

KVANTITATIVNE KARAKTERISTIKE KIŠA JAKOG INTENZITETA U OKOLINI GRADA ZRENJANINA SA ASPEKTA PROJEKTOVANJA KIŠNE KANALIZACIJE

QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF HEAVY RAINFALL IN THE SURROUNDINGS OF THE CITY OF ZRENJANIN FROM THE ASPECT OF RAIN SEWERAGE DESIGN

OGNJEN PROHASKA¹, STEVAN PROHASKA²

Rezime: U radu su prikazane osnovne karakteristike jakih kiša koje su neophodne za potrebe projektovanja kišne kanalizacije u okolini grada Zrenjanina. Prikazani rezultati su preuzeti iz monografije *Intenziteti jakih kiša u Srbiji*, koju je izdao Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi” iz Beograda 2014. godine. Na izradi monografije učestvovali su, pored istraživača iz Instituta „Jaroslav Černi”, i saradnici iz Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije i Arhitektonsko-građevinskog fakulteta u Nišu. Pri izradi monografije korišćeni su zvanični podaci o intenzitetima jakih kiša iz baze podataka Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije za ceo raspoloživi period, od početka rada stanice, zaključno do 2009. godine.

Rad je ilustrovan odgovarajućim grafičkim i tabelarnim prilogima uz odgovarajuće komentare i zaključke.

Ključne reči: intenziteti jakih kiša, maksimalne kiše, kišna epizoda, trajanje kiše, učestalost kiše, unutar godišnja zastupljenost jakih kiša, vreme pojave kiše, verovatnoće pojave kiša

Abstract: The basic characteristics of heavy rainfall, which are necessary for the stormwater sewer design in the region of the city of Zrenjanin, are presented in this paper. The presented results are taken from the monograph *Intensities of heavy rainfall in Serbia*, published by the Institute for the Development of Water Resources "Jaroslav Černi" from Belgrade in 2014. In addition to researchers from the „Jaroslav Černi” Institute, collaborators from the Republic Hydrometeorological Service of Serbia and the Faculty of Civil Engineering and Architecture in Niš participated in the creation of the monograph. In the preparation of the monograph, official data on the intensities of heavy rainfall from the database of the Republic Hydro-meteorological Service of Serbia were used for the entire available period, from the beginning of the station's operation, up to and including 2009.

The work is illustrated with appropriate graphic and tabular attachments and appropriate comments and conclusions.

Key Words: heavy rainfall intensity, maximum rainfall, rainfall episode, rainfall duration, rainfall frequency, annual heavy rainfall distribution, time of rainfall occurrence, probability of occurrence of rainfall.

¹ Ognjen Prohaska, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

² Stevan Prohaska, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Jaroslava Černog 80, Beograd

1. Uvodne napomene

U inženjerskoj hidrološkoj praksi urbanih sredina glavno interesovanje je usmereno na analizu intenziteta kiša kraćih trajanja (najduže do 24 časa) koje su glavni uzrok pojave katastrofalnih poplava u urbanim područjima. Sa ciljem razjašnjenja strukture formiranja karaktera intenziteta jakih kiša, u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi”, a u direktnoj saradnji sa Republičkim hidrometeorološkim zavodom Srbije, publikovana je monografija „Intenziteti jakih kiša u Srbiji”, gde su, između ostalih, obrađeni i odgovarajući podaci sa meteorološke stanice Zrenjanin.

Skoro da nije potrebno isticati da se intenziteti jakih kiša trajanja kraćih od 24 sata mogu izmeriti pomoću različitih tipova uređaja za automatsko merenje padavina. Takvih instrumenata u Srbiji ima relativno malo u poređenju sa instrumentuma (kišomerima) za merenje dnevnih suma padavina. Meteorološka stanica Zrenjanin poseduje instrumente za merenje kiša kraćih trajanja od 1954. godine. Napominjemo da su sva merenja padavina u nadležnosti Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije.

