

POMEMBNOST POZNAVANJA ČASOVNE PORAZDELITVE PADAVIN ZNOTRAJ PADAVINSKEGA DOGODKA V VODARSKI PRAKSI

IMPORTANCE OF KNOWING TEMPORAL DISTRIBUTION OF PRECIPITATION WITHIN PRECIPITATION EVENT IN WATER ENGINEERING

Domen Dolšak, mag. inž. ok. grad.

domen.dolsak@gmail.com

asist. Nejc Bezak, univ. dipl. inž. grad.

nejc.bezak@fgg.uni-lj.si

doc. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.

mojca.sraj@fgg.uni-lj.si

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,

Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Znanstveni članek

UDK 519.2.556.06(497.4)

Povzetek | Poznavanje časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka je pomembno pri hidrološkem modeliranju, načrtovanju hidrotehničnih objektov, odvodnjavanju, zaščiti pred poplavami ipd. Napačna ocena oziroma neupoštevanje pravilne časovne razporeditve padavin namreč lahko povzroči velike negotovosti v izračunih projektnih pretokov. V prispevku so predstavljene Huffove krivulje, ki opisujejo časovno porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka. Analize so bile opravljene za 30 padavinskih postaj v Sloveniji, kjer meritve izvaja Agencija RS za okolje. Rezultati so prikazani v grafični in tabelarni obliki ter omogočajo relativno preprosto uporabo v praksi.

Ključne besede: Huffove krivulje, hidrološko modeliranje, projektni pretoki, statistična analiza, časovna porazdelitev padavin, Slovenija

Summary | Knowledge of temporal distribution of precipitation within rainfall event is crucial for reliable hydrological modelling, planning of hydraulic structures, drainage, flood protection, etc. Inaccurate estimation or even ignorance of proper temporal distribution of precipitation cause uncertainties in the calculations of design flows. Huff curves, which are presented in the article, are describing temporal distributions of precipitation within rainfall events. Analyses were done for 30 precipitation stations in Slovenia, where measurements are made by the Slovenian Environment Agency (ARSO). Results are presented in graphical and table form and they enable fairly easy usage in practice.

Key words: Huff curves, hydrological modelling, design discharge, statistical analysis, temporal rainfall distribution, Slovenia

1 • UVOD

Časovna porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka je izrednega pomena za hidrološko modeliranje in določanje projektnih pretokov, saj ima razporeditev padavin pomemben vpliv na čas nastopa visokovodne konice in tudi na njeno velikost. Poznavanje teh podatkov je še zlasti pomembno v primerih, ko nimamo na voljo merjenih podatkov o pretokih, da bi model umerili, in so rezultati hidrološkega modela odvisni predvsem od pravilno določenega sintetičnega histograma padavin ((Ball, 1994), (Dirnbek, 2009), (Šraj, 2010)). Sintetični histogram padavin je torej eden najpomembnejših podatkov pri določanju projektnih pretokov (Ball, 1994). Če imamo podatke o pretokih, pa lahko za določitev projektnih pretokov uporabimo tudi verjetnostne analize (npr. (Šraj, 2012), (Bezak, 2014)).

Za ugotavljanje časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka je Huff (Huff, 1967) predstavil družino normiranih brezdimenzijskih krivulj, ki jih imenujemo Huffove krivulje. To so vsotne brezdimenzijske krivulje, ki nam podajo informacije o časovni razporeditvi padavin znotraj padavinskega dogodka in s katerimi lahko med drugim izdelamo tudi sintetične normirane histograme padavin. Huffove krivulje so se v svetu le redko izdelovale, saj je za njihovo izdelavo treba analizirati velike količine padavinskih podatkov in imeti seveda določen algoritem oziroma program, ki to analizo opravi (Bonta, 2004a). Tudi v Sloveniji doslej takih krivulj nismo imeli sistematično izdelanih.

Huffove krivulje so v svojih raziskavah uporabili različni tuji raziskovalci. Bonta in Shalham (Bonta, 2003) sta ugotavljala, koliko neodvisnih padavinskih dogodkov potrebujemo, da dobimo Huffove krivulje, ki so statistično značilne za neko padavinsko postajo. Pri primerjavi Huffovih krivulj za isto postajo sta ugotovila, da med krivuljami, izdelanimi s 120 neodvisnimi dogodki, in kontrolnimi krivuljami, izdelanimi s 300

neodvisnimi dogodki, ni večjih razlik. Pri izdelavi Huffovih krivulj iz manjšega vzorca neodvisnih padavinskih dogodkov pa so se začela pojavljati odstopanja od kontrolnega vzorca. Najbolj zanesljive določitve o časovni porazdelitvi padavin znotraj padavinskega dogodka so torej tiste, ki temeljijo na podatkih za daljše časovno obdobje. Prav tako je Bonta (Bonta, 2004b) ugotavljal razlike med letnimi časi in njihov vpliv na obliko Huffovih krivulj. Na podlagi analize za kraj Invercargill na Novi Zelandiji je ugotovil, da razlike obstajajo in da je smotrno izdelati Huffove krivulje tudi za različne letne čase.

