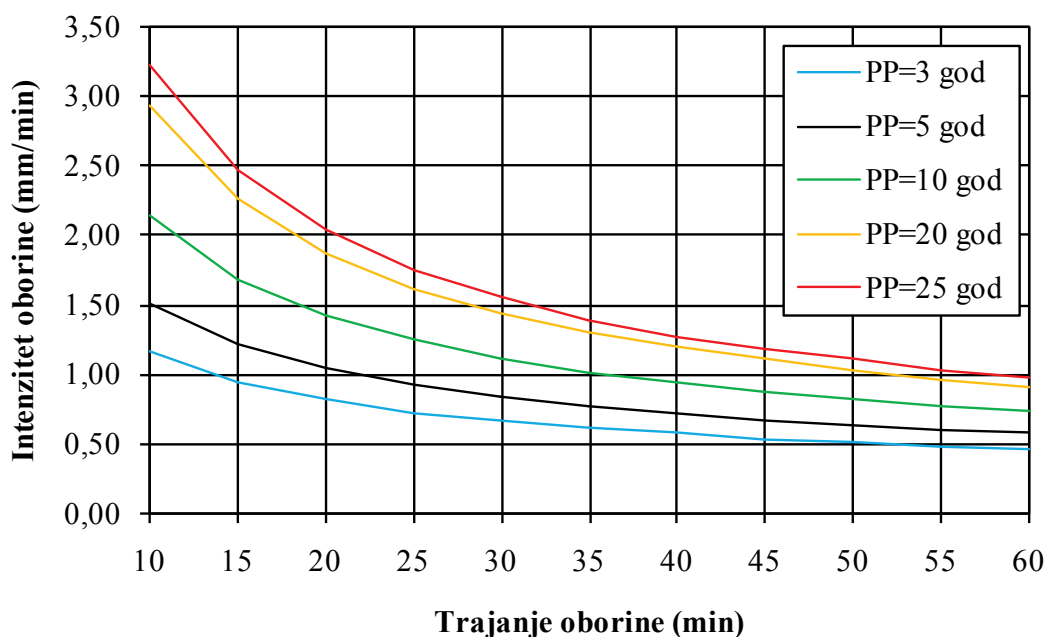
Trajanje kiše $t$ (min)	Povratni period PP (godine)				
	3	5	10	20	25
10	188	245	342	461	506
20	145	183	250	332	362
30	114	144	194	254	276
40	97	122	159	202	217
50	85	106	136	169	181
60	76	94	119	146	155

Tablica 6. Dobiveni intenziteti oborine korelativnom funkcijom Log-Pearson 3 izraženi u (mm/min)

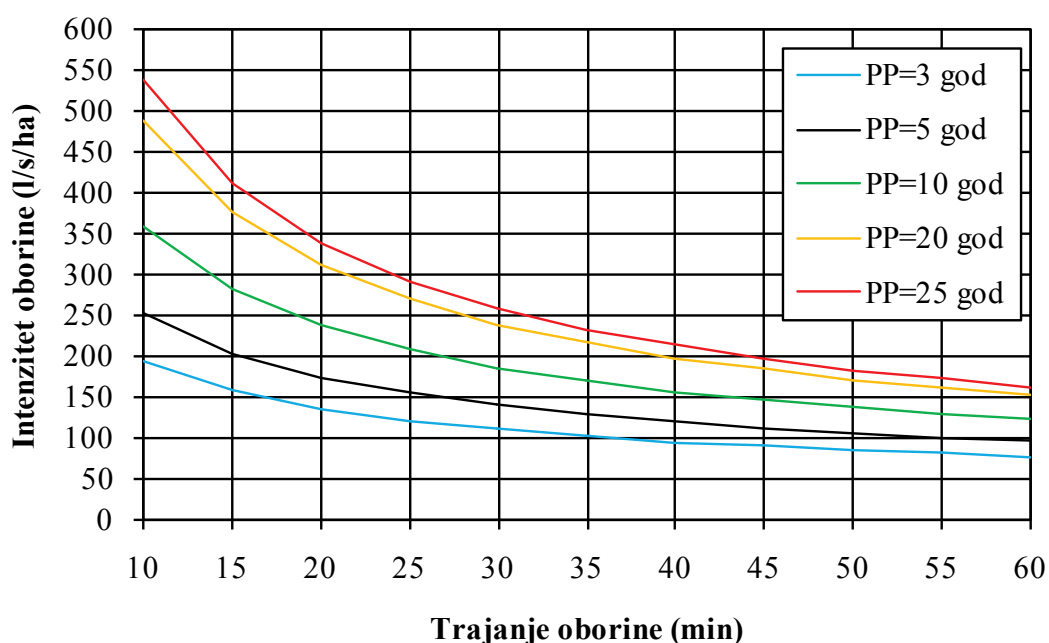
Trajanje kiše $t$ (min)	Povratni period (godine)				
	3	5	10	20	25
10	1,17	1,52	2,15	2,94	3,23
15	0,95	1,23	1,69	2,26	2,47
20	0,82	1,05	1,43	1,87	2,04
25	0,73	0,93	1,25	1,62	1,76
30	0,67	0,84	1,12	1,44	1,56
35	0,62	0,78	1,02	1,30	1,40
40	0,58	0,72	0,94	1,20	1,28
45	0,54	0,68	0,88	1,11	1,19
50	0,52	0,64	0,83	1,03	1,11
55	0,49	0,61	0,78	0,97	1,04
60	0,47	0,58	0,74	0,92	0,98