U navedenoj monografiji razjašnjen je proces formiranja oblaka i nastanka padavina na zemljinoj kori i prikazani su instrumenti za merenje padavina: počev od pluviometara (kišomera i totalizatora) za diskontinualno merenje padavina, preko pluviografa za kontinualno merenje kiša jakog intenziteta, do radara koji služe za otkrivanje prostora koji je zahvaćen padavinama. Primenjene su dve procedure za obradu pluviografskih traka, i to za: konstantne jednočasovne periode diskretizacije vremena i za različita trajanja kiše, pri čemu se unutar kišne epizode razmatra period u kome je izmerena maksimalna visina kiše.

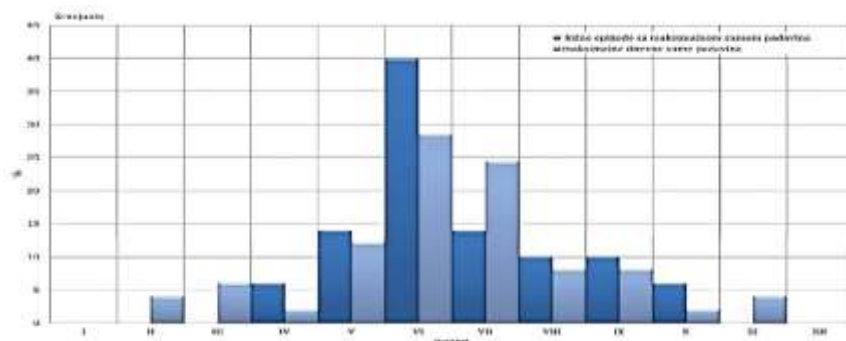
U konkretnom slučaju, u ovom radu prikazane su sledeće karakteristike jakih kiša za širu teritoriju grada Zrenjanina:

- Prosečna unutargodišnja zastupljenost maksimalnih godišnjih dnevnih suma padavina i suma padavina u kišnoj epizodi sa maksimalnom godišnjom sumom padavina;
- Hijetogram i sumarna linija kišne epizode za godinu sa maksimalnom sumom padavina;
- Bezdimenzionalne sumarne linije za kišne epizode za godinu sa maksimalnom sumom padavina;
- Teorijske bezdimenzionalne sumarne linije jakih kiša za različite verovatnoće pojave;
- Učestalost trajanja jakih kiša;
- Teorijske vrednosti trajanja jakih kiša za različite verovatnoće pojave;
- Učestalost vremena pojave jakih kiša u toku dana;
- Zavisnost visine kiše u funkciji trajanja kiše i verovatnoće pojave;
- PTkp-krive: visina kiše u funkciji trajanja kiše i verovatnoće pojave;
- Redukcione krive kiša jakog intenziteta.

2. Prikaz rezultata obrade intenziteta jakih kiša za meteorološku stanicu Zrenjanin

2.1. Unutargodišnja zastupljenost maksimalnih godišnjih suma padavina sa maksimalnim sumama padavina u kišnoj epizodi

Procentualna unutargodišnja zastupljenost kišnih dana prema merenjima na kišomeru i pluviografu prikazana je grafički na slici br. 1.

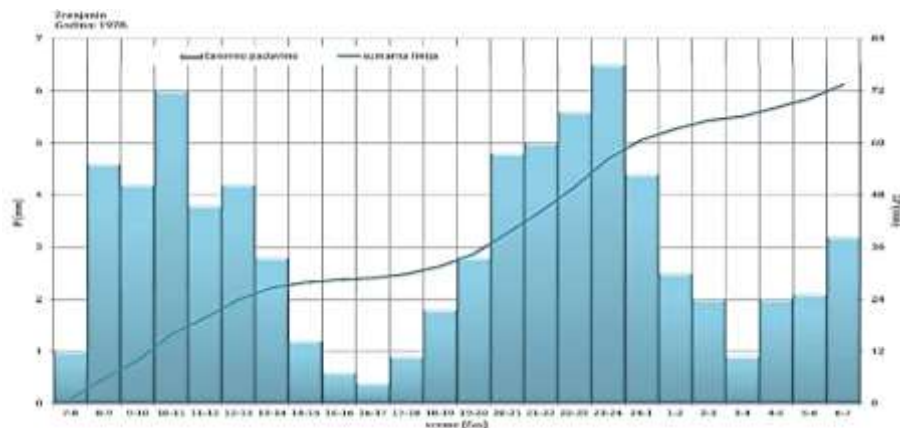


Slika 1. Unutargodišnja zastupljenost maksimalnih godišnjih suma padavina izmerenih na kišomeru i pluviografu

Mesec sa najučestalijom pojavom maksimalnih kiša u Zrenjaninu je jun. U više od 50% slučajeva, maksimalne kiše pojavljuju se u periodu juni-juli, a period bez pojave maksimalnih kiša je decembar-januar.

2.2 Hijetogram i sumarna linija kišne epizode za godinu sa maksimalnom sumom padavina

Karakter raspodele kiše unutar kišne epizode prikazan je, primera radi, preko hijetograma i sumarne linije za kišnu epizodu sa maksimalno registrovanim padavinama iz perioda 27–28. 6.1978. godine (7.00–6.55).



Slika 2. Hijetogram i sumarna linija za kišnu epizodu sa maksimalnom pojavom kiše u periodu 27–28. 6. 1978. godine (7.00–6.55)

2.3. Bezdimenzionalne sumarne linije za kišne epizode za godinu sa maksimalnom sumom padavina

Da bi se sagledala vremenska raspodela kiše za vreme njenog trajanja, definisane su bezdimenzionalne integralne (sumarne) linije kiše, kako po visini kiše, tako i po trajanju. U konkretnom slučaju definišu se bezdimenzionalne koordinate sumarne linije kiše, i to:

- Ordinata:

$$\pi_i = \frac{\sum_{j=1}^i P_j}{\sum_{j=1}^k P_j}$$

- Apscisa:

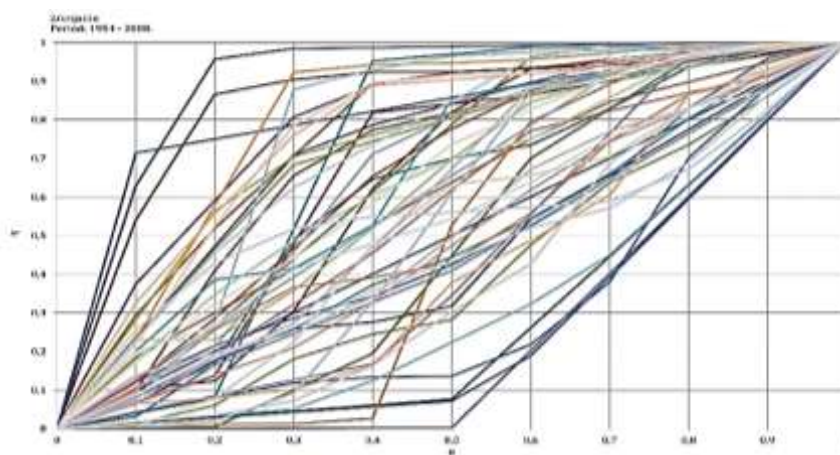
$$\tau_i = \frac{T_i}{T_k}$$

gde su:

$\sum P_i$ - ordinata integralne krive jakih kiša

T_i - apscisa integralne krive jakih kiša

Rezultati ovih proračuna za met. stanicu Zrenjanin prikazani su grafički na slici br. 3.

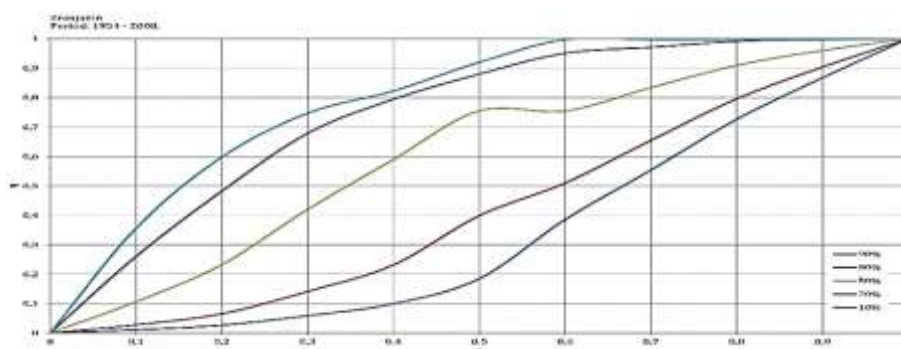


Slika 3. Bezdimenzionalne sumarne linije za kišne epizode za godinu sa maksimalnom sumom padavina

Na osnovu prikazanog grafika može se zaključiti da na području grada Zrenjanina postoji velika raznovrsnost u karakteru formiranja raspodele kiše unutar kišne epizode, od veoma naglih kiša, do pojave kiša umerenog intenziteta, i kiša sa naglim završetkom.

2.4. Teorijske bezdimenzionalne sumarne linije jakih kiša za različite verovatnoće pojave

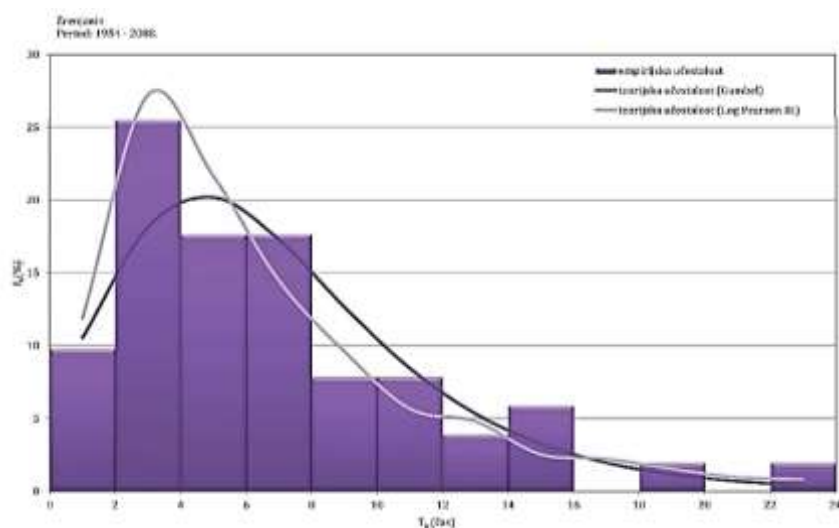
Na osnovu definisanih sumarnih linija raspodele kiše unutar kišne epizode primenom klasične probabilističke procedure za svako relativno trajanje ($\tau_i=0.1, 0.2, \dots, 1.0$) sračunate su teorijske vrednosti (Pearson III zakon raspodele verovatnoća) za verovatnoće pojave 10, 20, 50, 80, i 90%. Rezultati ovih proračuna za met. stanicu Zrenjanin prikazani su grafički na slici br.4.



Slika 4. Bezdimenzionalne sumarne linije jakih kiša za različite verovatnoće pojave za met. stanicu Zrenjanin

2.5. Učestalost trajanja jakih kiša

Sledeća karakteristika kiša jakog intenziteta, veoma značajna za urbanu hidrologiju, jeste trajanje i učestalost različitih trajanja kiše jakog intenziteta (T_k). Neophodno je naglasiti da je najučestalije trajanje jakih kiša znatno kraće od 24 časa, što se može videti na slici br.5, gde je prikazana učestalost pojave jakih kiša u Zrenjaninu u funkciji trajanja kiše.



Slika 5. Učestalost trajanja jakih kiša u Zrenjaninu

Kao što se na slici br. 5 vidi, najučestalije trajanje jakih kiša u Zrenjaninu je od 2–4 sata, a sa verovatnoćom od 60% mogu se očekivati jake kiše u trajanju od 2–6 sati.

2.6. Verovatnoća ukupnog trajanja jakih kiša

Verovatnoća pojave ukupnog trajanja jakih kiša u Zrenjaninu proanalizirana je primenom više zakona raspodele verovatnoća, a rezultati proračuna prikazani su grafički na slici br.6.

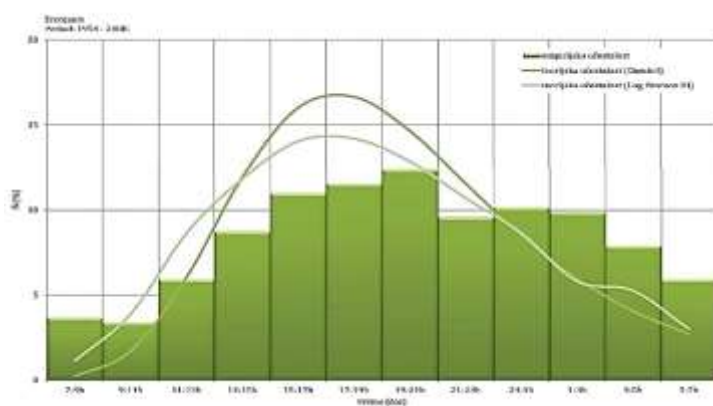


Slika 6. Verovatnoća pojave ukupnog trajanja jakih kiša u Zrenjaninu

Na osnovu prikazanih rezultata, primenom Gumbelovog zakona raspodele verovatnoća, proizilazi da se sa 100. godišnjim povratnim periodom može očekivati kiša jakog intenziteta u trajanju od 23 sata, sa desetogodišnjim u trajanju od 13 sati, a sa dvogodišnjim povratnim periodom jaka kiša u trajanju od 5 sati.

2.7. Učestalost vremena pojave jakih kiša u toku dana

Jedna od veoma interesantnih karakteristika kiša jakog intenziteta za širu javnost je verovatnoća pojave jakih kiša u toku jednog dana, odnosno u periodu od 24 sata.



Slika 7. Učestalost vremena pojave jakih kiša u toku dana na met. stanici Zrenjanin

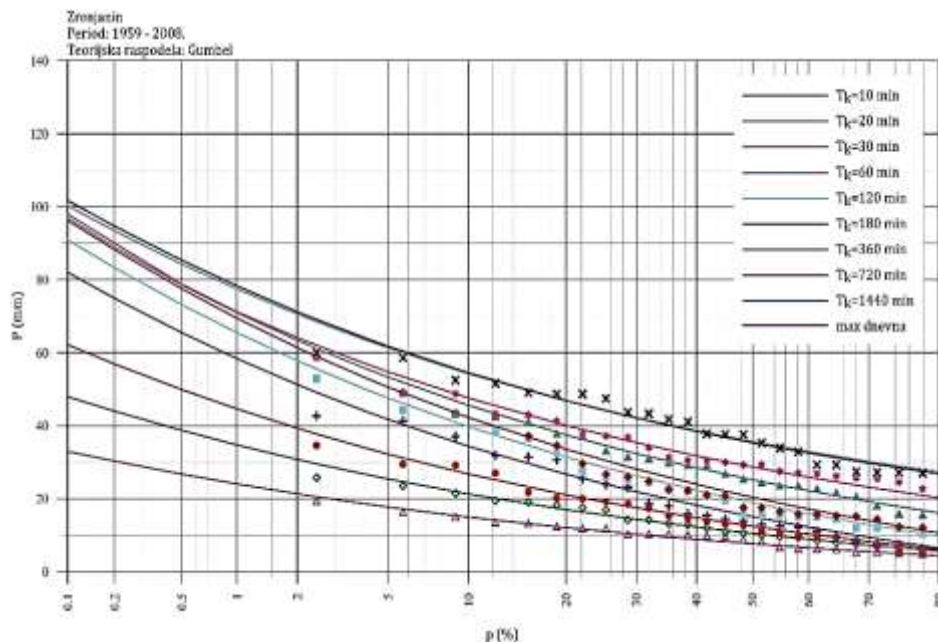
U tu svrhu izvršena je analiza učestalosti i verovatnoća pojave kiše tokom dana, korišćenjem raspoloživih podataka o časovnim vrednostima kiša registrovanih maksimalnih kišnih epizoda. Rezultati proračuna učestalosti vremena pojave jakih kiša u toku dana za met. stanicu Zrenjanin prikazani su na slici br.7.

Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da se kiša jakog intenziteta u Zrenjaninu pojavljuje u periodu od 19 do 21 časa. Sa verovatnoćom od 60%, ta kiša će se pojaviti u periodu od 15 sati do 3 sata sledećeg dana. Period sa najmanjom verovatnoćom pojave jakih kiša je od 7 do 11 sati.

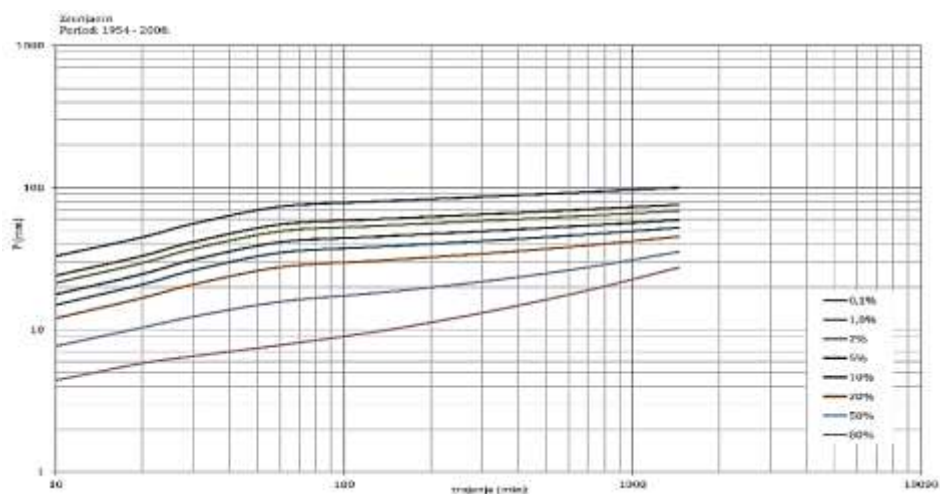
2.8. Zavisnost visine kiše u funkciji trajanja kiše i verovatnoće pojave

Identifikacija jakih kiša kraćih trajanja sa maksimalnom sumom padavina, izvršena je i postupkom pokretnog (*moving*) selektovanja maksimalnih suma kiša za unapred definisane periode diskretizacije vremena, odnosno trajanja kiše. Obradeni su maksimalni godišnji intenziteti za sledeća trajanja kiše: 10, 20, 30, 60, 120, 360, 720 i 1.440 minuta sa uključivanjem maksimalnih dnevnih suma padavina u godini, registrovani na kišomeru.

Za navedena trajanja kiše sračunate su verovatnoće pojave sloja kiše i intenziteta, korišćenjem teorijskih krivih raspodela verovatnoća. Primenjeni testova saglasnosti pokazali su da se najbolje prilagođava Gumbelov zakon raspodele. Na osnovu ovih podataka definisana je zavisnost visine kiše u funkciji trajanja kiše i verovatnoće pojave za met. stanicu Zrenjanin, što je grafički prikazano na slici br. 8. i slici br.9.



Slika 8. Zavisnost visine kiše u funkciji verovatnoće pojave i trajanja kiše za met. stanicu Zrenjanin



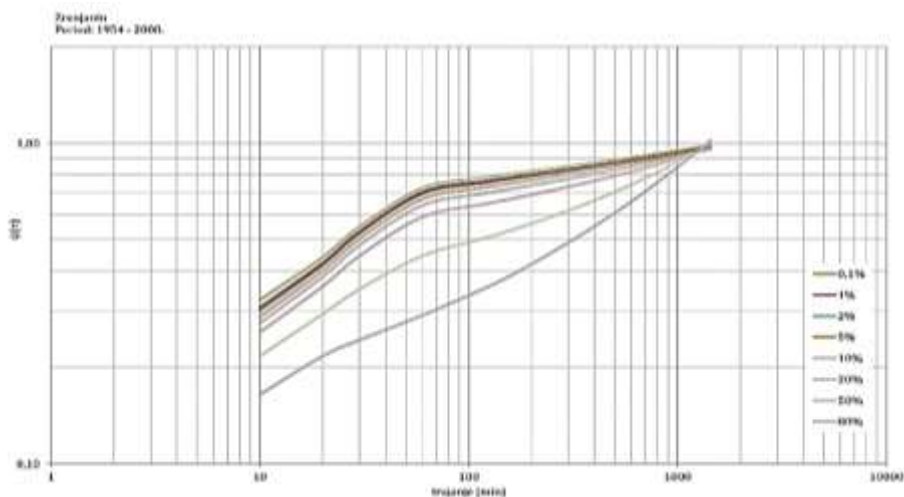
Slika 9. Zavisnost visine kiše u funkciji trajanja kiše i verovatnoće pojave za met. stanicu Zrenjanin

2.9. Redukcione krive kiše jakog intenziteta

Redukcione krive kiša jakog intenziteta– $\psi(\tau)$, predstavljaju odnos maksimalne visine kiše bilo kog trajanja kiše τ i odgovarajuće dnevne kiše (24-časovnog trajanja), tj:

$$\psi(\tau) = P_{\tau}/P_{24 \text{ sata}}$$

Definisane redukcionne krive kiša jakog intenziteta za met. stanicu Zrenjanin prikazane su na slici br. 10.



Slika 10. Redukcione krive kiša jakog intenziteta za met. stanicu Zrenjanin

Redukciona kriva kiše služi za iznalaženje visine kiše bilo kog trajanja kiše, kada je poznata samo 24-časovna kiša bilo koje verovatnoće pojave.

3. Zaključak

Cilj ovoga rada je obezbeđenje osnovnih karakteristika kiša jakog intenziteta, kao neophodnih podloga za projektovanje kišne kanalizacije u okolini grada Zrenjanina. Prezentirani rezultati su dati u grafičkom vidu dok se numeričke vrednosti mogu naći u monografiji „Intenziteti jakih kiša u Srbiji“, koju je izdao Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi” iz Beograda 2014. godine.

4. Literatura

- [1] Prohaska S, Petković T, Metode proračuna velikih voda, Deo I, Proračun velikih voda na hidrološki izučnim profilima, *Građevinski kalendar*, Beograd, 1989:.
- [2] Janković D, Karakteristike jakih kiša na teritoriji Srbije, *Građevinski kalendar*, Beograd, 1994.
- [3] Prohaska S, Ristić V, *Hidrologija kroz teoriju i praksu*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko- geološki fakultet, Beograd, 2002:.
- [4] Prohaska S, *Hidrologija I deo*, Rudarsko-geološki fakultet, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd, 2003.
- [5] Prohaska S, Kapor B, Ilić A, Čatović S, Marjanović S, Bartoš Divac V, Koprivica A, Kompleksna analiza pluviometrijskog režima jakih kiša kraćih trajanja na teritoriji Republike Srbije, *Časopis Voda i sanitarna tehnika*, Vol. 41, No. 3-4, ISSN 0350-5049, str. 5-14, 2011.
- [6] Prohaska S, Kapor B, Ilić A, Čatović S, Đukić D, Bartoš Divac V, Marjanović S, Koprivica A, Trajanje kiša jakog intenziteta i njihova raspodela u toku dana u Srbiji, *16. Savetovanje SDHI i SDH*, Donji Milanovac, 2012.
- [7] Prohaska S, Bartoš Divac V, Koprivica A, Đukić D, Ilić A, Čatović S, Kapor B, Marjanović S, Vukelić V, Božović N, *Monografija ”Inteniteti jakih kiša u Srbiji”*. ISBN 978-86-82565-40-6, str. 481, 2014.

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**43. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA**

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD I KANALIZACIJA '22

Zrenjanin

11 - 14. oktobar 2022.