Pri ugotavljanju razlik časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka glede na trajanje dogodka je Nieves (Nieves, 2005) ugotovil, da so padavine krajšega trajanja (do 12 ur) mnogo bolj časovno različno porazdeljene kot tiste, ki trajajo dalj časa (12 ur ali več). To pomeni, da se pri padavinah daljšega trajanja pojavlja neki vzorec časovne porazdelitve padavin, pri kratkotrajnih padavinah pa ta vzorec časovne porazdelitve ni tako zelo zaznaven. Nadalje so Vandenberghe in sodelavci (Vandenberghe, 2010) pri izdelavi Huffovih krivulj ugotavljali občutljivost krivulj za velikost časovnega koraka in ugotovili, da so Huffove krivulje dokaj neobčutljive za povečanje časovnega koraka. Vseeno pa so zaradi izdelave normiranih sintetičnih histogramov, ki jih lahko pridobimo iz Huffovih krivulj, predlagali, da se uporablja normirani časovni korak 0,05 oziroma 5 odstotkov.

Izbira parametrov, ki določajo neodvisni padavinski dogodek, je seveda poljubna in je odvisna od tega, kaj nas zanima. Huff (Huff, 1967) je za neodvisni padavinski dogodek vzel obdobje, ko je merilna postaja beležila padavine, a pred začetkom in po koncu beleženja ni bilo padavin vsaj 6 ur ali več (MDPD) (ang. minimum dry period duration), padavine pa so morale trajati vsaj 3 ure. Skupna količina padavin je morala

presegati 12,7 mm. Mnogi drugi avtorji pa so zaradi specifičnosti podnebja, za katero so izdelovali Huffove krivulje, vzeli drugačne parametre. Wu in sodelavci (Wu, 2006) so za analizo podatkov za Hongkong uporabili MDPD 2 uri in minimalno količino padavin 50 mm. Zanimale so jih namreč samo padavine, ki lahko povzročijo poplave. Azli in Ramachandra (Azli, 2010) pa sta pri analizi podatkov za Malezijo uporabila MDPD 3 ure, minimalno količino padavin 25,4 mm in upoštevala še dodaten pogoj, da mora biti minimalna urna intenziteta padavin večja kot 1 mm.

S Huffovimi krivuljami se lahko z različnimi definicijami padavinskega dogodka ali pa s primerjanjem različnih obdobij analizirajo razlike med letnimi časi, časovnimi obdobji itd. Bonta (Bonta, 2004b) je na primer ugotovil, da imajo padavinski dogodki, v katerih je padlo manj kot 12,7 mm padavin, večji raztros. Prav tako je zaznal razlike med Huffovimi krivuljami, kjer so upoštevali samo poletne in samo zimske padavine.

Časovna porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka je torej zagotovo eden od pomembnih podatkov pri hidrološkem modeliranju in določanju projektnih pretokov. Ker v Sloveniji do sedaj analize časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka še niso bile opravljene, se v praksi pri izdelavi sintetičnega histograma padavin upošteva le pravilna količina padavin, ne pa tudi najbolj verjetna razporeditev padavin znotraj dogodka. To seveda vpliva na rezultate hidroloških modelov in s tem na projektne pretoke. Zato je bil glavni namen raziskave izdelati Huffove krivulje za Slovenijo. Cilji raziskave so bili naslednji: (1) izdelati algoritem, ki bo analiziral 5-minutne meritve padavin in ločil posamezne padavinske dogodke, (2) napisati algoritem, ki bo izdelal Huffove krivulje in dodatne statistične analize padavinskih dogodkov za posamezno padavinsko postajo, (3) z analizo dolgoletnih nizov meritev ugotoviti vzorec časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka za 30 padavinskih postaj, (4) analizirati in primerjati rezultate.

ijo analiziranih postaj na zemljevidu Slovenije. Osnovne značilnosti obravnavanih postaj pa so prikazane v preglednici 1. Pogoj pri izbiri postaj je bil vsaj 10-letni zvezni niz meritev. Tako smo skupaj analizirali podatke s 30 padavinskih postaj oz. 1054 let meritev. Za vsako postajo iz preglednice 1 smo izdelali Huffove krivulje, ki so

2 • PREGLED UPORABLJENIH PODATKOV

Analizirali smo padavinske podatke s 30 padavinskih postaj, kjer meritve opravlja Agencija RS za okolje (ARSO). Za meritve padavin s 5-

minutnim časovnim korakom se uporabljajo ombrografi, ki omogočajo zapisovanje časa in količine dežnih padavin. Slika 1 prikazuje lokac-

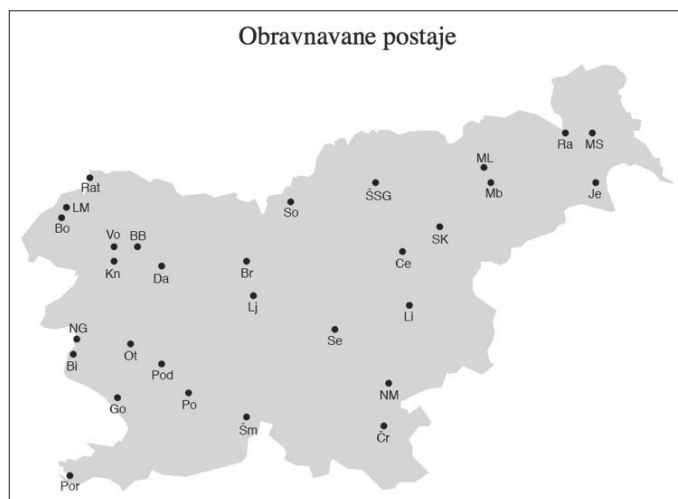
na voljo tudi v tabelarični obliki (Dolšak, 2015). V nadaljevanju prispevka podajamo primer

izdelave Huffovih krivulj za postajo Ljubljana–Bežigrad, rezultati za preostale postaje, prika-

zane na sliki 1, pa so predstavljeni v ((Dolšak, 2012) in (Dolšak, 2015)).

	Kratica	Nadmorska višina (m)	Obravnavano obdobje	Dolžina niza (let)
Bilje	Bi	55	1991-2014	23
Bohinjska Bistrica	BB	507	2002-2014	12
Bovec	Bo	452	1970-2014	44
Brnik	Br	364	1970-2014	44
Celje	Ce	244	1970-2014	44
Črnomelj	Čr	157	1970-2014	44
Davča	Da	960	1999-2014	15
Godnje	Go	320	1992-2014	22
Jeruzalem	Je	345	1976-2014	38
Kneške Ravne	Kn	752	1975-2014	39
Lisca	Li	943	1984-2014	30
Ljubljana	Lj	299	1948-2014	66
Log pod Mangartom	LM	650	1999-2014	15
Maribor	Mb	275	1950-2014	64
Maribor Letališče	ML	264	1999-2014	15
Murska Sobota	MS	188	1970-2014	44
Nova Gorica	NG	112	1970-2014	44
Novo mesto	NM	220	1970-2014	44
Otlica	Ot	840	1999-2014	15
Podkraj	Pk	799	1984-2014	30
Portorož	Por	2	1992-2014	22
Postojna	Po	533	1970-2014	44
Radenci	Ra	203	1976-2014	38
Rateče	Rat	864	1975-2014	39
Šmarata	Šm	599	1975-2014	39
Sevno	Se	550	1975-2014	39
Slovenske Konjice	SK	330	1975-2014	39
Šmartno pri Slovenj Gradcu	ŠSG	445	1970-2014	44
Solčava	So	658	1990-2014	24
Vogel	Vo	1535	1982-2014	32

Preglednica 1 • Seznam obravnavanih padavinskih postaj z nekaterimi osnovnimi značilnostmi



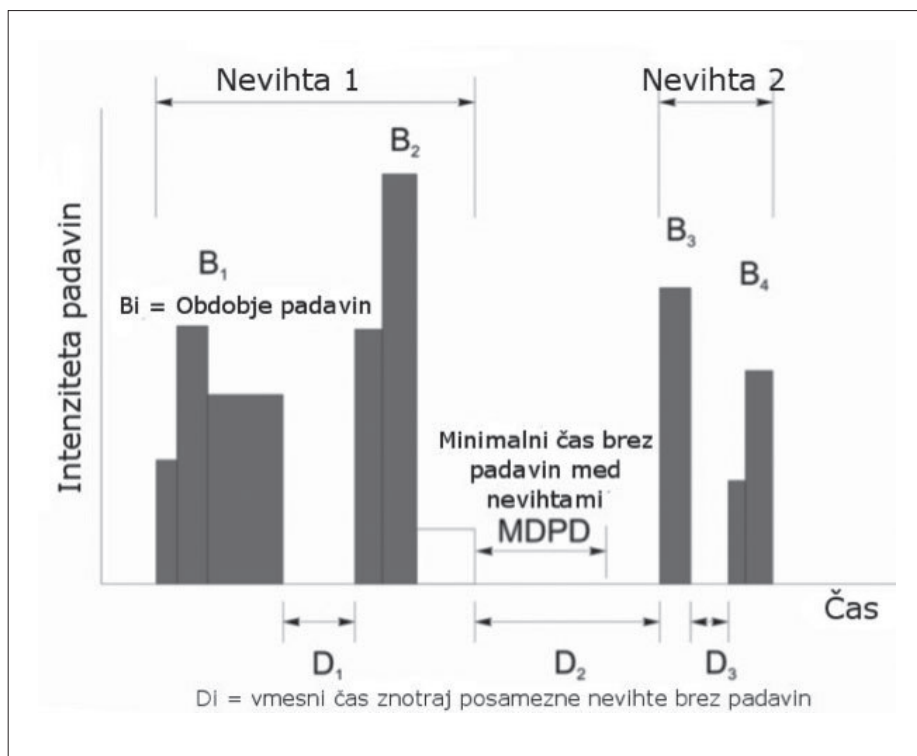
Slika 1 • Mesta obravnavanih padavinskih postaj

3 • METODOLOGIJA IZRAČUNA HUFFOVIH KRIVULJ

Huff (Huff, 1967) je na podlagi podatkov z 49 padavinskih postaj, razporejenih na območju velikosti okoli 1000 km² v zvezni državi Illinois, izdelal brezdimenzijske vsotne krivulje padavin, ki prikazujejo časovno porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka.