Tablica 7. Dobiveni intenziteti oborine korelativnom funkcijom Log-Pearson 3 izraženi (l/s/ha)

Trajanje kiše $t$ (min)	Povratni period (godine)				
	3	5	10	20	25
10	195	254	358	490	539
15	159	204	282	376	411
20	137	175	238	312	340
25	122	155	208	270	293
30	111	141	187	240	259
35	103	129	170	217	234
40	96	120	157	199	214
45	91	113	147	185	198
50	86	107	138	172	184
55	82	102	130	162	173
60	78	97	124	153	163



Slika 3. ITP krivulje za grad Daruvar, izražene u (mm/min)



Slika 4. ITP krivulje za grad Daruvar, izražene u (l/s/ha)

#### 4. ZAKLJUČAK

Analiza maksimalnih intenziteta kratkotrajnih oborina u ovom je radu provedena proračunom tj. korištenjem standardnih funkcija teoretske (Gaussova, Galtonova, Pearson 3, Log-Pearson 3, Gumbelova) i empirijske raspodjele (Čegodajev). Statističkim testom Smirnovljevo-Kolmogorov odabrana je Log-Pearson 3 funkcija kao najkvalitetnije prilagođena empirijskoj raspodjeli prema uzorku sastavljenom prema nizu godišnjih maksimuma.

Osnovno saznanje u analizi maksimalnih intenziteta kratkotrajnih oborina je uvid u promjenljivost (varijaciju) te pojave u vremenu i prostoru. Na analiziranom primjeru raspoloživog povijesnog niza opažanja od 20 godina na meteorološkoj stanici Daruvar (1991-2010), iz veličine koeficijenta varijacije  $c_v$  vidljivo je da s povećanjem trajanja oborine opada njegova vrijednost. Svakako da su te varijacije maksimalnih intenziteta oborine u uzročnoj vezi s klimatskim elementima i osobinama prostora na širem prostoru (potezu) Daruvar - Pakrac - Lipik.

Međutim, uzorak takve duljine sa statističkog gledišta je relativno mali, te empirijske raspodjele mogu sadržavati znatne pogreške prilikom dimenzioniranja sustava odvodnje oborinskih voda. U našim prilikama teško je očekivati da ćemo raspolagati s podacima uzorka kontinuiranog mjerenja oborina većim od 20 do 40 godina, osim na glavnim meteorološkim stanicama. Svakako da navedeni uzorak od 20 godina nije dovoljno dugačak i da utječe na pouzdanost dobivenih rezultata.

#### 5. LITERATURA

Ahsanullah, M., Shakil, M., Golam Kibria, B.M. (2013): On a Probability Distribution with Fractional Moments Arising from Generalized Pearson System of Differential Equation and its Characterization, *International Journal of Advanced Statistics and Probability*, 1(3)

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1997): *Regional Frequency Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, Velika Britanija

Hurfurd, A.P., Parker, D.J., Priest, S.J., Lombroso, D.M. (2012): Validating the Return Period of Rainfall Thresholds Used for Extreme Rainfall Alerts by Linking Rainfall Intensities with Observed Surface Water Flood Events, *Journal of Flood Risk Management*, 5(2)

Kuharić, I. (2014): Analiza maksimalnih intenziteta oborina za dimenzioniranje objekata odvodnje, Diplomski rad, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Varaždin

Margeta, J. (2010): Vodoopskrba naselja: planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode, Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split

Patrčević, V. (1980): Analiza kiša jakog intenziteta, Magistarski rad, Fakultet građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Pearson, K. (1936): Method of Moments and Method of Maximum Likelihood, *Biometrika*, 28(1/2)

Rethati, L. (1983): *Groundwater in Civil Engineering*, Elsevier Science Publishing Company, New York, SAD

Žugaj, R. (2000): Hidrologija, Udžbenik, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb