

OBLICI HIJETOGRAMA DNEVNIH KIŠA U ANALIZI VELIKIH VODA MALIH NEIZUČENIH SLIVOVA

UDK : 551.578.1
551.577.21

Borislava Blagojević¹, Vladislava Mihailović², Dragan
Radivojević³

Rezime

Računske velike vode dva mala neizučena sliva u okolini Leskovca, dobijene su modeliranjem procesa padavine-oticađ preko računskih kiša i dva modela direktnog oticaja: racionalnom metodom i metodom sintetičkog jediničnog hidrograma. Kod racionalne metode, korišćena je kiša trajanja jednakog procenjenom vremenu koncentracije sliva, dok je jednočasovni sintetički hidrogram oblika trougla primenjen na složenu računsku kišu trajanja 24 časa, podeljenu u blokove trajanja 1 čas. Složena računaska kiša je razmatrana u pet varijanti statističkog oblika kiše. Primenjeni model za dobijanje efektivne kiše u ovom slučaju je SCS-CN. Proračuni su prikazani za povratne periode velikih voda od 50 i 100 godina, pod pretpostavkom da povratni period kiše odgovara povratnom periodu oticaja koji izaziva. Cilj rada je prikaz mogućnosti ocene kvantila velikih voda pomoću dnevnih kiša i poređenje sa rezultattima dobijenim na osnovu ravnomerne kiše nerealnog trajanja prema racionalnoj metodi.

Ključne reči: *Velike vode, Neizučen sliv, Dnevne kiše, Oblik hijetograma*

¹ Borislava Blagojević, dr docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs

² Vladislava Mihailović, dr docent, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, vladislava.mihailovic@sfb.bg.ac.rs

³ Dragan Radivojević, dr docent, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, dragan.radivojevic@gaf.ni.ac.rs

HYETOGRAM FORMS OF DAILY RAINFALL IN THE ANALYSIS OF HIGH WATERS OF SMALL UNEXPLORED RIVER BASINS

Abstract

The calculated high waters of two small unexplored river basins in the vicinity of Leskovac were obtained by modeling the precipitation-runoff process through the calculated rainfall and two models of direct runoff: using the rational method and the synthetic unit hydrogram method. In the rational method, the rainfall having a duration equal to the estimated time of basin concentration was used, while a one - hour synthetic hydrogram of triangle shape was applied to a complex computational rainfall in the duration of 24 hours, divided into blocks of 1 hour. The complex computational rainfall is considered in five variants of the statistical form of rainfall. The applied model for obtaining the effective rainfall in this case is SCS-CN. Calculations are shown for the high water return periods of 50 and 100 years, assuming that the return period of rainfall corresponds to the return period of the runoff it causes. The aim of this paper is to present the possibility of estimating the high water quantile using daily rainfall and to compare with the results obtained on the basis of uniform rainfall of unrealistic duration according to the rational method.

Key words: *High waters, Unexplored river basin, Daily rainfall, hyetogram form*

1. UVOD

Analizom malih, srednjih i velikih voda u okviru izrade hidrološke studije, dobijaju se karakteristike odgovarajućih hidroloških režima. Na osnovu njih se definišu uslovi za planiranje i izgradnju objekata i sprovođenje radova u postupku izdavanja vodnih uslova [1]. Izbor metoda analiza i proračuna zavisi od zadatka koji se rešava i stepena izučenosti područja ili lokacije za koju se rade.

U radu je prikazan postupak analize velikih voda za dimenzionisanje objekata u dva različita slučaja: 1) za propust na malom vodotoku i 2) kod primene strukturne mere za odbranu od poplava, tj. izgradnje rasteretnog kanala vodotoka [2], [3], [4]. U oba slučaja, merodavna veličina je protok, odnosno vršni protok talasa velikih voda. Prema stepenu izučenosti područja, slivovi oba vodotoka spadaju u neizučene slivove.

Ocena velikih voda u neizučenim slivovima spada u rutinske zadatke u hidrotehničkoj praksi. Metode koje se primenjuju za ocenu velikih voda, po pravilu preko računskih kiša, obično se primenjuju nekritički, a retko se razmatra više varijanti računskih protoka na osnovu kojih se usvaja merodavni protok. U radu je pokazana primena dve najčešće korišćene metode, racionalne metode i sintetičkog jediničnog hidrograma. Ukazano je na nekoliko bitnih detalja u proračunima: ograničenja u izvedenim izrazima za ocenu vremena koncentracije, razmatranje različitih statističkih oblika kiše, a pokazani su i rezultati ocene protoka na osnovu ravnomerne kiše nerealnog trajanja za primenu u racionalnoj metodi. Najviše pažnje posvećeno je primeni različitih statističkih oblika kiše koji omogućavaju korišćenje dnevnih kiša kao ulaznih podataka.

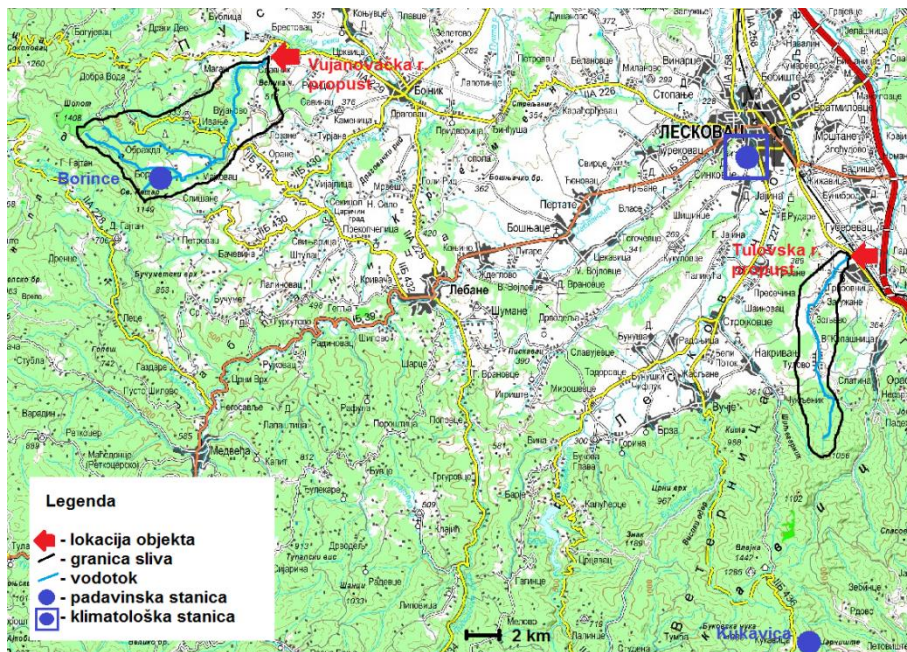
2. METODOLOGIJA

2.1. Podloge

Osnovne podloge korišćene u radu su sledeće: 1) Topografske karte R=1:25 000 kopija karata iz 1978 godine, sadržaj iz 1971; 2) Hidrogeološka karta SR Srbije, izvor: Vodoprivredna osnova Republike Srbije 1996; 3) Pedološka karta Narodne Republike Srbije R=1:600 000; 4) Satelitski snimci sa stanjem iz 2019. i 2020. godine © 2019, 2020 Google; 5) Meteorološki godišnjaci 1. Klimatološki podaci 1949-2017; 6) Hidrološki godišnjaci 1. Površinske vode 1948-2017; 7) Obilasci terena 2019. i 2020. godine.

2.2. Osnovne karakteristike područja i lokacija

Istraživano područje je šira okolini grada Leskovca (Slika 1). Lokacije planiranih objekata su na Tulovskoj i Vujanovačkoj reci, koje pripadaju slivu Južne Morave.



Slika 1. Istraživano područje - Lokacije objekata na vodotokovima, granice pripadajućih slivnih površina i lokacije padavinskih i klimatoloških stanica korišćenih u analizama. (Izvor: GeoSrbija)

Tulovska reka je leva pritoka Južne Morave prvog reda. Formira se na severnim i istočnim obroncima planine Kukavice od Goleme i Male reke, pritoka Slaniške doline i Janičarske reke kao leve pritoke i niza manjih pritoka. Vodotok je bujičnog karaktera i većim delom godine je u svom ravničarskom delu sa malim protokom vode u koritu. Sliv Tulovske reke nalazi se na teritoriji opštine Leskovac (Slika 1).

Vujanovačka reka pripada slivu Južne Morave, podslivu Puste reke i njena je desna pritoka prvog reda. Formira se na severoistočnoj padini planine Radan. Vodotok je bujičnog karaktera i većim delom godine je sa malim protokom vode u koritu, a u malovodnom periodu presušuje. Sliv Vujanovačke reke nalazi se na teritoriji opštine Bojnik. Površine sliva i druge morfometrijske karakteristike oba sliva su prikazane u Tabeli 1 za profile planiranih objekata.

Tabela 1. Morfometrijske karakteristike sliva i toka u profilu I – Tulovska reka, propust na ž. Pruzi Beograd-Solun, II- Vujanovačka reka, pločasti propust na lokalnom putu kod s. Brestovac.

Profil	Karakteristike sliva					Karakteristike toka			
	A (km^2)	H_{sr} (mnm)	Isl (%)	Ls (km)	Ssl (m/m)	Lt (km)	It (%)	Iur (%)	Lc (km)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
I	20.8	429	20.9	11.72	0.068	12.63	4.0	1.93	5.76
II	37.2	646	13.12	10.82	0.083	16.75	5.34	3.15	8.11

Značenje veličina u kolonama: 1-Površina, 2- Srednja nadmorska visina, 3- Srednji nagib padina, 4- Dužina, 5- Srednji nagib, 6- Dužina, 7- Srednji nagib, 8- Uravnati nagib, 9- Odstojanje do težišta.

Klimatske karakteristike slivnog područja odgovaraju prelaznom tipu između kontinentalnog i modifikovanog sredozemnog režima padavina, uz pojavu letnjih lokalnih depresija sa nepogodama i pljuskovima [2], [3], [4].

Imajući u vidu prostornu raspodelu padavina i temperature vazduha, udaljenost, ekspoziciju i visinski položaj stanica u odnosu na sliv Tulovske i Vujanovačke reke, zatim ostale raspoložive podatke i informacije o jakim kišama, glavna klimatološka stanica Leskovac je merodavna za obe lokacije. Kada su u pitanju visine dnevnih kiša, za Tulovsku reku je merodavna stanica Kukavica [2], a za Vujanovačku, Borince [3].

Statistička analiza ekstrema - maksimalnih dnevnih padavina ($P_{max,dn}$), urađena je za stanice Leskovac (period 1949-2017), Kukavica (period 1954-2016) i Borince (period 1954-2016). Vrednosti su preuzete iz Meteoroloških godišnjaka RHMZS ili dobijene u okviru projekata [2], [3]. Podaci osmatranja za RC Kukavica (1438) i Kukavica (1250) su spojeni u jedan niz, radi dobijanja reprezentativnog niza za statističku analizu. Kvantili padavina su ocenjeni uobičajenim teorijskim raspodelama koje se koriste za ekstremne padavine. Usvojene raspodele verovatnoća dobijene su na osnovu testova saglasnosti (Kolmogorov-Smirnov, $n\omega^2$) i srednje kvadratne greške odstupanja teorijske od empirijske funkcije raspodele. Tabela 2 prikazuje karakteristične kvantile $P_{max,dnT}$ za razmatrane povratne periode na reprezentativnim stanicama.

Tabela 2. Kvantili dnevnih padavina $P_{max,dnT}$ (mm) dobijeni za naznačene teorijske raspodele verovatnoća na karakterističnim stanicama

T (год)	Leskovac (GEV)	Borince (GUMB)	Kukavica (GUMB)
10	54.6	51.5	73.8
20	63.7	56.2	83.2
50	77.1	62.3	95.3
100	88.4	66.8	104.3

Krive visina kiše (P) – trajanje kiše (tk) – povratni period (T) preuzete su iz literature [5] za stanicu Leskovac (ordinate raspodele verovatnoće sloja kiše - $P(tk, T)$). Definisani oblik kiše u vremenu na stanici Leskovac takođe je preuzet iz literature [5] – teorijske bezdimenzionalne sumarne krive jakih kiša verovatnoća pojave: 10%, 20%, 50%, 80%, 90%.

Sagledavanjem geološke građe, pedoloških karakteristika - zemljišta i vegetacionog pokrivača iz dostupnih podloga, utvrđeni su kompleksni hidrološko-zemljišno-biljni brojevi (CN) koji se koriste u modelu za određivanje efektivnih kiša. U proračunima su korišćeni uslovi nadprosečne vlažnosti zemljišta. Na slivu Tulovske reke do razmatranog profila, dobijen je broj $CN(III) = 87$, a Vujanovačke reke, $CN(III) = 82$.

2.3. Računske kiše

Postupak proračuna bruto i efektivnih kiša primenjen za sliv Tulovske i Vujanovačke reke se sastoji od sledećih koraka:

1. Preuzimanje definisanih krivih: visina kiše (P) – trajanje kiše (tk) – povratni period (T) iz literature [5] za stanicu Leskovac (ordinate raspodele verovatnoće sloja kiše - $P(tk, T)$);

2. Proračun bezdimenzionalnih – redukcionih krivih kiša za stanicu Leskovac, na osnovu kvantila dnevnih kiša ($P_{max,dn}(T)$) definisanih u literaturi [4]

$$R(t_k, T) = P(t_k, T) / P_{max, dn}(T), \quad (1)$$

3. Dobijanje visina kiše različitih trajanja $P(t_k, T)$ za sliv Tulovske (j-na 2 a) i Vujanovačke reke (j-na 2 b) primenom računskih visina dnevnih kiša za stanicu Kukavica odn. Borince, na ordinate redukcione krive jakih kiša za stanicu Leskovac

$$P(t_k, T)_{Tulovska} = R(t_k, T)_{Le} \cdot P_{max, dn}(T)_{Kukavica} \quad (2a)$$

$$P(t_k, T)_{Vujanovačka} = R(t_k, T)_{Le} \cdot P_{max, dn}(T)_{Borince} \quad (2b)$$

4. Preuzimanje definisanih oblika kiše u vremenu sa stanice Leskovac iz literature [4] – teorijskih bezdimenzionalnih sumarnih krivih jakih kiša sledećih verovatnoća pojave: 10%, 20%, 50%, 80%, 90%, pri čemu su kod ovako definisane verovatnoće, oblici napredne kiše 90% i 80%, oblik prosečne kiše je 50%, a zakasnele 20% i 10%;