Najprej je iz podatkov 12-letnega obdobja meritev izločil posamezne neodvisne padavinske dogodke in jih razvrstil v štiri kvartile. V številnih tehniških in naravoslovnih vedah, med drugim tudi v hidrologiji, se beseda kvartil uporablja za označevanje razredov. Kvartili so sicer vrednosti, ki delijo urejen vzorec na 4 enake razrede. Za neodvisni padavinski dogodek je Huff določil obdobje, ko je merilna postaja beležila padavine, a pred začetkom beleženja in po koncu ni bilo padavin vsaj 6 ur ali več (MDPD). Padavine pa so morale trajati vsaj 3 ure ali več. Slika 2 prikazuje posamezne parametre, ki so uporabljeni pri zagotavljanju neodvisnosti zaporednih padavinskih dogodkov. Dodaten pogoj za neodvisni padavinski dogodek je bil, da je skupna količina padavin presežala 12,7 mm (0,5 palca). S tako definicijo je izločil 261 neodvisnih padavinskih dogodkov. Prednost Huffovih krivulj pa je ravno v tem, da z različnimi izbirami MDPD pridobimo različne tipe dogodkov oziroma neviht.

Huff ((Huff, 1967), (Huff, 1990)) je torej vse padavinske dogodke razdelil v 4 kvartile. Kvartili so bili definirani glede na trajanje neodvisnega padavinskega dogodka, in sicer so se v prvi kvartil uvrstili dogodki s trajanjem od 3 do 6 ur, v drugem kvartilu so bili dogodki s trajanjem od 6 do 12 ur, v tretjem kvartilu so bili dogodki s trajanjem od 12 do 24 ur in v četrtem kvartilu so bili dogodki s trajanjem 24 ur ali več. Huff se je za razdelitev v kvartile odločil zaradi dejstva, da se časovna porazdelitev padavin spreminja s trajanjem padavinskega dogodka.



Slika 2 • Shematični prikaz časov, ki definirajo neodvisni padavinski dogodek (prirejeno po (Bonta, 2004))

Huffove krivulje torej predstavljajo družino brezdimenzijskih krivulj, ki so razdeljene glede na verjetnost in kvartil, v katerem se nahajajo. Tako je v vsakem kvartilu skupaj 9 krivulj, ki predstavljajo percentile, in sicer vse od 10. do 90. percentila (pri razlagi besede percentil velja analogija z razlago besede kvartil, ki smo jo podali zgoraj). Skupaj tako dobimo za vsako postajo 36 krivulj (Dolšak, 2012). 80-percentilna krivulja tako npr. predstavlja mejo, pod katero je 80 odstotkov vseh padavinskih dogodkov, 20-percentilna krivulja

pa mejo, nad katero je 80 odstotkov vseh padavinskih dogodkov. Dodatne informacije o nekaterih tehničnih podrobnostih izdelave krivulj je podal Dolšak ((Dolšak, 2012) in (Dolšak, 2015)).

Huff (Huff, 1967) je z analizo teh krivulj za Illinois spoznal, da konica padavin ne nastopi v vseh kvartilih ob istem času, ampak se po kvartilih konica padavin premika. Ugotovil je, da v prvem kvartilu največja količina padavin pade v prvi tretjini trajanja padavinskega dogodka, v četrtem kvartilu pa v zadnji tretjini.

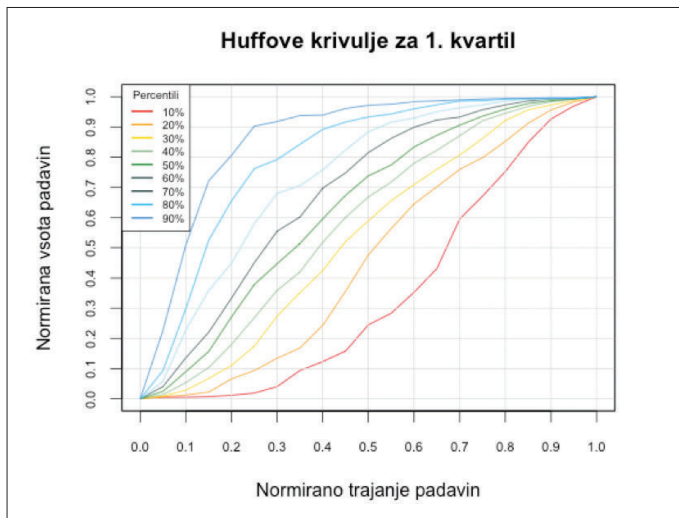
4 • PRIMER HUFFOVIH KRIVULJ ZA METEOROLOŠKO POSTAJO LJUBLJANA-BEŽIGRAD

V nadaljevanju bomo natančneje prikazali postopek izdelave in rezultate Huffovih krivulj na primeru meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad. V raziskavi smo analizirali podatke o padavinah s 5-minutnim časovnim korakom za obdobje med letoma 1948 in 2014. Za

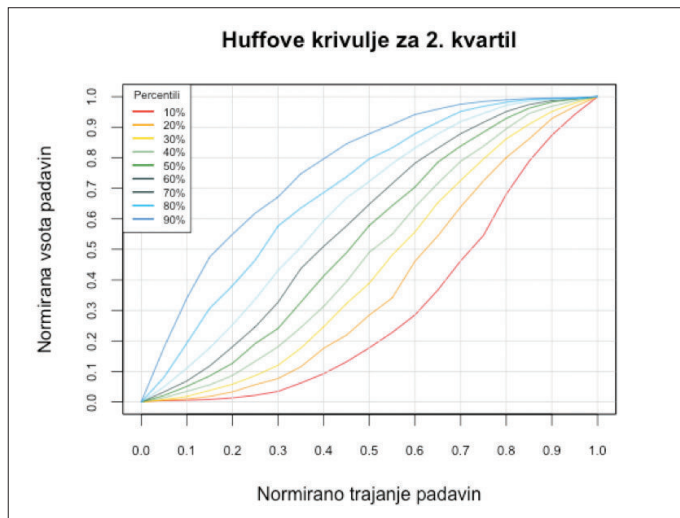
definiranje neodvisnega padavinskega dogodka smo izbrali enake kriterije, kot jih je definirala Huff (Huff, 1967): dogodek je moral trajati vsaj 3 ure, pred njim in po njem je moralo preteči vsaj 6 ur, ko ni bilo padavin, in skupna količina padavin v enem dogodku je morala preseči

12,7 mm. Za definiranje kvartilov smo prav tako uporabili enake pogoje, kot jih je predlagal Huff, in so opisani v poglavju 3.

Na slikah od 3 do 6 so predstavljene Huffove krivulje za vse štiri kvartile glede na trajanje padavinskih dogodkov za postajo Ljubljana-Bežigrad. Slika 3 prikazuje rezultate za trajanje padavinskih dogodkov od 3 do 6 ur, slika 4 za trajanja od 6 do 12 ur, slika 5 za trajanja od 12 in 24 ur ter slika 6 za trajanja, daljša od 24 ur. Podobno kot je ugotovil Huff



Slika 3 • Huffove krivulje za 1. kvartil za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

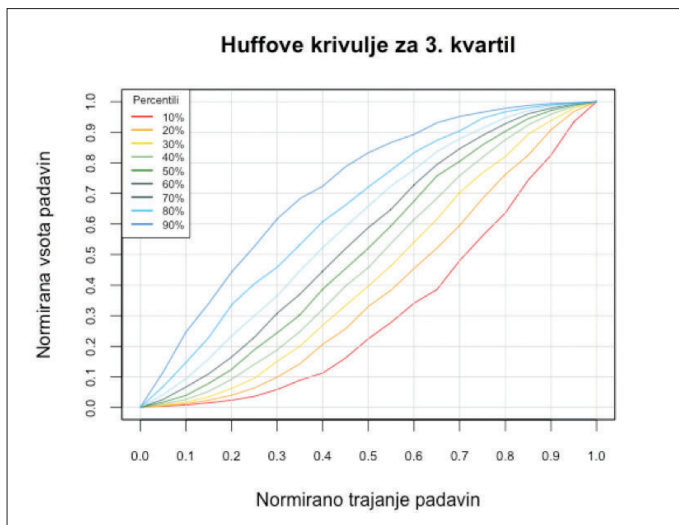


Slika 4 • Huffove krivulje za 2. kvartil za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

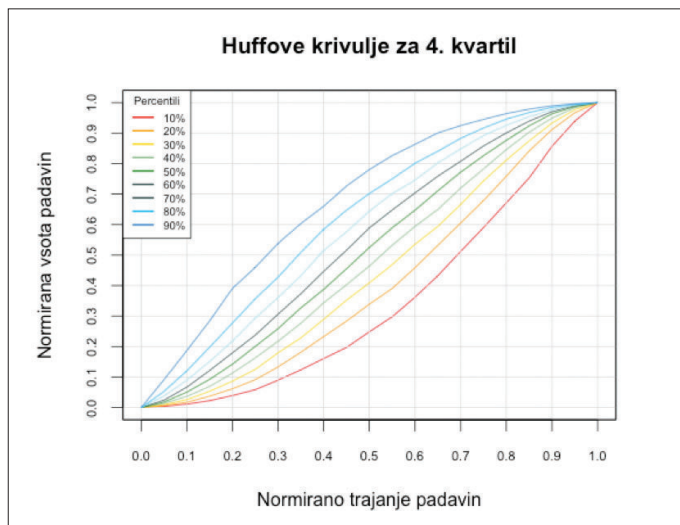
za zvezno državo Illinois, se konica padavin z vsakim nadaljnjim kvartilom premakne bolj proti koncu padavinskega dogodka. Ta premik pa za Ljubljano ni tako zelo očiten. Premik pa je veliko bolj očitin pri 10- in 90-percentilnih krivuljah. V prvem kvartilu je tako pri 90-percentilni krivulji opaziti, da v prvih 20 odstotkih časa pade že več kot 80 odstotkov skupne količine padavin. To pomeni, da je imelo 10 odstotkov padavinskih dogodkov zelo očitno konico intenzitete padavin v prvi petini trajanja. Če pogledamo, kakšni padavinski dogodki se dejansko uvrstijo v prvi kvartil, vidimo, da so v njem padavinski dogodki, ki trajajo od 3 do 6 ur in v katerih pade vsaj 12,7 mm

padavin. Iz tega lahko sklepamo, da v povprečju v 10 odstotkov padavinskih dogodkov, ki trajajo od 3 do 6 ur, pade minimalno 10 mm padavin najkasneje v prvi uri trajanja. Če primerjamo položaj 90-percentilne krivulje v prvem in četrtem kvartilu, lahko opazimo, da ima ta krivulja v prvem kvartilu bistveno bolj konveksno obliko kot v četrtem. To pomeni, da je v četrtem kvartilu manj zelo ekstremnih padavinskih dogodkov, kjer bi v prvih 20 odstotkih časa padlo kar 80 odstotkov vseh padavin v primerjavi s prvim kvartilom. Analogno lahko pri 10-percentilnih krivuljah opazimo, da je oblika pri prvem kvartilu mnogo bolj konkavna kot pri četrtem kvartilu.

Pri primerjavi Huffovih krivulj za Ljubljano med kvartili opazimo tudi, da je razlika med padlimi padavinami med 10- in 90-percentilno krivuljo v prvem kvartilu ob normiranem času 0,5 enaka 0,73 (slika 3), v drugem kvartilu 0,68 (slika 4), v tretjem kvartilu 0,61 (slika 5) in v četrtem kvartilu 0,53 (slika 6). To pomeni, da so padavine v Ljubljani v četrtem kvartilu veliko bolj homogene kot tiste v prvem. Do podobnih zaključkov je prišel tudi Huff (Huff, 1970), ki je ugotovil, da so si dolgotrajne padavine med seboj bistveno bolj podobne kot kratkotrajni nalivi.



Slika 5 • Huffove krivulje za 3. kvartil za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad



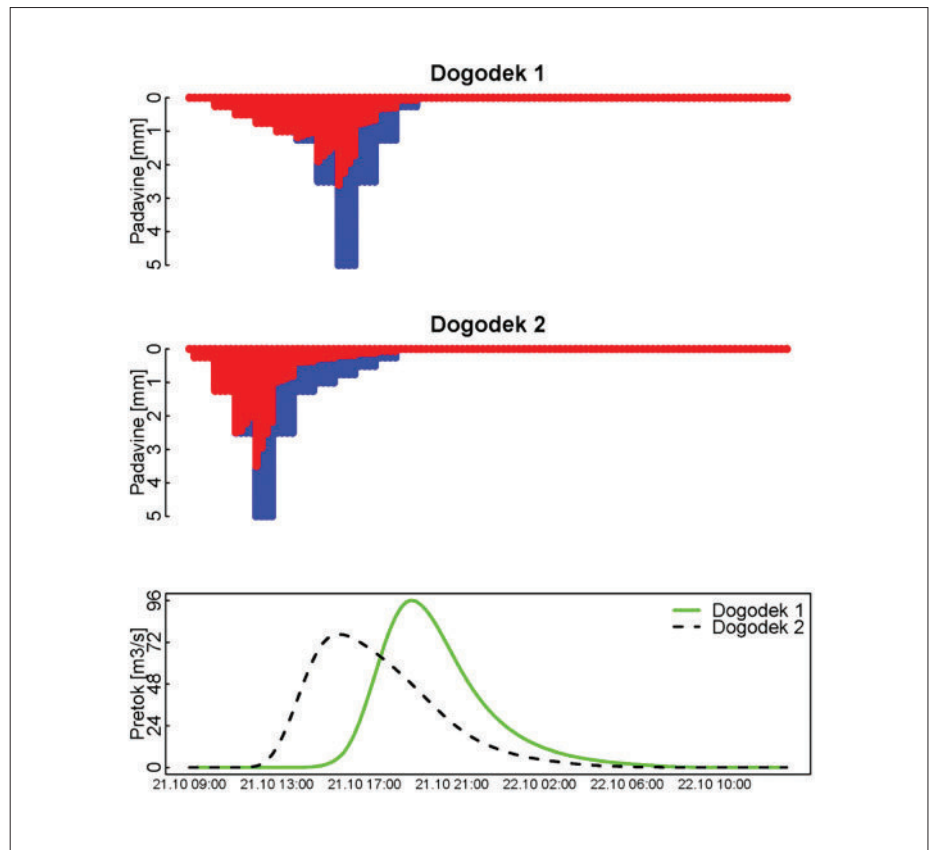
Slika 6 • Huffove krivulje za 4. kvartil za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