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

43. Međunarodna konferencija
VODOVOD I KANALIZACIJA '22

Zbornik radova

Zrenjanin, 11 – 14. oktobar 2022.

Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

Programski odbor:

prof. dr Milovan Živković, (predsednik), prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Aleksandar Đukić, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Randelović, prof. dr Goran Orašarin, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklešić, prof. dr Dragica Chamovska, prof. dr Filip Kokalj

Organizacioni odbor:

mr Bogdan Vlahović (predsednik), Simo Salapura, Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Predrag Bodiroga, Goran Marinković, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šoštarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, Marijana Mihajlović, Olivera Ćosović, MSc i Olja Jovičić

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Milovan Živković, dipl. inž.

Lektura i korektura:

Olivera Ćosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Štampa:

Akadska izdanja, Zemun

Naslovna strana:

Taranto, Pulja, Italija

ISBN: 978-86-80067-53-7

Godina izdavanja: 2022.

Tiraž: 200 primeraka

Organizator:
Savez inženjera i tehničara Srbije

Suorganizatori:
**ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih
mineralnih sirovina, Beograd**
**Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad**
**Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neogransku
hemijsku tehnologiju, Beograd**
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd
Inženjerska akademija Srbije, Beograd
**IPIN Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering,
Bijeljina**
JKP „Vodovod i kanalizacija“, Zrenjanin
Društvo inženjera Zrenjanin

Uz podršku:
Inženjerske komore Srbije, Beograd

Pod pokroviteljstvom:
**Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja
Republike Srbije i
Grada Zrenjanina**

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и канализација
(43 ; 2022 ; Зрењанин)

Zbornik radova / 43. Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '22, Zrenjanin, 11-14. oktobar 2022. ; [organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ; [suorganizatori ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd ... [et al.]] ; [glavni i odgovorni urednik Milovan Živković]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2022 (Zemun : Akademska izdanja). - 364 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp., hrv. i bos. jeziku. - Tekst lat. i ćir. - Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN

978-86-80067-53-7

а) Водовод -- Зборници б) Канализација -- Зборници в)
Отпадне воде -- Зборници г) Водозхвати -- Зборници

COBISS.SR-ID 76214537

<i>Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Maja Đorović Stevanović, Sanja Marčeta</i>	Infiltracija – važna komponenta kišne kanalizacije sa aspekta klimatskih promena	279
<i>Ivan Milojković, Nikola Divac</i>	Kišni prelivi za priključenje otpadnih voda na tunel „Karaburma“	291
<i>Rada Petrović, Marija Mihajlović-Kostić, Slavica Lazarević, Ivona Janković-Častvan, Đorđe Janačković</i>	Adsorpcija Cd²⁺ i Zn²⁺ jona iz ekvimolarnih dvokomponentnih rastvora u komunalnoj otpadnoj vodi i dejonizovanoj vodi na prirodnom i modifikovanom zeolitu	297
<i>Stanko Stankov</i>	Frekvencijska regulacija u sistemima vodovoda i kanalizacije	304
<i>Ognjen Prohaska, Stevan Prohaska</i>	Kvantitativne karakteristike kiša jakog intenziteta u okolini grada Zrenjanina sa aspekta projektovanja kišne kanalizacije	314
<i>Jovan Despotović, Jasna Plavšić, Andrijana Todorović, Nenad Jaćimović, Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović, Ljiljana Janković, Aleksandar Đukić, Marko Ivetić, Anja Randelović</i>	Kišna kanalizacija u gradovima – analize i faze za izradu projekata kišne kanalizacije	323
<i>Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović</i>	Upravljanje procjednim otpadnim vodama na novoj sanitarnoj kadi komunalnog otpada u Opštini Žabljak	340
<i>Jovana Perendija, Mina Popović, Verica Ljubić, Dragana Milošević, Slobodan Cvetković</i>	Mogućnost primene otpadne biomase hmelja za adsorpciju jona Ni²⁺ iz vodenih rastvora	351
<i>Goran Sekulić</i>	Mogućnost ugradnje malih hidroelektrana u sklopu postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda	357