5. Formiranje ordinata 24-časovnih kiša navedenih statističkih oblika kiše u vremenu $P_{24h(t, T)_{Tulovska, oblik r(h)}}$ i $P_{24h(t, T)_{Vujanovačka, oblik r(h)}}$;

6. Određivanje efektivne kiše metodom SCS-CN svih formiranih 24-časovnih kiša $Pe_{24h(t, T)_{Tulovska, oblik r(h)}}$ i $Pe_{24h(t, T)_{Vujanovačka, oblik r(h)}}$;

7. Proračun visine efektivne kiše u blokovima trajanja 1 čas svih formiranih 24-časovnih kiša $Pe_{24h(t, T)_{Tulovska, oblik r(h)}}$ i $Pe_{24h(t, T)_{Vujanovačka, oblik r(h)}}$.

2.4. Racionalna metoda

Vršna ordinata hidrograma oticaja u racionalnoj metodi se dobija poznatim izrazom:

$$Q = C \cdot i \cdot A, \text{ za } t_k \geq t_c$$

$$Q = C \cdot i \cdot A \cdot t_k / t_c, \text{ za } t_k < t_c \quad (3)$$

gde su: C – koeficijent oticaja, i – intenzitet kiše, A – površina sliva, a t_k i t_c su trajanje kiše i vreme koncentracije, redom.

Kompozitni koeficijent oticaja na slivu je određen iz tablica koje uz namenu površina, uzimaju u obzir i povratni period padavina, hidrološku grupu zemljišta i nagib terena [6]. Vrednosti koeficijenta oticaja C za sliv Tulovske reke su: 0.18 za kiše povratnog perioda T manjeg od 25 godina i 0.24 za kiše povratnog perioda T većeg od 25 godina.

Primena racionalne metode se ne preporučuje za slivove veće od 25 km². Prema tome, može se primeniti za sliv Tulovske reke,

površine 20.8 km², a ne može za sliv Vujanovačke reke površine 37.2 km².

Metoda je izvedena pod pretpostavkom o ravnomernom intenzitetu kiše, što se ne može zadovoljiti za kiše dužih trajanja. Primenjena varijanta proračuna vršne ordinate hidrograma oticaja Tulovske reke je za trajanje kiše jednako vremenu koncentracije.

Vreme koncentracije je procenjeno na osnovu niza izraza, od kojih je najpoznatiji izraz Kirpiča:

$$t_c = 0.0195 \cdot Lt^{0.77} \cdot SsI^{-0.385} \quad (4)$$

gde su: Lt – dužina toka od izvora do izlaza (m) i SsI – prosečan nagib sliva (m/m), a t_c se dobija u minutima (min). Izraz je izveden za ruralne slivove sa jasno izraženim rečnim tokovima i strmim nagibima.

Ostale primenjene jednačine za proračun vremena koncentracije su dobijene za bujične slivove na teritoriji Srbije [7]. Svi izrazi su dimenziono uređeni tako da se t_c dobija u časovima (h).

$$t_c = 0.0316 \cdot Lt^{0.933} \quad (5)$$

$$t_c = 0.502 \cdot A^{0.506} \quad (6)$$

$$t_c = 0.819 \cdot (Lt \cdot Lc / Iur^{0.5})^{0.376} \quad (7)$$

$$t_c = 0.47 \cdot Lt^{0.826} \cdot Iur^{-0.127} \quad (8)$$

$$t_c = 0.609 \cdot Lt^{0.898} \cdot IsI^{-0.17} \quad (9)$$

$$t_c = 0.56 \cdot Lt^{0.846} \cdot Iur^{-0.084} \cdot IsI^{-0.08} \quad (10)$$

gde su: Lt – dužina toka od izvora do izlaznog profila (km), A – površina sliva (km²), Lc - odstojanje od projekcije težišta sliva na glavni tok do izlaznog profila (km), Iur - uravnati nagib korita (%), IsI – prosečan nagib terena – srednji nagib padina u slivu (%).

Raspon vrednosti za pojedine parametre, na osnovu kojih su zavisnosti izvedene [7], iznosi: površina sliva $A=10-1268$ km²; dužina sliva po glavnom toku $Lt=6.40-93.20$ km; odstojanje od tačke u rečnom koritu, najbliže težištu sliva, do izlaznog profila $Lc=3.4-46.5$ km; uravnati pad dna rečnog korita $Iur=0.26-4.66$ %; srednji nagib terena u slivu $IsI=8.98-47.0$ % i odnos $Lt/Lc=1.41-3.15$. Morfometrijske karakteristike sliva Tulovske reke nalaze se unutar svih navedenih raspona vrednosti parametara.

2.5. Sintetički jedinični hidrogram

Sintetički jedinični hidrogram (SJH) oblika trougla za određeno trajanje kiše, konstruiše se za neizučene slivove na osnovu sledećih karakteristika: vremena podizanja (Tp) i vremena opadanja (Tr) koja čine bazu hidrograma (Tb) i maksimalne ordinate hidrograma (u_{max}). Vreme kašnjenja (tp) definiše se kao rastojanje između težišta hijetograma efektivne kiše i maksimalne ordinate SJH, što znači da je vreme podizanja hidrograma:

$$Tp = tp + tk/2 \quad (11)$$

Vreme kašnjenja se kod neizučenih slivova može dobiti na osnovu regionalnih veza između morfometrijskih karakteristika sliva i karakteristika SJH. Zbog primene regionalnih veza, za sliv Tulovske reke je korišćena modifikovana varijanta SCS sintetičkog jediničnog hidrograma oblika trougla po Jovanoviću i Brajkoviću .

Vreme kašnjenja je sračunato pomoću izraza [8]:

$$tp = a \cdot tp + t_0 \quad (12)$$

$$t_0 = 0.4 \cdot Lt (Lt \cdot Lc / lur^{0.5})^{0.086} \quad (13)$$

gde se vrednosti morfometrijskih karakteristika unose u sledećim jedinicama: Lt , Lc (km), lur (%), a t_0 i tp dobijaju u časovima (h); a je koeficijent koji zavisi od površine sliva.

Zatim se za razmatrano trajanje kiše računa vremena podizanja SJH prema izrazu (11), koje je povezano sa vremenom opadanja preko odnosa r , a time i sa bazom hidrograma:

$$Tr = r \cdot Tp \quad (14)$$

$$Tb = (1+r) Tp \quad (15)$$

Maksimalna ordinata SJH dobija se u $m^3/s/mm$ na bazi izraza:

$$u_{max} = 0.56 \cdot Tb/A \quad (16)$$

gde su vrednosti Tb u časovima, a A u km^2 .

2.6. Hidrogram oticaja od složene kiše

Konstruisani 1-časovni SJH može se primeniti na računsku kišu trajanja 24 sata, za koju su određene visine efektivne kiše u blokovima trajanja 1 sat za sve povratne periode i oblike računске kiše. Ordinate

hidrograma direktnog oticaja dobijaju se superpozicijom 24 elementarna hidrograma direktnog oticaja (zbirom konvolucije):

$$Qd_k = \sum_{j=1}^{24} u_{k-j+1} \cdot Pe_j, k=1, n+m-1 \quad (17)$$

gde je k – redni broj ordinate ($k=1, n+m+1$), u_j ordinata 1-časovnog SJH ($j=1, m$), Pe_j -visina efektivne kiše u časovnom bloku ($j=1, 24$).