5 • PRIKAZ VPLIVA ČASOVNE PORAZDELITVE PADAVIN NA REZULTATE HIDROLOŠKIH MODELOV

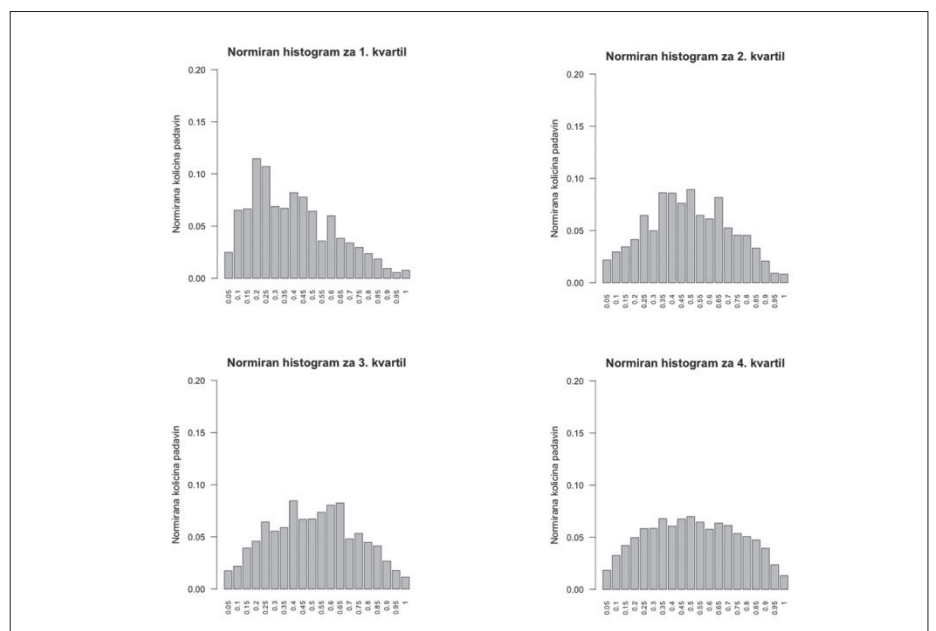
Za prikaz pomembnosti poznavanja razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka smo uporabili naslednje hipotetične podatke: količina padavin P je znašala 61 mm, za izračun izgub smo uporabili SCS-model padavinskih izgub, kjer so začetne izgube padavin znašale 9,4 mm, parameter CN pa je bil 84. Skupne padavinske izgube so tako znašale 33,9 mm (slika 7), v tem so zajeti vplivi infiltracije (Dirnbek, 2009), prestrezanja padavin (Šraj, 2009) in zadrževanja vode na površini. Pri tem je treba poudariti, da padavine z vidika hidrološkega kroga niso »izgubljene«, temveč zgolj ne prispevajo k površinskemu odtoku, in se je zato v hidrološki praksi uveljavila besedna zveza padavinske izgube. Za izračun površinskega odtoka smo uporabili metodo sintetičnega hidrograma enote (metoda Tulsa District). Velikost porečja je znašala 69 km², povprečni naklon porečja pa 1,5 ‰. Za modeliranje površinskega odtoka je bil uporabljen prosto dostopni program HEC-HMS (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>), ki se v svetu in Sloveniji zelo pogosto uporablja v hidrološki praksi. Odziv porečja na dva padavinska dogodka z enako količino padavin, a različno časovno porazdelitvijo, je prikazan na sliki 7, kjer so padavinske izgube označene z rdečo barvo. Opazimo lahko izrazito odstopanje površinskih odtokov. Razlika v velikosti konice pretoka Q_{max} , kot posledica dveh padavinskih dogodkov, znaša skoraj 20 m³/s oziroma približno 25 % (glede na dogodek 2). Prav tako nastane razlika v času nastopa konice – v primeru dogodka 1 konica pretoka nastopi 3,5 ure kasneje kot v primeru dogodka 2.

Prikazani primer dokazuje, da sta čas nastopa in tudi velikost konice pretoka odvisna od časovne razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka oz. sintetičnega histograma padavin. Posledično lahko sklepamo, da nepravilna časovna porazdelitev podatkov o padavinah privede do izrazito negotove ocene projektnih pretokov. To pa v praksi pomeni precenjevanje ali podcenjevanje projektnih pretokov oz. nepotrebno podražitev gradnje ali pa v slabšem primeru celo poddimenzionirane objekte.

V prikazanem primeru je padavinski dogodek trajal 11 ur. To trajanje ga glede na predhodno razdelitev padavin razvršča v 2. kvartil, ki združuje padavinske dogodke, ki so trajali od 6



Slika 7 • Prikaz vpliva časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka na hidrogram površinskega odtoka



Slika 8 • Primer brezdimenzijskih histogramov padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

do 12 ur. Ob predpostavki, da naše porečje leži v bližini postaje Ljubljana–Bežigrad, lahko za vsak kvartil posebej izdelamo brezdimenzijske

histograme padavin (slika 8) (Dolšak, 2015), ki jih v praksi enostavno množimo z dejansko količino padavin in dobimo najverjetnejše

synetične histograme padavin. Tako bomo zagotovo dobili zanesljivejše rezultate hidroloških modelov in s tem projektnih pretokov.

