

# Procjene maksimalnih godišnjih kratkotrajnih količina oborine u Hrvatskoj

## PRIRUČNIK ZA KORISNIKE

Ksenija Cindrić Kalin i Leonardo Patalen

Izdavač:

**Državni hidrometeorološki zavod**

Odgovorna osoba: **dr. sc. Ivan Güttler, glavni ravnatelj**

Autori:

**dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin**

**Leonardo Patalen, dipl. ing. geod.**

Urednica:

**mr. sc. Kornelija Špoler Čanić**

Lektura:

**dr. sc. Martina Pavić**

Grafički dizajn:

**Mia Vučić, univ. spec. grafike**

Citiranje: Cindrić Kalin, K.; Patalen, L. (2024) Procjene maksimalnih godišnjih kratkotrajnih količina oborine u Hrvatskoj – priručnik za korisnike. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 23 str.

Zagreb, 2024.



# Sadržaj

<b>1.</b>	<b>Uvod</b> .....	1
<b>2.</b>	<b>Podaci</b> .....	3
	2.1. Mjerenja i prikupljanje podataka.....	3
	2.2. Kontrola podataka.....	4
<b>3.</b>	<b>Metode</b> .....	8
<b>4.</b>	<b>Rezultati</b> .....	9
	4.1. Tablice i slike.....	9
	4.2. Primjer.....	10
<b>5.</b>	<b>Literatura</b> .....	21



©Šime Baresić



# 1. Uvod

Analiza ekstremnih količina oborine važna je za potrebe projektiranja i rada objekata koji ovise o oborinskom režimu te moraju moći podnijeti intenzivne oborine koje padnu u kratkim vremenskim intervalima. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) ima dugogodišnje iskustvo u izradi analiza ekstremne oborine prema zahtjevu velikog broja korisnika u svrhu projektiranja novih ili rekonstrukcije starih hidrotehničkih sustava, ponajviše sustava odvodnje u gradovima i na prometnicama, ali i brojnih drugih objekata za potrebe vodnog gospodarstva (Cindrić Kalin i Gajić-Čapka, 2019). Zahtjevi korisnika uglavnom se odnose na pojedinačne lokacije na kojima treba procijeniti vjerojatnost pojavljivanja maksimalne godišnje količine oborine ili njihova intenziteta za odabrana trajanja i povratna razdoblja. Takve meteorološke analize najčešće služe kao ulazni parametri u hidrološke modele u svrhu sprječavanja ili ublažavanja negativnih posljedica pojavljivanja urbanih i bujičnih poplava. U Sektoru za meteorološka istraživanja i razvoj DHMZ-a redovito se provode istraživanja mogućnosti i prilagodbe različitih statističkih metoda za procjenu ekstrema, a rezultati tih istraživanja primjenjuju se u izradi studija i elaborata za potrebe gospodarstva i društva. Velik doprinos tom segmentu proizišao je iz doktorskog istraživanja Gajić-Čapka (2000), odnosno svih prethodnih istraživanja spomenute autorice. I današnje stručne studije kao i znanstveni radovi DHMZ-a o ekstremnoj oborini temelje se na smjernicama tih istraživanja (npr. Gajić-Čapka i Cindrić, 2011; Cindrić i sur., 2014; Sokol Jurković i sur., 2019). Sveobuhvatan popis radova i studija za potrebe vodnog gospodarstva naveden je u publikaciji DHMZ-a (Ivančan-Picek i sur., 2019).

Odgovornost DHMZ-a kao javnog servisa jest dati što kvalitetniju informaciju o meteorološkim događajima, posebice onima koji su potencijalna ugroza za društvo i stanovništvo poput intenzivnih kišnih epizoda kada u kratkom vremenu padne velika količina oborine.

Svaki novi ekstremni događaj poticaj je meteorolozima za dodatna istraživanja kojima se stječu nove spoznaje te uvode nove usluge i produkti u svakodnevnu praksu. Tako je primjerice urbana poplava u srpnju 2020. u središtu Zagreba upozorila na potrebu ažuriranja ITP (intenzitet – trajanje – povratno razdoblje) krivulja na području grada Zagreba za potrebe sustava odvodnje. Intenzivna kišna epizoda koja je poplavila središte Zagreba istražena je s meteorološkog i hidrološkog aspekta u znanstvenom radu Nimac i sur. (2022). Pritom su primijenjene postojeće metode za analizu ekstrema (opća razdioba ekstrema, GEV – vidi poglavlje 3), a istražen je i utjecaj klimatskih promjena. Naknadno su za potrebe izrade klimatološke podloge za određivanje pragova za upozorenja na jaku kišu putem sustava Meteoalarm testirane metode nestacionarnog modela za procjenu ekstrema na području cijele Hrvatske (Cindrić Kalin i sur., 2024). Rezultati su pokazali da postoji tendencija prema intenzivnijim kratkotrajnim oborinama, što će zahtijevati češće ažuriranje meteoroloških podloga za projektiranje hidrotehničkih sustava te primjenu nestacionarnih statističkih modela koji uzimaju u obzir klimatske promjene.

Procjene očekivanih maksimuma navedene u ovom priručniku rezultat su dugogodišnje prakse u DHMZ-u i primijenjenih metoda za procjenu ekstrema u studijama za korisnike.

Objava produkata oborinskih ekstrema uobičajena je praksa pojedinih nacionalnih meteoroloških službi u Europi, a primjerice slične publikacije Švicarske meteorološke službe (MeteoSwiss) doživjele su i nekoliko izdanja (Fukutome i sur., 2018).

Treba napomenuti da su dobiveni rezultati za Hrvatsku podložni promjenama u kontekstu metodologije uzimajući u obzir nove spoznaje znanstvenih i stručnih istraživanja o klimatskim promjenama, ali i u kontekstu ažuriranja podataka s novim razdobljem dostupnosti. Naime, klimatski modeli pokazuju da se u budućnosti može očekivati povećanje maksimalnih dnevnih količina oborine kao i njihovih intenziteta (DHMZ, 2023). Uz nedvojbeno zatopljenje, uočeno i u opaženim trendovima i budućoj klimi, nužno je pratiti utjecaj zagrijavanja na moguću intenzifikaciju kratkotrajne oborine.

Sve procjene ekstrema odnose se na godišnje maksimume s obzirom na to da u zimskim mjesecima tijekom ranijih godina nije bilo mjerenja, što onemogućuje detaljniju analizu sezonskog režima kratkotrajnih oborina na području cijele Hrvatske. Nadalje, ovdje su navedeni rezultati za postaje s raspoloživim dugogodišnjim nizovima mjerenja, više od 30 godina, a nisu uključene one na kojima postoje mjerenja u kraćem vremenskom intervalu.

Analizu postaja koje nisu ovdje obrađene ili je potrebno više detalja u kontekstu trajanja i/ili povratnih razdoblja DHMZ razrađuje na zahtjev korisnika.

U nastavku je iznesen pregled korištenih podataka, njihove dostupnosti i kontrole te pregled metodologije za procjenu ekstremne količine oborine različitog trajanja, od petominutnih do 24-satnih. Za 54 meteorološke postaje iz redovne mreže DHMZ-a tablično i grafički prikazane su procjene očekivanih godišnjih maksimuma na različitim vremenskim skalama. Za svaku postaju može se učitati pripadna datoteka u PDF formatu s rezultatima na ukupno deset stranica. Za primjenu rezultata treba raspolagati osnovnim statističkim znanjem, a metodologija navedena u trećem poglavlju daje više informacija koje mogu pomoći u ispravnoj interpretaciji dobivenih rezultata.

Vjerujemo da će ovdje objedinjeni rezultati biti korisni u inženjerskoj praksi kao i za procjenu rizika od poplava i ublažavanje mogućih negativnih posljedica klimatskih promjena.



## 2. Podaci

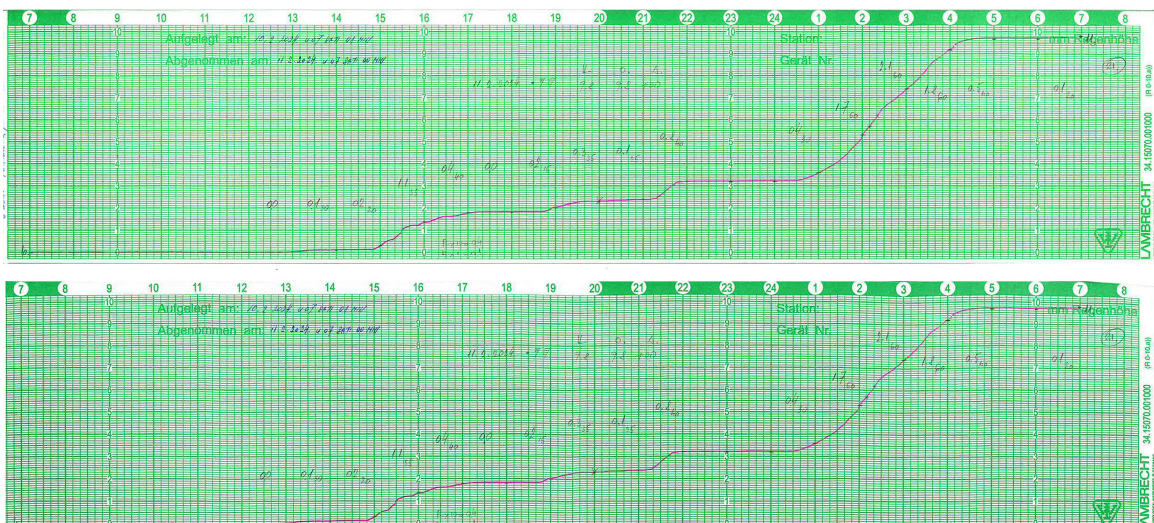
### 2.1. Mjerenja i prikupljanje podataka

Za analizu **kratkotrajnih količina oborine** primjenjuju se zapisi **ombrografa (ili pluviografa)**, mjernog instrumenta za neprekidnu registraciju količine i trajanja oborine (DHMZ, 2008). Iz njegova zapisa, ombrograma (pluviograma) (Slika 2.1.), može se očitati količina oborine u kratkim vremenskim razdobljima, što omogućuje određivanje početka i završetka pojedine kišne epizode, odnosno ukupno trajanje i jačinu oborine. Iz izmjerenih i obrađenih podataka primjenom teorije ekstrema na nizove godišnjih maksimuma pojedinih trajanja mogu se procijeniti očekivane količine oborine za različita povratna razdoblja.

U Državnom hidrometeorološkom zavodu upotrebljava se tzv. **Hellmannov ombrograf** koji radi na principu plovka (DHMZ, 2008) (Slika 2.2.a). Neki ombrografi imaju uređaj za grijanje pomoću električne energije koji trebaju zagrijati unutrašnjost instrumenta toliko da se održi tekuće stanje oborine u posudi. Tako se produljuje razdoblje uporabe ombrografa uključujući ona kada je temperatura zraka niža od 0 °C. U ranijim godinama uglavnom nije bilo uređaja za grijanje pa ombrografi u hladnom dijelu godine nisu bili aktivni. U kontinentalnom području, gdje se godišnji maksimum oborine može očekivati u toplom dijelu godine, nedostatak podataka u zimskim mjesecima ne stvara problem za procjenu godišnjih ekstrema. Međutim, na području Jadrana, gdje prevladava mediteranska klima, maksimum oborine može se očekivati u hladnom dijelu godine pa u pojedinim godinama kad nije bilo mjerenja u svim mjesecima postoji mogućnost da stvarni maksimum nije zabilježen. U tom slučaju, ako se u statističke analize uključe samo oni podaci koji su raspoloživi u toplom dijelu godine, nepouzdanost procjene ekstrema se povećava.

Za potrebe dodatne kontrole podataka opisane u sljedećem poglavlju primijenjuju se i podaci kišomjera na analiziranim postajama. Na svim meteorološkim postajama u Hrvatskoj upotrebljava se kišomjer tipa Hellmann (DHMZ, 2008). Kišomjer je limena posuda valjkastog oblika visoka oko pola metra, a sastoji se od gornjeg dijela koji služi za hvatanje oborine i donjeg u kojem se čuva prikupljena oborina i menzure za mjerenje oborine (Slika 2.2.b). Visina sloja oborine mjeri se milimetrima i desetinkama milimetra. Jedan milimetar oborine znači da je pala 1 litra oborine na 1 metar četvorni ( $l/m^2$ ). Na kišomjernoj postaji svaki se dan u 7 sati bilježi 24-satna količina oborine koja se pridjeljuje danu kad je mjerenje obavljeno.

Slika 2.1. Ombrogram (zapis ombrografa)





## 2.2. Kontrola podataka

Nakon prikupljanja ombrografskih podataka oni se pohranjuju digitalno, pri čemu se provodi redovita kontrola usporedbom s podacima na pripadnoj kišomjernoj postaji. Naime, razlike u dnevnim vrijednostima, **od 7 h prethodnog dana do 7 h tekućeg dana**, ne bi trebale biti veće od 20 %. Za potrebe ove publikacije provedene su dodatne usporedbe iznosa godišnjih dnevnih maksimuma oborine prema ombrografu i pripadnom kišomjeru te mjeseci njihova pojavljivanja. Za one godine u kojima se mjeseci pojavljivanja maksimuma prema ta dva instrumenta podudaraju te razlike u njihovim iznosima nisu veće od 20 %, pripadni niz smatra se pouzdanim za daljnju analizu bez obzira i na moguću nepotpunost ombrografskog niza tijekom godine. S druge strane, u onim godinama u kojima nije bilo ombrografskih mjerenja tijekom cijele godine, a mjesec pojavljivanja dnevnog maksimuma ne podudara se s mjesecom pojavljivanja maksimalne dnevne količine oborine prema kišomjeru i pripadna razlika u iznosima veća je od 20 %, te su godine izdvojene kao suspektne.

Budući da su ovdje analizirane kratkotrajne količine oborine (od 5 min do 24 h) za koje se ne mogu provesti izravne usporedbe sa susjednim postajama, za konačnu odluku o uključivanju ili isključivanju izdvojenih suspektnih godina primijenjen je dodatni kriterij. Količine oborine za pojedina trajanja rangirane su od najmanjih vrijednosti prema najvećim vrijednostima. Ako su vrijednosti godišnjeg maksimuma u suspektnoj godini za većinu trajanja unutar prvog decila (najmanjih 10 % vrijednosti) cijelog niza, tada se ta godina smatra nepouzdanom i izuzeta je iz analize. Pritom je uzeta u obzir i dodatno provjerena mogućnost da su male vrijednosti godišnjeg maksimuma posljedica ekstremno sušne godine. Isključivanjem određenih godina iz cjelokupnog niza smanjuje se njihov utjecaj na statističke značajke danog uzorka.

Ovdje su analizirane maksimalne godišnje količine oborine za 14 različitih trajanja: **5, 10, 20, 30, 40, 50 i 60 minuta te 2, 3, 4 sata, 6, 8, 12 sati i 24 sata**. Analiza je provedena prema podacima s **54 meteorološke postaje** iz mreže DHMZ-a na kojima postoje ombrografska mjerenja iz dugogodišnjeg razdoblja. Količina oborine za pojedino trajanje dobivena je kliznim sumiranjem petominutnih zapisa ombrografa. U tablici 2.1. nalazi se popis korištenih postaja s pripadnim geografskim koordinatama i nadmorskom visinom te raspoloživom duljinom nizova podataka, a na slici 2.3. prikazan je njihov položaj na karti. Analizirani su dostupni nizovi **od 1961. do 2020. godine**. Nakon uklanjanja nedostajućih i suspektnih godina najkraće raspoloživo razdoblje mjerenja iznosi 32 godine (Marija Gorica i Čakovec), što je relativno kratka duljina za pouzdane procjene očekivanih maksimuma primjenom teorije ekstrema osobito za duga povratna razdoblja. Stoga se za procjene ekstrema dobivene iz kraćih nizova preporučuje uzeti u obzir i pripadne intervale pouzdanosti (opširnije u poglavlju 3). Osim toga treba napomenuti da upravo zbog različitih razdoblja nizova na pojedinoj postaji rezultati među postajama nisu prostorno usporedivi.

Slika 2.2.a Hellmannov ombrograf



Slika 2.2.b Kišomjer tipa Hellmann



**Tablica 2.1.**

Popis postaja sa šifrom u Relacijskoj bazi DHMZ-a, nazivom, pripadnim geografskim podacima (geografska širina i dužine te nadmorska visina), raspoloživim razdobljem mjerenja, ukupnim brojem godina i brojem godina s nedostajućim podacima. Odabirom postaje u tablici dostupna je poveznica na datoteku s pripadnim rezultatima.

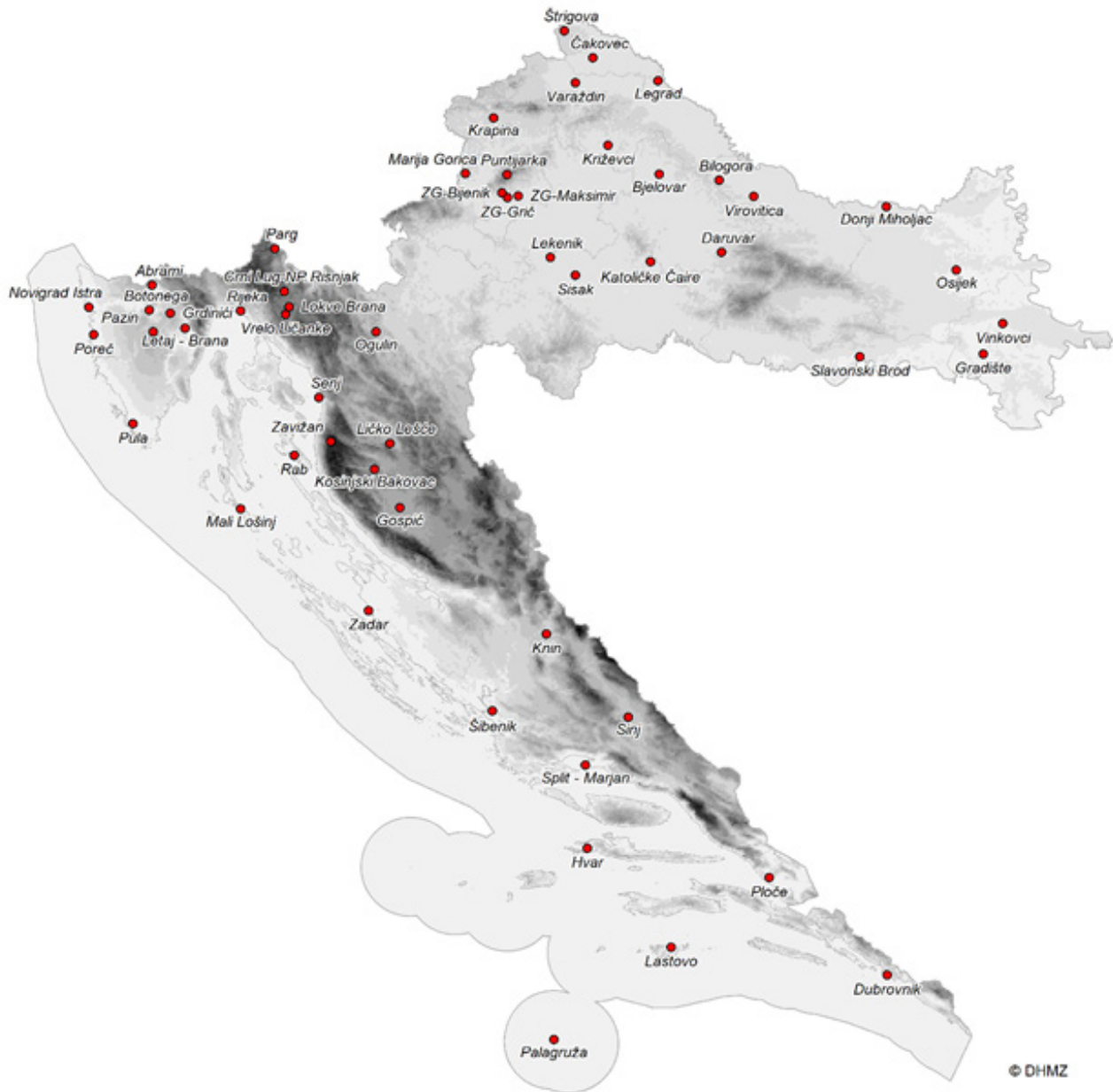
Šifra	Naziv	Geografska širina $\varphi$ [°]	Geografska dužina $\lambda$ [°]	Nadmorska visina [m]	Razdoblje	Broj godina	Broj nedostajućih godina
1	<a href="#">Bilogora</a>	45.88361	17.20028	257	1977. – 2020.	39	5
2	<a href="#">Bjelovar</a>	45.90972	16.85278	141	1961. – 2020.	59	1
3	<a href="#">Daruvar</a>	45.59139	17.21	153	1961. – 2020.	60	0
4	<a href="#">Dubrovnik</a>	42.64472	18.085	50	1961. – 2020.	59	1
7	<a href="#">Gospić</a>	44.55056	15.37306	567	1962. – 2020.	57	2
8	<a href="#">Gradište</a>	45.15917	18.70361	98	1981. – 2020.	35	5
9	<a href="#">Hvar</a>	43.17111	16.43694	21	1964. – 2020.	57	0
11	<a href="#">Knin</a>	44.04083	16.20694	254	1962. – 2020.	54	5
13	<a href="#">Krapina</a>	46.13768	15.8882	203	1973. – 2020.	41	7
14	<a href="#">Križevci</a>	46.02889	16.55361	157	1961. – 2020.	59	1
15	<a href="#">Lastovo</a>	42.76833	16.9	180	1966. – 2020.	53	2
17	<a href="#">Mali Lošinj</a>	44.5325	14.47194	52	1962. – 2020.	59	0
18	<a href="#">Ogulin</a>	45.26278	15.22222	327	1963. – 2020.	58	0
19	<a href="#">Osijek</a>	45.50226	18.56168	88	1961. – 2020.	56	4
21	<a href="#">Parg</a>	45.59342	14.63051	861	1973. – 2020.	46	2
22	<a href="#">Pazin</a>	45.24083	13.94528	291	1963. – 2020.	57	1
23	<a href="#">Ploče</a>	43.0475	17.44278	2	1969. – 2020.	52	0
24	<a href="#">Pula</a>	44.86543	13.84622	29	1961. – 2020.	59	1
25	<a href="#">Puntijarka</a>	45.9075	15.96833	989	1961. – 2020.	57	3
26	<a href="#">Rab</a>	44.75561	14.76863	24	1961. – 2020.	56	4
27	<a href="#">Rijeka</a>	45.33694	14.44278	120	1961. – 2020.	59	1
29	<a href="#">Senj</a>	44.9925	14.90333	29	1961. – 2020.	60	0
30	<a href="#">Sisak</a>	45.49972	16.36667	99	1961. – 2020.	57	3
31	<a href="#">Slavonski Brod</a>	45.15917	17.99528	88	1961. – 2020.	54	6
32	<a href="#">Split-Marjan</a>	43.50839	16.42625	117	1961. – 2020.	57	3
34	<a href="#">Šibenik</a>	43.72806	15.90639	75	1964. – 2020.	56	1
35	<a href="#">Varaždin</a>	46.28278	16.36389	167	1961. – 2020.	58	2
36	<a href="#">Zadar</a>	44.13	15.20583	2	1961. – 2020.	59	1
38	<a href="#">Zagreb-Grič</a>	45.81444	15.97194	152	1961. – 2020.	59	1
39	<a href="#">Zagreb-Maksimir</a>	45.82194	16.03361	122	1961. – 2020.	60	0

Nastavak Tablice 2.1.

Šifra	Naziv	Geografska širina $\varphi$ [°]	Geografska dužina $\lambda$ [°]	Nadmorska visina [m]	Razdoblje	Broj godina	Broj nedostajućih godina
41	<a href="#">Zavižan</a>	44.81472	14.97528	1597	1965. – 2020.	51	5
42	<a href="#">Abrami</a>	45.43083	13.93	93	1962. – 2016.	55	0
51	<a href="#">Botonega</a>	45.32935	13.91859	48	1987. – 2020.	33	1
58	<a href="#">Čakovec</a>	46.38333	16.46667	159	1981. – 2015.	32	3
63	<a href="#">Donji Miholjac</a>	45.76667	18.16667	93	1961. – 2020.	59	1
89	<a href="#">Letaj-Brana</a>	45.26036	14.12771	97	1974. – 2020.	45	2
90	<a href="#">Ličko Lešće</a>	44.81028	15.31111	458	1969.- 2020.	49	3
92	<a href="#">Lokve Brana</a>	45.35847	14.72026	771	1961. – 2015.	54	1
111	<a href="#">Palagruža</a>	42.39277	16.25494	96	1970. – 2020.	43	8
117	<a href="#">Poreč</a>	45.22194	13.60361	26	1984. – 2020.	36	1
126	<a href="#">Sinj</a>	43.70427	16.66661	300	1961. – 2020.	44	16
145	<a href="#">Vinkovci</a>	45.28	18.82	88	1972. – 2014.	38	5
146	<a href="#">Virovitica</a>	45.81694	17.39806	123	1961. – 2020.	49	11
149	<a href="#">Vrelo Ličanke</a>	45.32734	14.70195	719	1974. – 2020.	47	0
151	<a href="#">Lekenik</a>	45.57167	16.22167	100	1982. – 2020.	38	1
250	<a href="#">Grdinići</a>	45.32	14.04056	431	1968. – 2020.	52	1
269	<a href="#">Katoličke Čaire</a>	45.55448	16.7986	153	1975. – 2013.	36	3
278	<a href="#">Kosinjski Bakovac</a>	44.70528	15.22583	499	1969. – 2020.	49	3
295	<a href="#">Legrad</a>	46.28972	16.84667	133	1983. – 2020.	37	1
314	<a href="#">Marija Gorica</a>	45.91083	15.72778	248	1984. – 2020.	32	5
435	<a href="#">Štrigova</a>	46.49361	16.29861	197	1985. – 2020.	36	0
476	<a href="#">Zagreb-Bijenik</a>	45.83306	15.93917	220	1980. – 2020.	41	0
598	<a href="#">Crni Lug-NP Risnjak</a>	45.42056	14.69194	684	1962. – 2020.	58	1
750	<a href="#">Novigrad Istra</a>	45.33306	13.57056	33	1982. – 2020.	34	5



© Matej Seletković



**Slika 2.3.** Položaj 54 postaje s dugogodišnjim nizom ombrografskih mjerenja u mreži DHMZ-a koje su analizirane u ovom priručniku

# 3. Metode

Procjene očekivanih maksimalnih količina oborine određene su **općom razdiobom ekstremnih vrijednosti** (engl. *generalized extreme value distribution*, **GEV**). Ta se razdioba u meteorološkoj i hidrološkoj praksi najčešće primjenjuje na godišnje maksimume različitih klimatoloških elemenata i parametara (npr. Cindrić Kalin i Pasarić, 2022) pod uvjetom da je u godini dovoljan broj podataka koji se mogu smatrati međusobno nezavisnima.

Kumulativna funkcija razdiobe GEV ima sljedeći oblik (Coles, 2001):

$$G(x) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \frac{k}{\alpha} (x - x_0) \right]^{-\frac{1}{k}} \right\} \quad (3.1)$$

gdje je  $k$  parametar oblika (zakrivljenosti),  $\alpha$  je parametar skale, a  $x_0$  parametar lokacije. U toj notaciji razdioba je neograničena udesno ako je  $k > 0$  s donjom granicom jednakom  $x_0 - \alpha/k$ . Takva razdioba naziva se Frechetova. U slučaju  $k < 0$  razdioba je neograničena ulijevo s gornjom granicom  $x_0 + \alpha/k$  i naziva se Weibullova. U graničnom slučaju kada  $k$  teži nuli razdioba teži Gumbelovoj, neograničenoj ( $-\infty < x < \infty$ ) razdiobi. Za procjenu parametara razdiobe GEV primijenjena je metoda L-momenata (Hosking i Wallis, 1996).

U praksi je uobičajeno teorijsku kumulativnu razdiobu izraziti njezinom inverznom funkcijom, odnosno funkcijom kvantila  $x(G)$ . Ako pretpostavimo da imamo jednu realizaciju (opažanje) u jedinici vremena (jedna godina ako je riječ o godišnjim maksimumima), kvantil  $x(G)$  može se iskazati i kao **povratna vrijednost**  $x_T$  za odgovarajuće povratno razdoblje  $T = 1/p$ , gdje je  $p = 1-G$ . Povratna vrijednost za razdiobu GEV može se izraziti na sljedeći način:

$$x_T = \begin{cases} x_0 - \frac{\alpha}{k} [1 - y_p^{-k}] & \text{za } k \neq 0 \\ x_0 - \alpha \log(y_p) & \text{za } k = 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

gdje je  $y_p = -\log(1-p)$ .

Za određivanje pouzdanih procjena povratnih vrijednosti ne preporučuju se procjene za povratna razdoblja dulja od dvostruke duljine raspoloživog niza mjerenja (Gajić-Čapka, 1999; Klein Tank i sur., 2009). Ovdje su za svaku postaju procijenjene očekivane maksimalne količine oborine za trajanja od 5 min, zatim 10 do 60 min (svakih 10 minuta) te za 2, 4 sata, 6, 8, 12 sati i 24 sata, koje se mogu očekivati s povratnim razdobljem od 2 godine, 5, 10, 25, 50 i 100 godina.

Odabrana trajanja i povratna razdoblja najčešće su zastupljeni u zahtjevima korisnika upućenim DHMZ-u.

Također su procijenjeni i pripadni intervali pouzdanosti na razini značajnosti 95 % kako bi se nesigurnosti statističkih proračuna uzele u obzir. Za izračun povratnih vrijednosti, odnosno primjenu razdiobe GEV upotrijebljen je R-ov programski paket extRemes (Gilleland i Katz, 2016).



## 4. Rezultati

### 4.1. Tablice i slike

**Za svaku postaju dostupne su dvije tablice s rezultatima.** U prvoj tablici prikazani su osnovni statistički parametri niza maksimalnih godišnjih količina oborine pojedinog trajanja, odnosno srednjak ( $R_{sred}$ ), standardna devijacija ( $StDev$ ) i koeficijent varijacije ( $CV$ ). Navedene su i najveće izmjerene količine oborine ( $R_{maks}$ ) za pojedino trajanje i pripadno povratno razdoblje ( $T$ ) procijenjeno razdiobom GEV. U drugoj tablici navedene su procijenjene očekivane maksimalne količine oborine ( $RT$ ) za pojedino trajanje i odgovarajuće granice 95 %-tnih intervala pouzdanosti za odabrana povratna razdoblja.

Za svako trajanje oborine rezultati dobivenih procjena **prikazani su i grafički** (Slike 1 – 12). Krivulje predstavljaju teorijske procjene, a za usporedbu su prikazane i empirijske procjene (kružići). Pritom je za poziciju ucrtavanja empirijskih vrijednosti upotrijebljena formula Benard & Bos-Levenbach (Wilks, 2011; Farago i Katz, 1990), odnosno kumulativna vjerojatnost za  $j$ -ti član niza duljine  $n$  u kojem su članovi poredani rastućim redom iznosi:

$$p_j = (j - 0,307) / (n + 0,386) \quad (3.3)$$

Iz dobivenih krivulja očekivanih maksimuma za pojedino trajanje oborine moguće je za bilo koju drugu izmjerenu količinu oborine očitati pripadno povratno razdoblje do 100 godina.

Napomenimo da povratnom razdoblju od 50 godina odgovara vjerojatnost prekoračenja 2 % i takav se događaj u klimatologiji smatra ekstremnim.

## 4.2. Primjer

U nastavku je primjer dobivenih rezultata za postaju Zagreb-Maksimir, a jednak način prikaza rezultata dostupan je u pojedinačnoj datoteci u PDF formatu koja sadržava sljedeće informacije:

- ..... *ime postaje*: naziv postaje iz mreže DHMZ-a
- ..... *geografsku širinu i dužinu ( $\varphi$ ,  $\lambda$ )*: koordinate postaje u referentnom koordinatnom sustavu WGS84 (EPSG:4326) i pravokutne koordinate (E,N) u projekcijskom koordinatnom referentnom sustavu Republike Hrvatske HTRS96/TM (EPSG:3765)
- ..... *nadmorsku visinu*: visina postaje izražena u m
- ..... *razdoblje*: razdoblje dostupnih podataka mjerenja
- ..... *analizirani broj godina*: broj godina nakon uklanjanja nedostajućih godina i njihov postotni udio
- ..... *nedostajuće godine*: za postaje na kojima u pojedinim godinama nedostaju podaci navedene su pripadne godine i postotni udio nedostajućih podataka
- ..... *sliku lokacije ombrografske postaje u mreži postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda*
- ..... *poveznicu na najbližu postaju i pripadnu udaljenost u km*

### **Tablica 1.**

Osnovni statistički parametri oborine za različita trajanja: Rsred – srednjak [mm], StDev – standardna devijacija [mm], CV – koeficijent varijacije oborine, Rmaks – najveća registrirana količina oborine [mm] i pripadni datum i vrijeme, Tmaks – pripadno povratno razdoblje za Rmaks [god.]. IME POSTAJE, razdoblje *dostupnih podataka*

### **Tablica 2.**

Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine RT u mm za različita trajanja i odgovarajuće donje (IPd) i gornje granice (IPg) 95%-tnih intervala pouzdanosti za različita povratna razdoblja T (2, 5, 10, 25, 50 i 100 god.). IME POSTAJE, razdoblje *dostupnih podataka*

### **Slike 1 – 14.**

Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za određeno trajanje, izračunate pomoću razdiobe GEV



## Procjene maksimalnih godišnjih kratkotrajnih količina oborine na postaji Zagreb-Maksimir

Geografska širina: 45.8219444E (HTRS E: 463759.9)

Geografska dužina: 16.0336111N (HTRS N: 5075893.28)

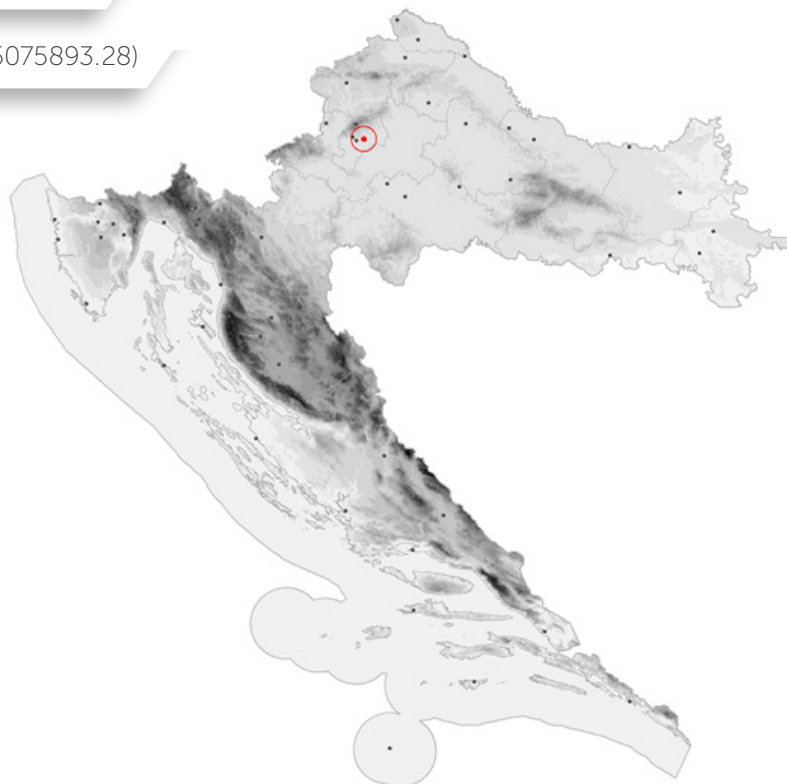
Nadmorska visina: 122 m

Razdoblje: 1961. – 2020.

Analizirani broj godina: 60 (100 %)

Nedostajuće godine: 0 (0 %)

[Najbliži ombrograf Zagreb-Grič, 5 km](#)





**Tablica 1.**

Osnovni statistički parametri oborine za različita trajanja: Rsred – srednjak [mm], StDev – standardna devijacija [mm], CV – koeficijent varijacije oborine, Rmaks – najveća registrirana količina oborine [mm] i pripadni datum i vrijeme, Tmaks – pripadno povratno razdoblje za Rmaks [god].

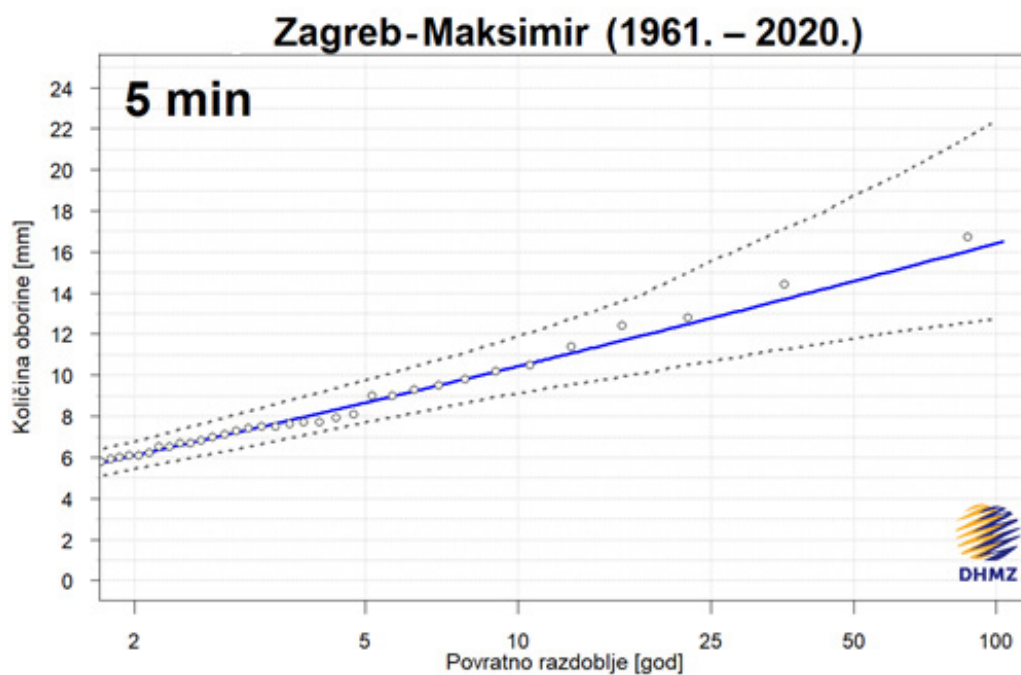
**ZAGREB-MAKSIMIR, razdoblje 1961. – 2020.**

Trajanje	Rsred	StDev	CV	Rmaks	Datum/Vrijeme	Tmaks
5 min	6.7	2.9	0.43	16.7	2014-05-26 10:15:00	110
10 min	11.0	4.3	0.39	24.2	1970-08-09 05:00:00	72
20 min	16.9	6.5	0.38	39.9	1989-08-08 21:40:00	95
30 min	20.5	8.0	0.39	45.0	1989-08-08 21:50:00	60
40 min	22.6	8.5	0.38	48.3	1989-08-08 21:50:00	62
50 min	23.9	8.7	0.36	48.9	1989-08-08 21:50:00	56
60 min	25.1	9.0	0.36	50.0	1989-08-08 21:50:00	51
2 h	29.3	9.5	0.32	53.8	1989-08-08 22:15:00	42
3 h	31.9	9.5	0.30	56.6	2020-07-24 22:55:00	54
4 h	33.9	10.4	0.31	64.9	1989-08-09 01:00:00	71
6 h	37.8	11.3	0.30	72.9	1989-08-09 02:10:00	69
8 h	41.0	12.4	0.30	79.6	1989-08-09 04:35:00	70
12 h	45.0	13.5	0.30	84.2	1989-08-09 06:55:00	74
24 h	52.4	14.6	0.28	89.0	1989-08-09 18:20:00	56

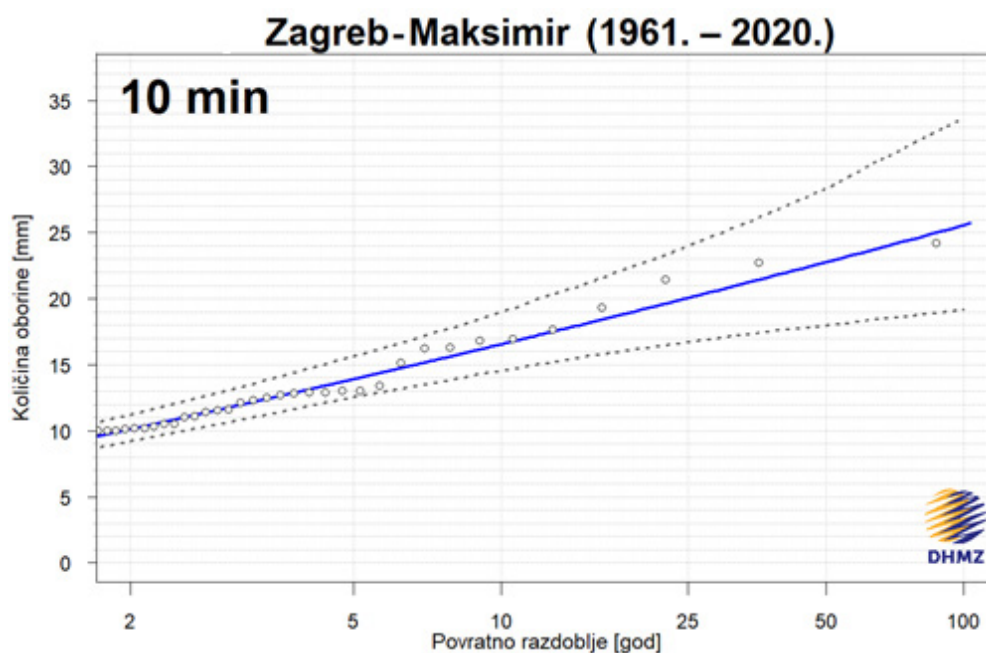
**Tablica 2.**

Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine RT [mm] za različita trajanja i odgovarajuće donje (IPd) i gornje granice (IPg) 95%-tnih intervala pouzdanosti za različita povratna razdoblja T (2, 5, 10, 25, 50 i 100 god). **ZAGREB-MAKSIMIR**, razdoblje **1961. – 2020.**

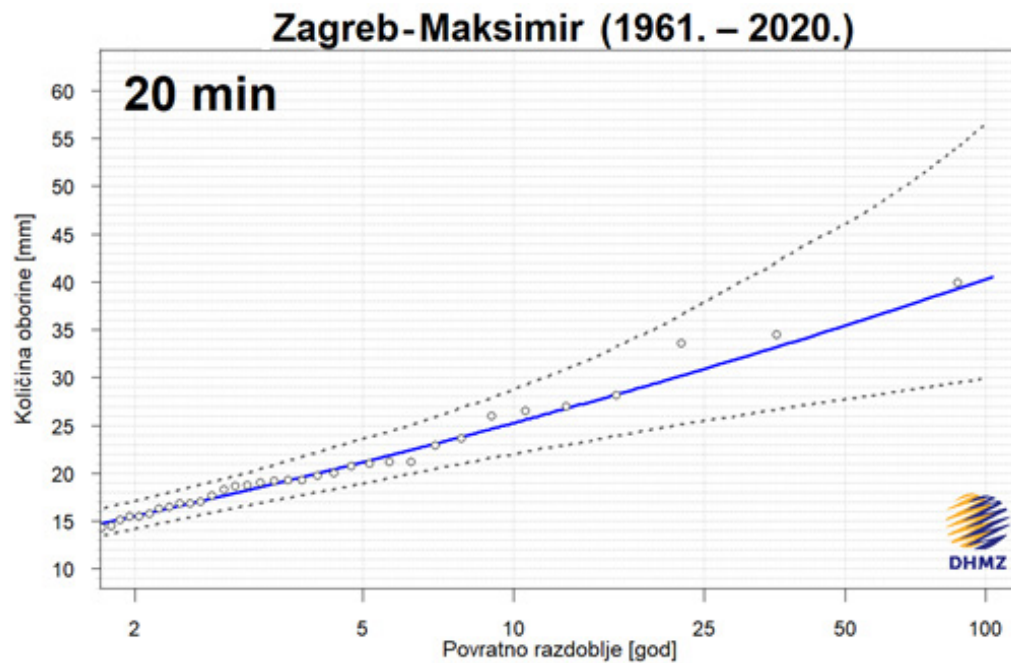
Trajanje	T2			T5			T10			T25			T50			T100		
	IPd	RT	IPg	IPd	RT	IPg	IPd	RT	IPg	IPd	RT	IPg	IPd	RT	IPg	IPd	RT	IPg
5 min	5.5	6.1	6.8	7.6	8.7	9.8	9.0	10.4	12.1	10.5	12.8	15.4	11.5	14.6	18.5	12.3	16.4	22.2
10 min	9.2	10.1	11.1	12.3	13.9	15.6	14.2	16.6	18.6	16.5	20.1	23.7	18.0	22.8	28.1	19.2	25.6	33.3
20 min	14.2	15.5	17.0	19.0	21.2	23.7	22.1	25.3	29.1	25.8	30.9	37.9	28.1	35.5	46.1	30.5	40.3	55.7
30 min	16.9	18.7	20.8	23.0	25.8	29.1	26.8	30.9	35.8	31.5	37.9	46.6	34.3	43.5	57.0	37.1	49.5	69.4
40 min	19.0	20.9	23.1	25.6	28.4	31.9	29.7	33.8	38.5	34.4	40.9	49.2	37.3	46.6	59.5	39.8	52.4	71.4
50 min	20.0	22.3	24.6	26.8	30.2	33.9	30.9	35.6	40.5	35.5	42.7	51.4	38.4	48.0	60.6	41.0	53.5	71.3
60 min	21.2	23.5	25.9	28.2	31.7	35.4	32.7	37.3	42.6	37.0	44.4	53.1	39.6	49.8	62.0	41.6	55.2	73.9
2 h	25.1	27.6	30.2	32.8	36.3	39.9	37.5	42.1	47.3	42.5	49.5	58.4	45.5	55.1	68.6	48.1	60.7	79.9
3 h	28.1	30.5	33.0	35.8	39.2	42.3	40.3	44.7	48.9	45.1	51.3	58.2	48.0	56.1	65.7	50.6	60.6	75.0
4 h	29.6	32.1	34.6	37.7	41.4	44.9	42.6	47.7	52.6	47.2	55.8	63.4	50.1	61.8	72.6	53.1	67.9	83.4
6 h	33.1	35.5	38.4	41.7	45.5	50.3	46.8	52.5	59.6	53.3	62.0	73.7	57.6	69.4	86.4	61.1	77.2	102.2
8 h	36.0	38.5	41.6	45.6	49.7	54.7	50.9	57.5	64.7	56.8	67.7	80.6	60.7	75.7	94.0	64.1	83.9	110.4
12 h	39.4	43.0	46.5	50.2	55.3	60.5	57.1	63.2	69.8	63.8	73.1	83.2	67.9	80.2	95.2	71.0	87.1	109.1
24 h	47.2	50.9	55.2	59.6	64.4	69.6	66.0	72.4	78.6	72.6	81.7	91.5	76.4	88.0	101.8	79.9	93.8	112.7



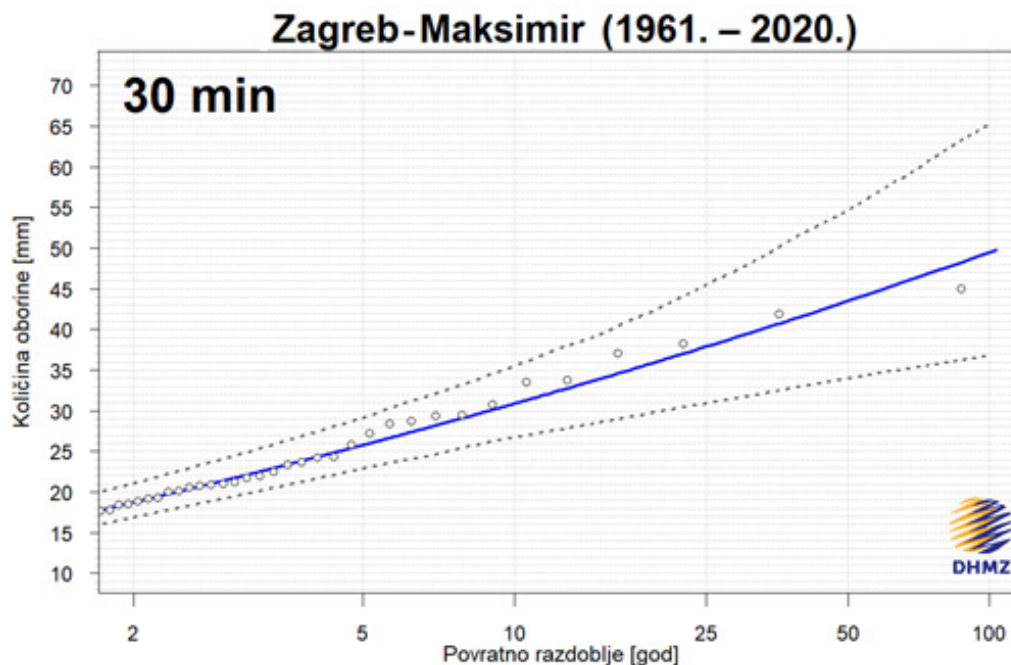
**Slika 1.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **5 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



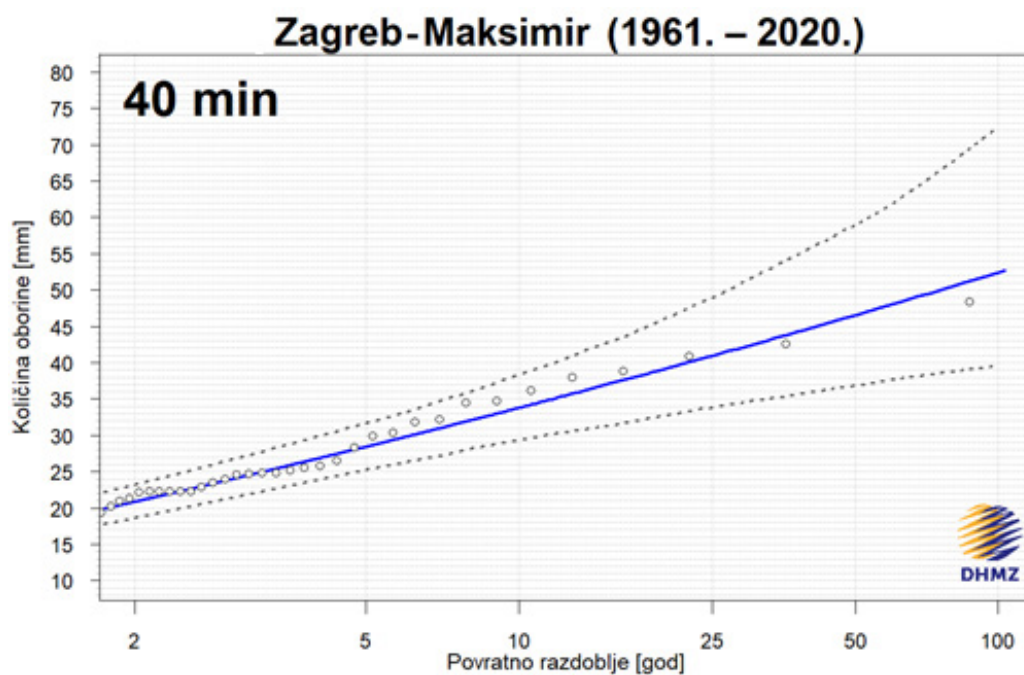
**Slika 2.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **10 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



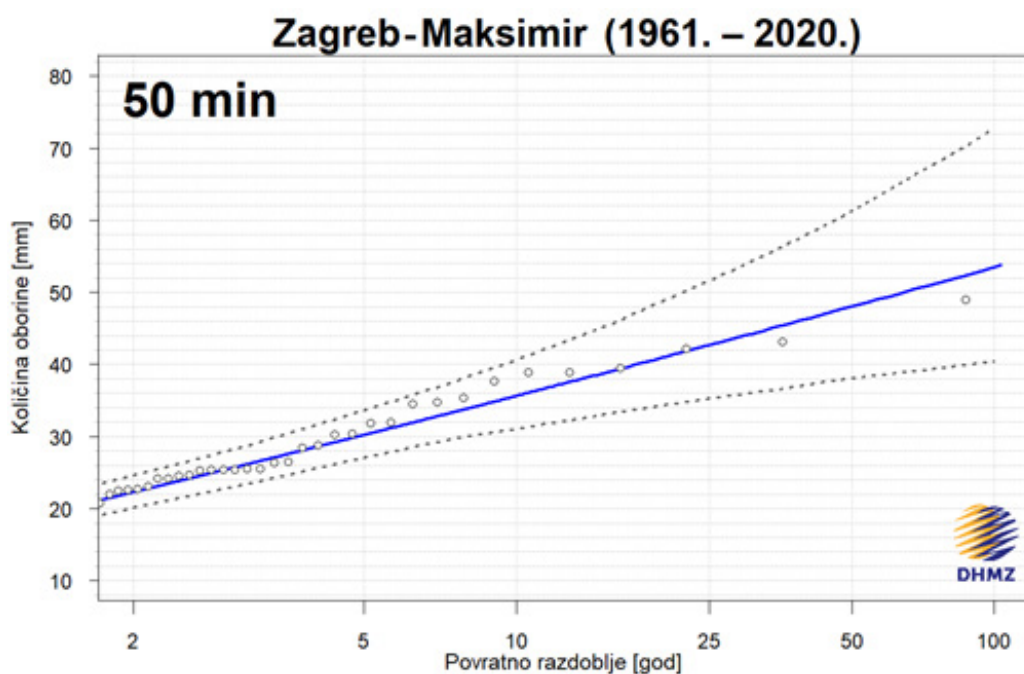
**Slika 3.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **20 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



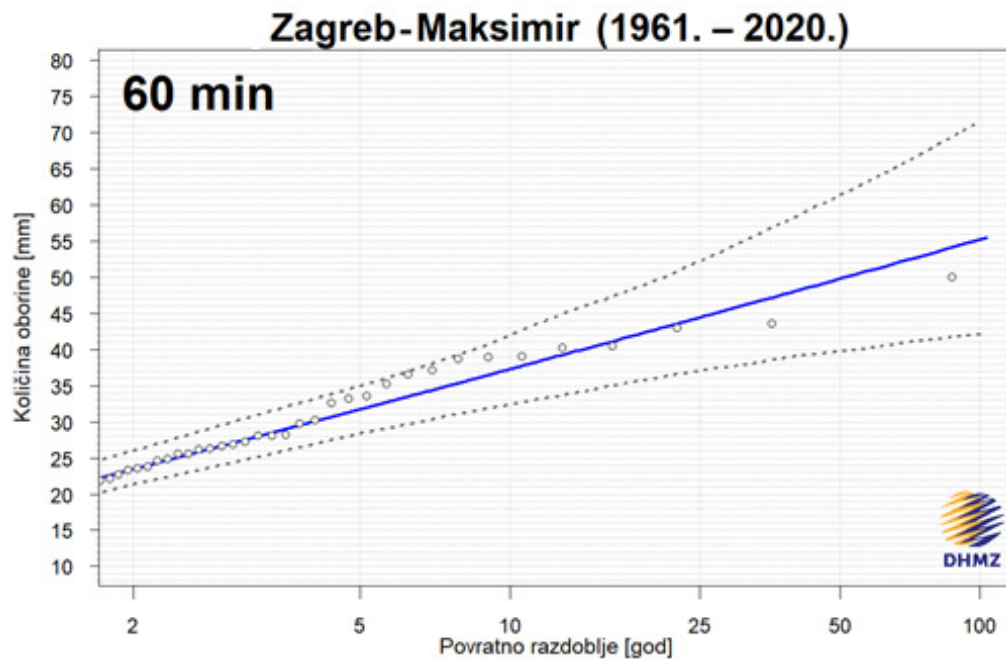
**Slika 4.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **30 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



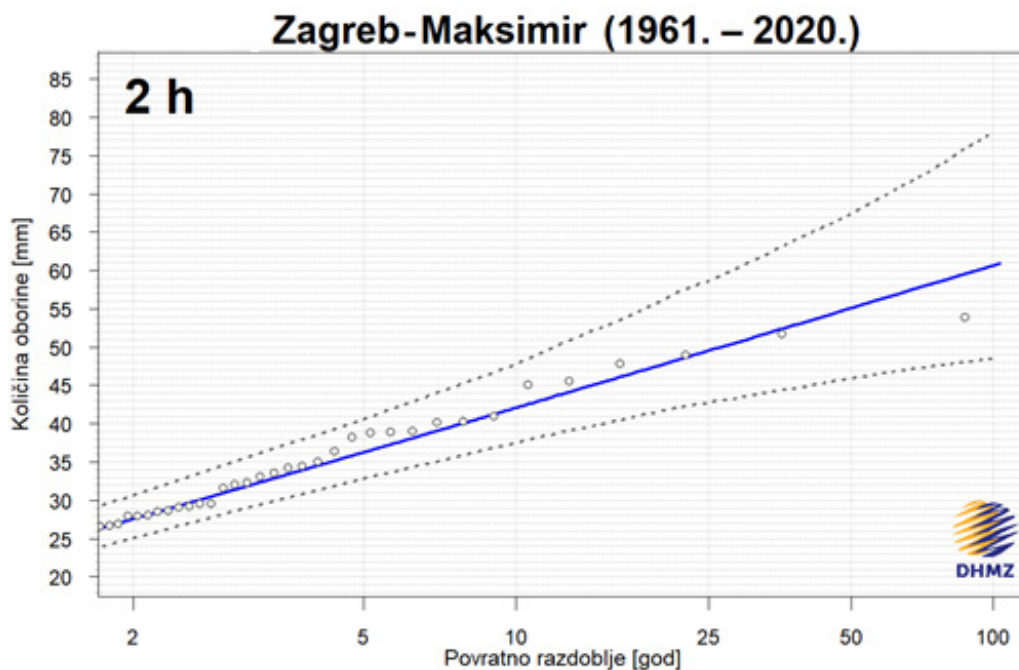
**Slika 5.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **40 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



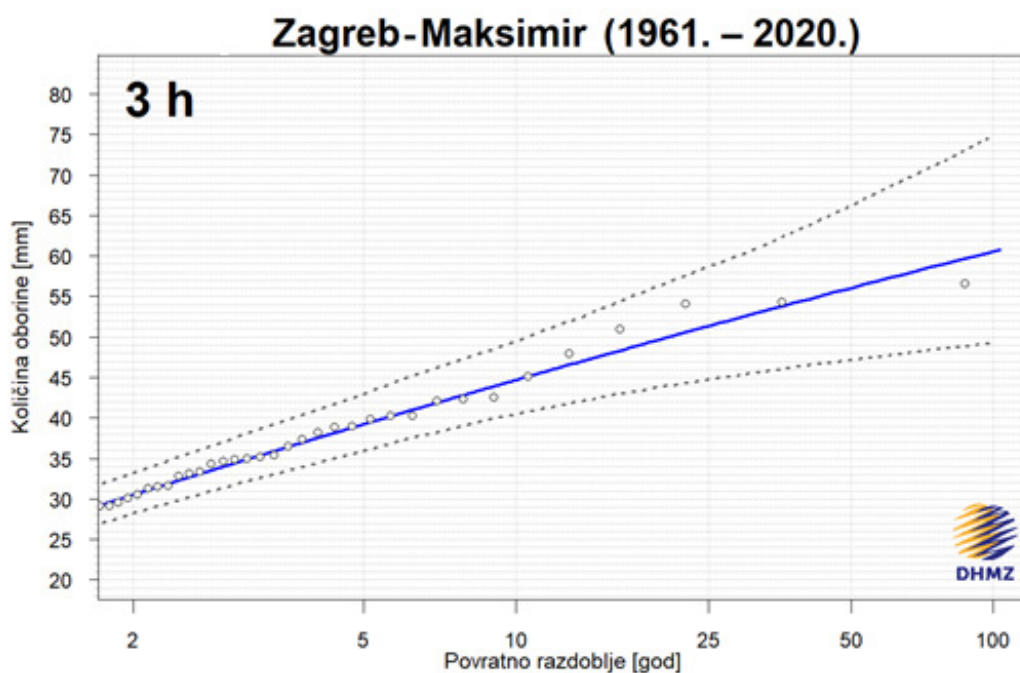
**Slika 6.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **50 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



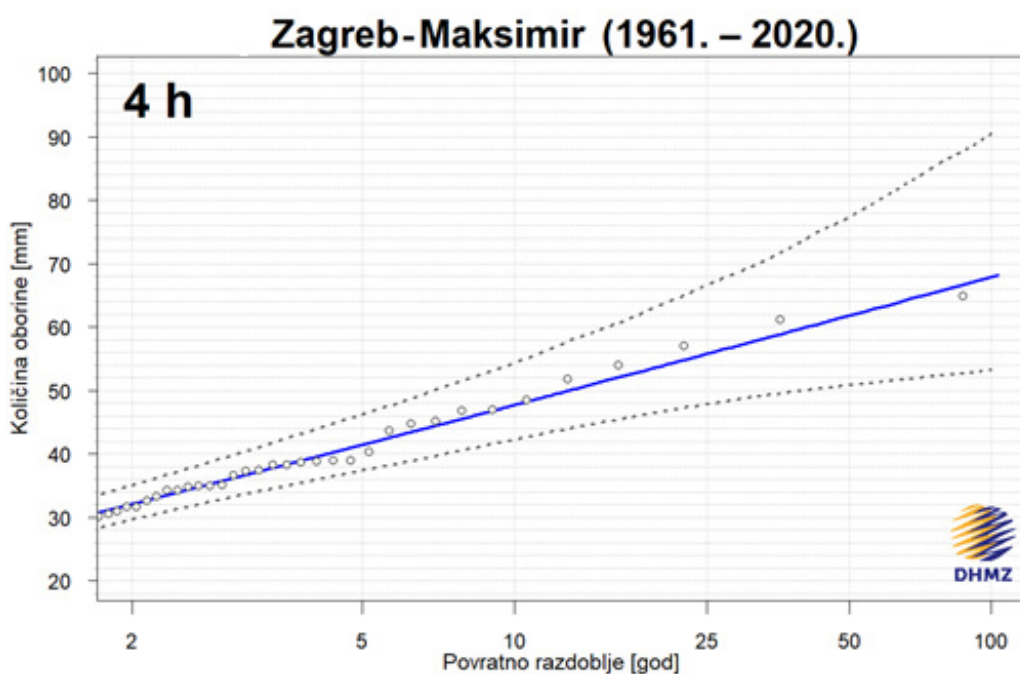
**Slika 7.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **60 minuta**, izračunate pomoću razdiobe GEV



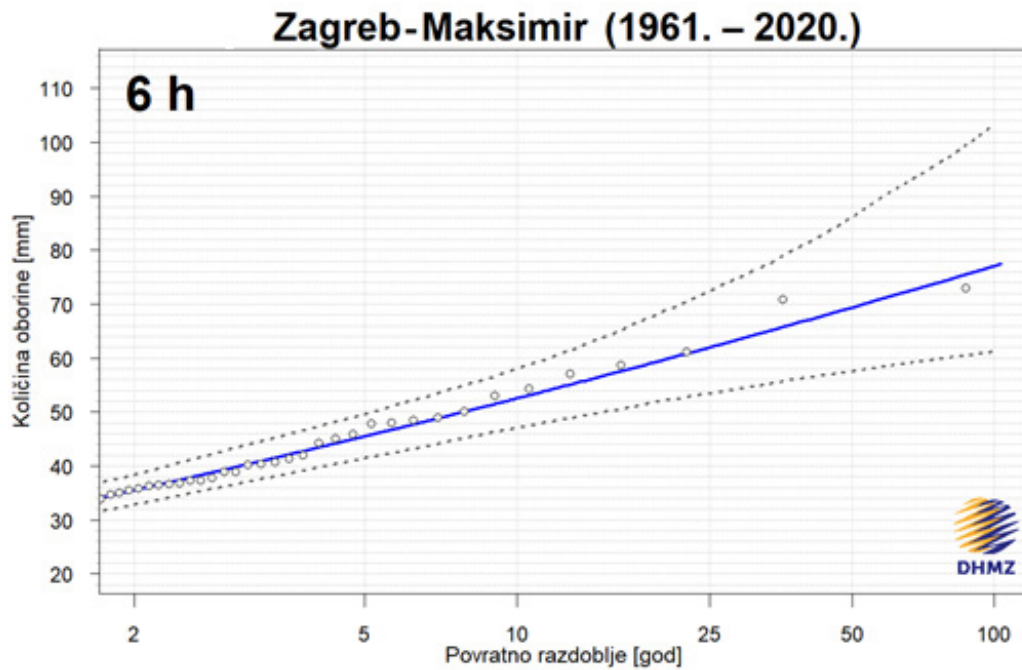
**Slika 8.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **2 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV



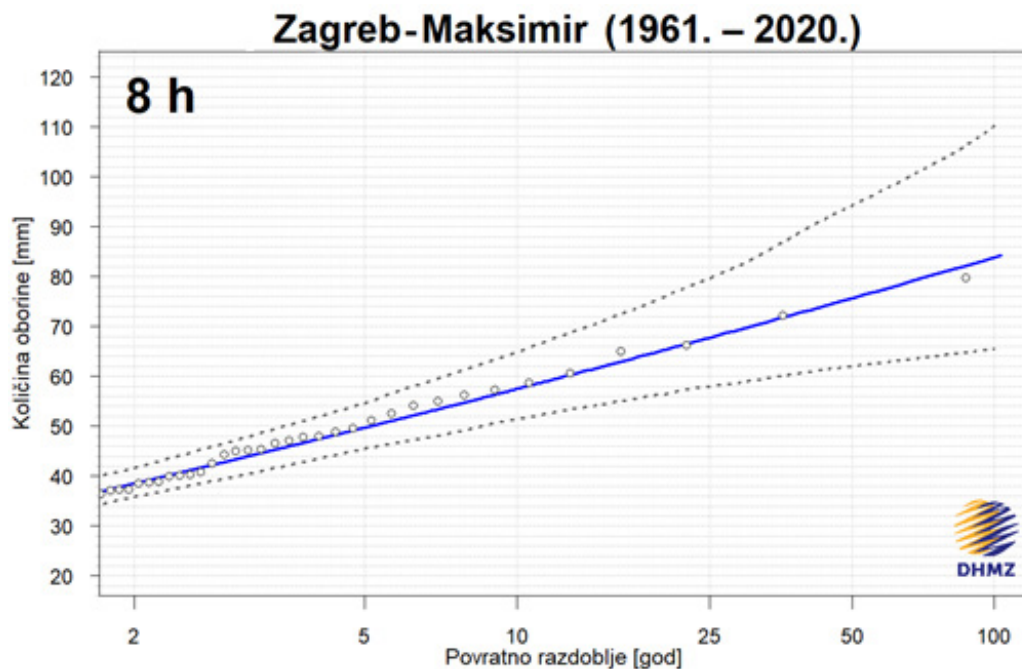
**Slika 9.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **3 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV



**Slika 10.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **4 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV

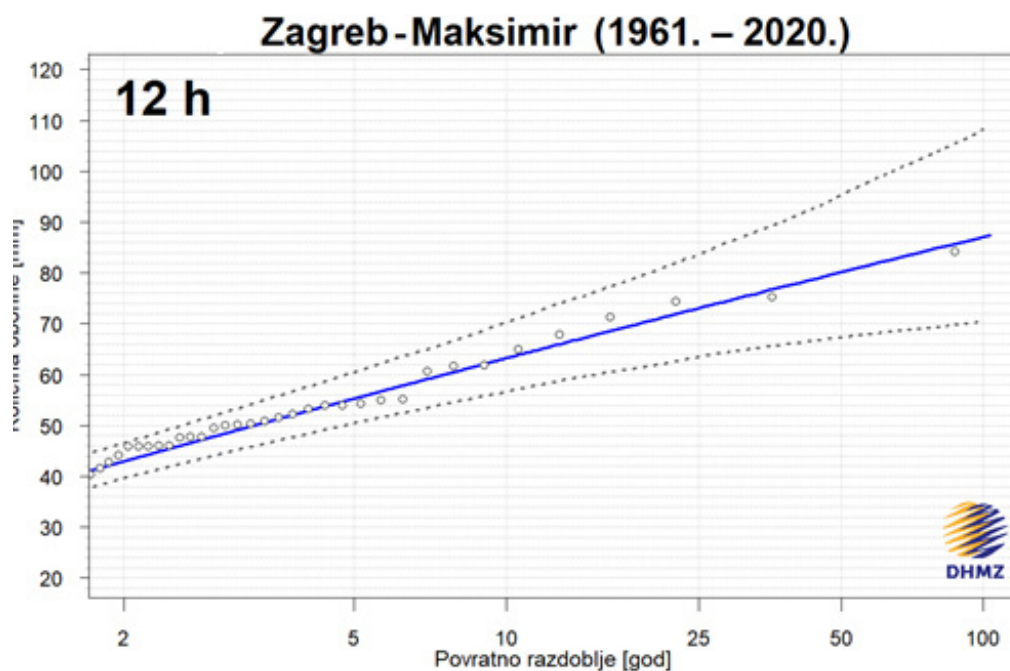


**Slika 11.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **6 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV

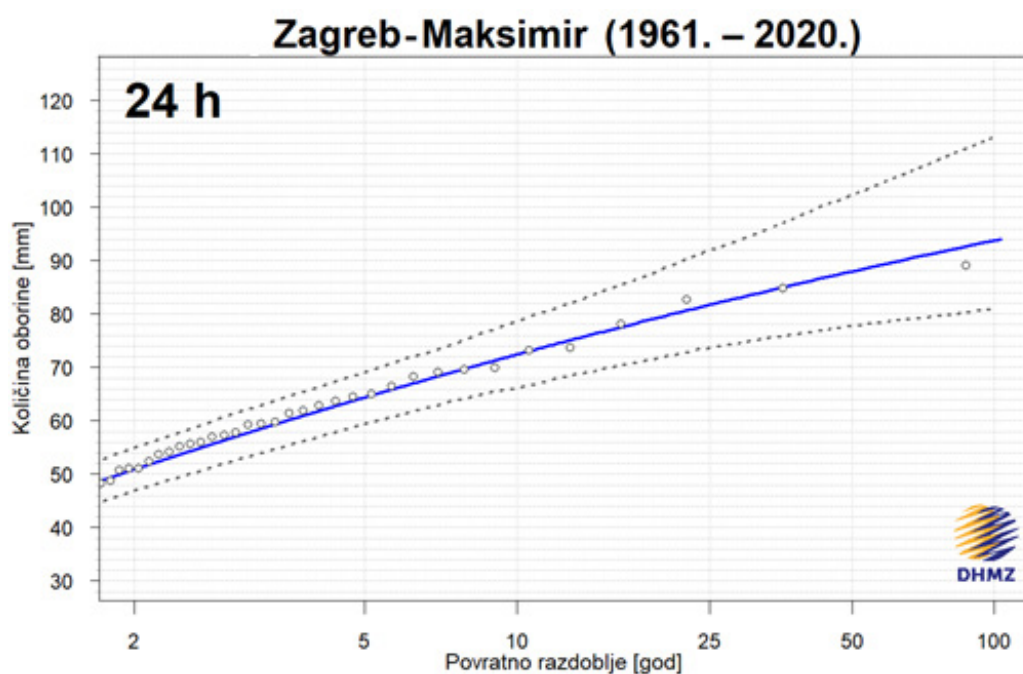


**Slika 12.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **8 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV





**Slika 13.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **12 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV



**Slika 14.** Procjene maksimalnih godišnjih količina oborine za različita povratna razdoblja (plava krivulja) i odgovarajući donji i gornji 95%-tni intervali pouzdanosti (crtkane krivulje) za trajanje **24 h**, izračunate pomoću razdiobe GEV



## 5. Literatura

Cindrić, K.; Nimac, I.; Gajić-Čapka, M.; Rubinić, J. (2014) Vremenske promjene kratkotrajnih jakih oborina u razdoblju 1955. – 2010. za Split i Varaždin. *Hrvatske vode*, 22 (89), 239–250.

Cindrić Kalin, K.; Gajić-Čapka, M. (2019) Vodno gospodarstvo – meteorološki dio. [Primijenjena znanstvena istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu: u povodu 50 godina istraživanja i 70 godina osnivanja DHMZ-a](#). Ivančan-Picek B. (ur.), Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod, 184–198.

Cindrić Kalin, K.; Pasarić, Z. (2022) Regional patterns of dry spell durations in Croatia. *International Journal of Climatology*, 42 (11), 5503–5519. <https://doi.org/10.1002/joc.7545>.

Cindrić Kalin, K.; Nimac, I.; Patalen, L.; Renko, T.; Mikuš Jurković, P.; Pasarić, Z. (2024) Climatological analysis of sub-daily rainfall extremes for early severe weather warning system in Croatia. *U postupku recenzije*

Coles, S. (2001) *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer, 208 str.

DHMZ (2008) [Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama](#). Pandžić, K. (ur.), Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 342 str.

DHMZ (2024) [Prizemna meteorološka motrenja – postaje s ombrografom](#).

DHMZ (2023) [Odabrana poglavlja osmog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime \(UNFCCC\)](#). Državni hidrometeorološki zavod.

Farago T.; Katz, R. (1990) *Extremes and design values in climatology*. World Meteorological Organization, WCAP-14, WMO/TD-No. 386.

Fukutome, S.; Schindler, A.; Capobianco, A. (2018) MeteoSwiss extreme value analyses: User manual and documentation. *Technical Report MeteoSwiss*, 255, 3<sup>rd</sup> Edition, 80 str.

Gajić-Čapka, M. (1999) Duljina normalnog niza za kratkotrajne oborine u Hrvatskoj. *Hrvatske vode*, 7 (29), 217–235.

Gajić-Čapka, M. (2000) Metode klimatološke analize kratkotrajnih oborina velikog intenziteta. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 131 str.

Gajić-Čapka, M.; Cindrić, K. (2011) Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901–2008. *Geofizika*, 28 (2), 293–312.

Gilleland, E.; Katz, R. W. (2016) extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. *Journal of Statistical Software*, 72(8), 1–39. doi:10.18637/jss.v072.i08.

Ivančan-Picek i sur. (2019) [Primijenjena znanstvena istraživanja u Državnom hidrometeorološkom zavodu: u povodu 50 godina istraživanja i 70 godina osnivanja DHMZ-a](#). Ivančan-Picek B. (ur.), Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod, 184–198.

Klein Tank, A. M. G.; Zwiers, F. W.; Zhang, X. (2009) *Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. World Meteorological Organisation, WMO-TD No. 1500, WCDMP-No. 72, 52 str.

Nimac, I.; Cindrić Kalin, K.; Renko, T.; Vujnović, T.; Horvath, K. (2022) The analysis of summer 2020 urban flood in Zagreb (Croatia) from hydro-meteorological point of view. *Nat Hazards*, 112, 873–897.

Sokol Jurković, R.; Nimac, I.; Cindrić Kalin, K. (2019) O metodi i problemima izrade krivulja intenziteta – trajanja – povratnog razdoblja. *Zbornik radova, 7. konferencija o vodama: Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode*, Opatija, 30. svibnja – 1. lipnja 2019., 75–83.

Wilks, D. S. (2011) *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Oxford, UK: Elsevier Inc.



Adresa sjedišta:  
Ravnice 48, 10000 Zagreb  
Hrvatska

---

01 4565 666 (centrala)  
dhmz@cirus.dhz.hr  
<https://meteo.hr/>



© Državni hidrometeorološki zavod, 2024.