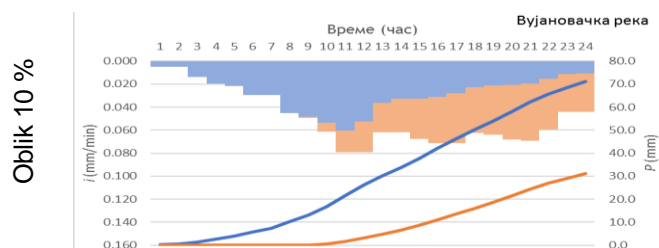
3. REZULTATI I DISKUSIJA ANALIZA I PRORAČUNA

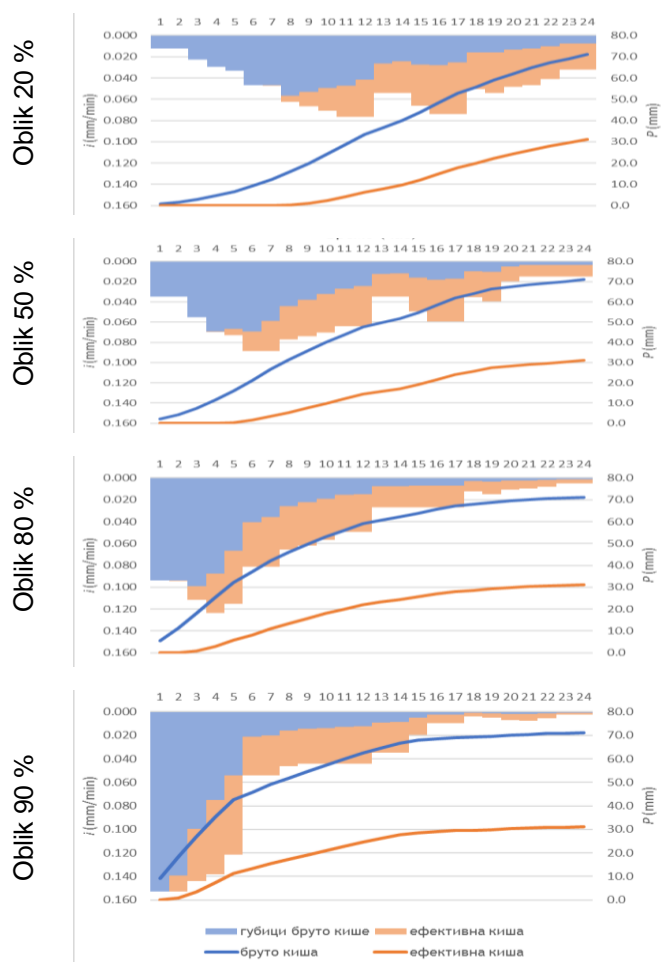
3.1. Računske kiše

Računske kiše za sliv Vujanovačke i Tulovske reke koje se koriste za ocenu velikih voda, predstavljaju kompromis u prostorno-vremenskom sagledavanju jakih kiša kraćih trajanja. Ključne su za analizu velikih voda na slivovima bez dugih podataka osmatranja padavina: visine maksimalnih dnevnih kiša su usvojene za stanicu Borince odn. Kukavica, a redukciona kriva jakih kiša i oblik kiše u vremenu za stanicu Leskovac.

Na Slici 2 prikazani su hijetogrami računskih bruto i neto kiša različitih oblika u vremenu i odgovarajuće sumarne linije bruto i neto kiša. Ilustracija je prikazana za povratni period 100 godina na Vujanovačkoj reci.

Napominje se da je za dobijanje efektivne kiše prema SCS-CN modelu, korišćen CN broj za uslove povećane prethodne vlažnosti, CN(III).





Slika 2. Hijetogrami računskih bruto i neto kiša različitih oblika dnevnih kiša na slivu Vujanovačke reke, povratni period 100 godina

3.2. Racionalna metoda

Tabela 3 sadrži vrednosti sračunate za vreme koncentracije Tulovske reke na osnovu izraza (4)-(10). Usvojena vrednost sa kojom je urađen proračun racionalnom metodom iznosi 3.5 h.

Tabela 3. Vreme koncentracije dobijeno prema različitim izrazima i usvojeno vreme u profilu I – Tulovska reka, propust na ž. Pruzi Beograd-Solun.

Profil	Vreme koncentracije t_c (h) prema jednačini						Usvojeno	
	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)		(10)
I	1.32	3.37	2.33	3.63	3.51	3.54	3.55	3.50

Vršne ordinate hidrograma oticaja od kiše trajanja 3.5 sata, sračunate za sve razmatrane povratne periode prikazuje Tabela 4. Visina računске kiše trajanja 3.5 sata, dobijena je preko odgovarajuće redukcione krive jakih kiša kraćih trajanja za stanicu Leskovac, primenjene na računsku visinu dnevne kiše na stanici Kukavica za svaki od razmatranih povratnih perioda.

Tabela 4. Vršne ordinate hidrograma velikih voda i drugi bitni elementi proračuna racionalnom metodom u profilu I – Tulovska reka, propust na ž. Pruzi Beograd-Solun.

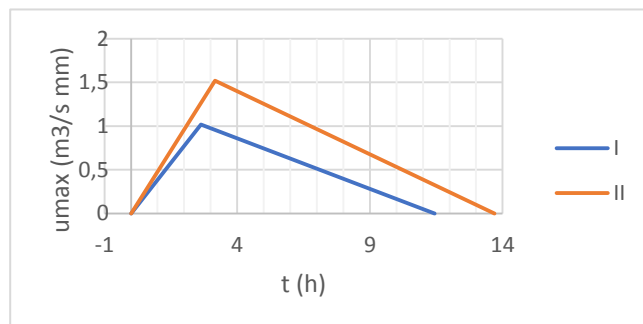
T (god)	100	50	20	10
C	0.24	0.24	0.18	0.18
$P_{max, dn}(T)$ (mm)	104.3	95.3	83.2	73.8
$R(3.5 h, T)$	0.692	0.686	0.675	0.664
$P(3.5 h, T)$ (mm)	72.2	65.3	56.2	49.0
i (mm/h)	20.6	18.7	16.0	14.0
Q_{max} (m ³ /s)	28.5	25.8	16.6	14.5

Dobijene vrednosti vršnih protoka po racionalnoj metodi mogu biti jedino indikativne, zbog dugačkog trajanja kiše (3.5 h) koje ne može zadovoljiti pretpostavku o ravnomernom intenzitetu kiše tokom trajanja kišne epizode.

3.3. Sintetički jedinični hidrogram

Slika 3 ilustruje dobijeni 1-časovni SJH Tulovsku i Vujanovačku reku, dok Tabela 5 sadrži vrednosti sračunatih karakteristika 1-časovnog SJH na bazi izraza (11)-(16). Vrednost koeficijenta a koji zavisi od površine sliva je očitana iz odgovarajućeg dijagrama [8], dok je za r usvojena vrednost preporučena za ruralne slivove velikog

nagiba. Morfometrijske karakteristike sliva koje su korišćene u proračunu, navedene su u Tabeli 1.