6 • SKLEPI

V prispevku smo predstavili postopek izdelave Huffovih krivulj in njihovo uporabo pri hidrološkem modeliranju, kjer je treba vedeti, kakšna je značilna časovna razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka za določeno padavinsko postajo, saj ta vpliva na to, kdaj bo nastopil čas visokovodne konice pretoka in kako velika bo. Časovna razporeditev padavin je lepo razvidna iz Huffovih krivulj, ki predstavljajo družino brezdimenzijskih krivulj, ki so razdeljene glede na verjetnost in kvartil, v katerem so. Intenziteta padavin na Huffovih krivuljah predstavlja naklon krivulj, razlika med 10- in 90-percentilno krivuljo raztros podatkov, samo razporeditev padavin pa predstavlja ob-

lika krivulje. V prispevku so prikazani rezultati za postajo Ljubljana–Bežigrad, Huffove krivulje pa so bile izdelane tudi za preostale postaje, prikazane v preglednici 1. Rezultati v grafični in tabelarični obliki za preostale postaje so v (Dolšak, 2015). Podobno kot so ugotovili že mnogi drugi avtorji, smo tudi mi, da se Huffove krivulje posameznih padavinskih postaj po Sloveniji zelo razlikujejo, kar je predvsem posledica različnih podnebnih značilnosti. V Sloveniji se pri načrtovanju objektov (npr. določanju projektnih pretokov s hidrološkimi modeli, odvodnjavanju padavinske vode s cest) pogosto uporabljajo ITP-krivulje (intenziteta padavin, trajanje padavin in povratna doba), t.

i. karakteristični nalivi, ki so določeni na podlagi merjenih podatkov o padavinah (Goranc, 2012), vendar pa ne upoštevajo razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka ((Dirnbek, 2009), (Šraj, 2010)). V prispevku smo pokazali, da ima lahko nepoznavanje dejanske razporeditve padavin, ki je značilna za dogodke različnih trajanj, velik vpliv na površinski odtok. Kljub relativno majhni površini, ki jo zajema Slovenija, pa je raznolikost v razporeditvi padavin, ki jo lahko opišemo s Huffovimi krivuljami, izrazita. Na tem mestu je treba poudariti interes za nadgradnjo trenutne prakse pri načrtovanju objektov, saj je Dolšak (Dolšak, 2015) pripravil vse potrebne vhodne podatke za izdelavo synetičnih histogramov padavin z upoštevanjem dejanske razporeditve padavin za 30 padavinskih postaj, ki so relativno enakomerno razporejene po celi Sloveniji.

7 • ZAHVALA

Zahvaljujemo se Agenciji RS za okolje za posredovane podatke o padavinah.

8 • LITERATURA

- Ball, J. E., The influence of storm temporal patterns on catchment response, *Journal of Hydrology*, 158, 285–303, 1994.
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., Comparison between the peaks over threshold method and the annual maximum method for flood frequency analyses, *Hydrological sciences journal*, 59(5), 959–977, 2014.
- Bonta, J., V., Shahalam, A., Cumulative storm rainfall distributions: Comparison of Huff curves, *Journal of Hydrology, New Zealand*, 42 (1), 65–74, 2003.
- Bonta, J., V., Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts, *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 641–653, 2004a.
- Bonta, J., V., Stochastic simulation of storm occurrence, depth, duration, and within-storm intensities, *American Society of Agricultural Engineers*, 47, 1573–1584, 2004b.
- Dirnbek, L., Šraj, M., Hidrološko modeliranje: Vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka, *Gradbeni vestnik*, 59, 3, 48–56, 2009.
- Dolšak, D., Statistična analiza padavin – izdelava Huffovih krivulj, Diplomski naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, povzeto po: <http://drugg.fgg.uni-lj.si/3872/>, 2012.
- Dolšak, D., Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka, Magistrski naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, povzeto po: <http://drugg.fgg.uni-lj.si/5161/>, 2015.
- Goranc, N., Izdelava in primerjava ITP krivulj z različno izbiro porazdelitev, Diplomski naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, povzeto po: <http://drugg.fgg.uni-lj.si/3803/>, 2012.

- Huff, F., Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms, *Water Resources Research* 3, 1007–1019, 1967.
- Huff, F., Rainfall evaluation studies, Final report, part 1 – summary. Urbana, Illinois, University of Illinois, Illinois State Water Survey, 1970.
- Huff, F., Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois, Illinois State Water Survey, Champaign, Circular 173, 1990.
- Nieves, G. V., Temporal rainfall distributions in Puerto Rico, Magistrsko delo, University of Puerto Rico at Mayagüez, 2005.
- Šraj, M., Prestrežne padavine: meritve in analiza, *Geografski vestnik* 81, 1, 99–111, 2009.
- Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji, *Acta hydrotechnica*, 25, 42, 41–59, 2012.
- Šraj, M., Dirnbek, L., Brilly, M., The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph, *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 58, 1, 3–14, 2010.
- Vandenbergh, S., Verhoest, N. E. C., Buyse, E., Baets, B. D., A stochastic design rainfall generator based on copulas and mass curves, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 2429–2442, 2010.
- Wu, S. J., Yang, J. C., Tung, J. K., Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 20, 171–183, 2006.