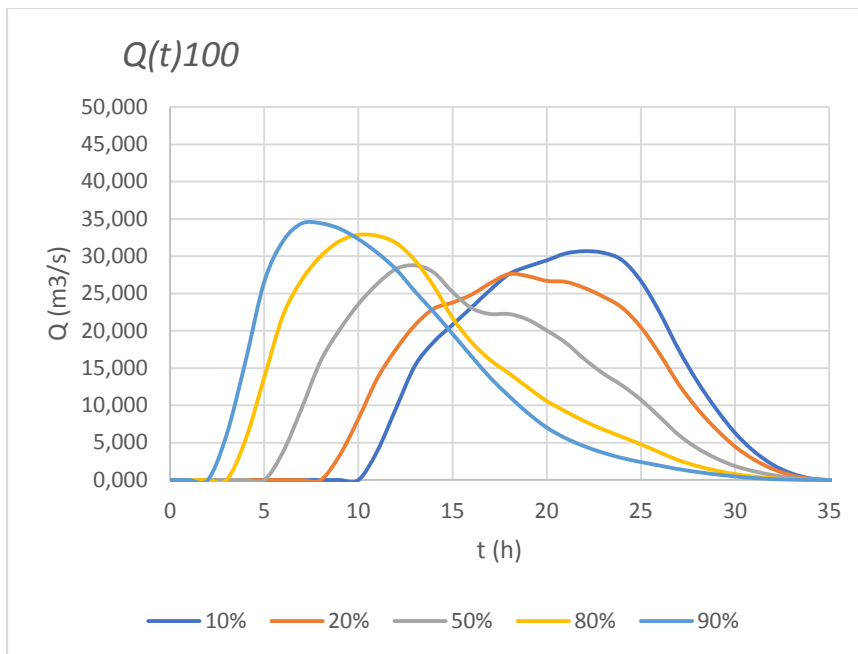
Slika 3. 1-časovni SJH za I - Tulovsku i II – Vujanovačku reku

Tabela 5. Elementi i rezultati proračuna karakteristika 1-časovnog SJH prema Jovanoviću i Brajkoviću

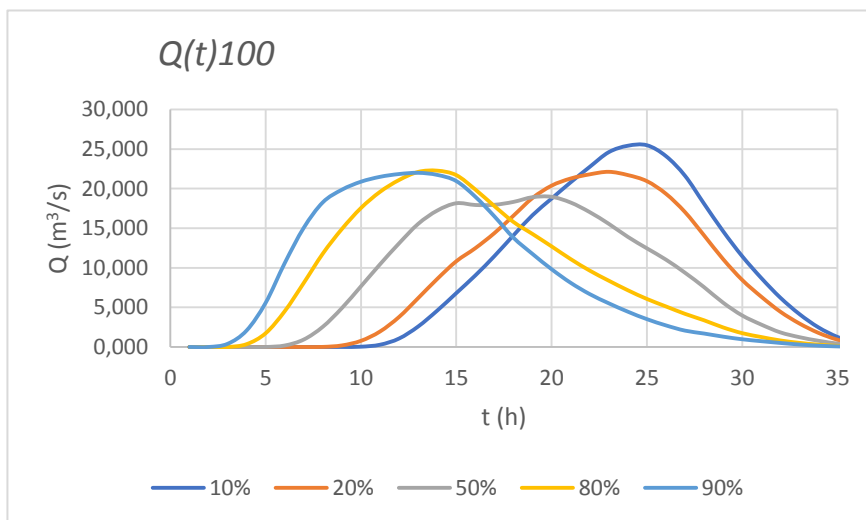
Profil	A	a	r	tk	t ₀	tp	Tp	Tb	U _{max}
	(km ²)	(-)	(-)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(m ³ /s mm)
I	20.8	0.325	3.33	1	1.82	2.14	2.64	11.44	1.018
II	37.2	0.34	3.33	1	2.32	2.66	3.16	13.70	1.520

3.4. Hidrogrami oticaja od složene kiše

Na Slici 4 i Slici 5 prikazani su hidrogrami dobijeni na osnovu konstruisanih 1-časovni SJH i računskih kiša trajanja 24 sata. Visine efektivne kiše u blokovima trajanja 1 sat za sve povratne periode i oblike računске kiše dobijene su metodom SCS-CN. Ordinate hidrograma direktnog oticaja dobijene superpozicijom 24 elementarna hidrograma direktnog oticaja, a računane su sa računskim korakom od 10 min, radi postizanja veće tačnosti proračuna.



Slika 4. Računski hidrogrami velike vode povratnog perioda 100 godina za različite oblike kiše u vremenu, Tulovska reka



Slika 5. Računski hidrogrami velike vode povratnog perioda 100 godina za različite oblike kiše u vremenu, Vujanovačka reka

3.5. Merodavni vršni protok hidrograma oticaja od složene kiše

Prema zadacima koji se rešavaju u dva razmatrana profila, veličina koja je bitna za dimenzionisanje objekata jeste maksimalni – vršni protok hidrograma oticaja. Kada je u pitanju povratni period merodavnog protoka, to je 50 godina za dimenzionisanje objekta i 100 godina za kontrolni proračun. U Tabeli 6 su navedeni računski protoci dobijeni za složenu kišu trajanja 24 h, za dva karakteristična povratna perioda i sve razmatrane oblike kiše.

Tabela 6. Vršni računski protoci razmatranih povratnih perioda QT od složene kiše trajanja 24 sata, za različite statističke oblike kiše u vremenu I- Tulovska, II- Vujanovačka reka

Profil	Oblik kiše	10%	20%	50%	80%	90%
I	Q50 (m ³ /s)	27.6	25.4	25.3	29.0	30.1
	Q100 (m ³ /s)	31.1	28.0	29.2	33.3	34.9
II	Q50 (m ³ /s)	22.7	19.6	16.8	19.6	19.4
	Q100 (m ³ /s)	25.5	22.1	19.0	22.4	22.1

Merodavni protoci za dimenzionisanje objekata na Tulovskoj i Vujanovačkoj reci su istaknuti podebljanjem vrednosti u Tabeli 6 i predstavljaju najveće dobijene vrednosti za sve oblike kiše u vremenu.

4. ZAKLJUČAK

Visine maksimalnih dnevnih kiša predstavljaju podatak osmatranja koji se često koristi u analizi velikih voda. Korišćenje kvantila dnevnih kiša u modelima padavine-oticaaj na malim neizučenim slivovima, zahteva detaljniju obradu i prelazak na računski kiše kraćih trajanja. U radu je prikazan proračun za dva mala neizučena sliva, u kome je primenjen i oblik kiše u vremenu za dobijanje hidrograma oticaja od složene dnevne kiše. Zavisno od primenjenog oblika hijetograma efektivne kiše, rezultati modeliranja protoka u okviru povratnih perioda 50 i 100 godina, međusobno se razlikuju do 30%, zavisno od primenjenog oblika kiše.

U profilu na Tulovskoj reci, za koju je primenjena i racionalna metoda, dobijene vrednosti pedesetogodišnje i stogodišnje velike vode odgovaraju najmanjim vrednostima dobijenim vodeći računa o obliku dnevne kiše. Dakle, razlikuju se do 30% u odnosu na najveće, usvojene vrednosti. Uzrok pojave ove razlike je obično nerealno dugo

trajanje kiše (3.5 h) u kome se ne može obezbediti ravnomeran intenzitet kiše - pretpostavka pod kojom je metoda izvedena, ali i različite metode za ocenu vremena koncentracije, koje diktiraju trajanje kiše.

U radu je pokazano da se dobijeni rezultati ocene protoka mogu značajno razlikovati i u okviru jedne metode, ako se ne vodi računa o vremenskoj raspodeli računске kiše. Međutim, trebalo bi imati na umu i sledeće: "... Metode za neizučene slivove mogu dati samo grube, orijentacione ocene računskih velikih voda za profile na kojima nisu vršena merenja. Na takvim profilima, još u fazi studije, treba postaviti limnigraf i pluviograf u slivu. Dovoljno je 2 do 3 godine osmatranja da se odredi empirijski jedinični hidrogram, a time i mnogo pouzdanije ocene merodavnih velikih voda." 8

5. IZJAVA

Istraživanja prikazana u radu su delom finansirana u okviru projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

6. LITERATURA

- [1] Zakon o vodama <https://www.mgsi.gov.rs/lat/dokumenti/zakon-o-vodama>
- [2] Radivojević, D., Blagojević, B., Mihailović, V., Blagojević, J. (2019): Hidrološka studija - Hidrološke podloge za potrebe izrade rasteretnog kanala Tulovske reke. Institut za građevinarstvo i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu.
- [3] Radivojević, D., Blagojević, B., Mihailović, V. (2020): Hidrološka studija Vujanovačke reke do profila lokacije propusta na ukrštanju kp.br.7956 i kp.br.7941 i kp.br.7944 KO Brestovac, Bojnik, Consult biro, Niš.
- [4] Blagojević, B., Potić, O. i Radivojević, D. (2008) Korišćenje hidroloških metoda za neizučene slivove na primeru proračuna velikih voda Tulovske reke, Nauka i praksa br. 11, str. 75-82
- [5] Prohaska, S., Bartoš-Divac, V., Koprivica, A., Đukić, D., Ilić, A., Đatović, S., Kapor, B., Marjanović, S., Vukelić, V., Božinović, N. (2014): Intenziteti jakih kiša u Srbiji. Institut za vodoprivredu 'Jaroslav Černi'. Beograd

- [6] Letić, Lj., Ristić, R., Malušević, I. (2004): Proračun merodavne količine vode za evakuacione objekte šumskih puteva. Šumarstvo br. 4, Oktobar-decembar 2004, str. 87-95
- [7] Ristić, R. (2006): Vreme koncentracije na bujičnim slivovima u Srbiji. Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd. 2006. br. 93. str. 7-21
- [8] Jovanović, S. (1989): Hidrologija. Tehničar 6. Građevinski priručnik. Građevinska knjiga, Beograd.