

## Поступци за добијање тренутних максимума на основу мешовитих низова максималних годишњих протока

Никола Ђокић<sup>1</sup>

Борислава Благојевић<sup>2</sup>

Владислава Михаиловић<sup>3</sup>

**АПСТРАКТ:** Проблем на који се мало обраћа пажња у анализи великих вода јесте појава мешовитих података – низова који се састоје делом од средњих дневних протока, а делом од тренутних максимума. Ово истраживање је спроведено ради анализе утицаја присуства средњих дневних протока у низу максималних годишњих протока на оцену квантила великих вода. Радом је обухваћено 17 хидролошких станица које припадају групи сливова мање и средње површине на територији Србије. Оцена квантила спроведена је према методологији прописаној у САД (Билтен 17ц) из низова који се састоје од: 1) средњих дневних и тренутних максималних протока, 2) тренутних максимума добијених према два поступка и 3) средњих дневних протока. Поступци који су примењени у сврху добијања тренутних максимума из мешовитих низова су: а) Сангалов поступак и б) поступак заснован на нагибу хидрограма. Резултати истраживања показали су у већини случајева да се игнорисањем нехомогености низа потцењују квантили. Сангалова метода има тенденцију да прецењује квантиле, а самим тим даје и већу неизвесност у њиховој оцени. Изразита позитивна асиметрија низа указала је да се квантили могу значајно преценити, а присуство већег броја доњих изузетака, на појаву веће неизвесности у њиховој оцени. Применом методе засноване на нагибу хидрограма, добијени су генерално бољи резултати.

Кључне речи: квантили великих вода, мали и средњи сливови, Сангалова метода, метода нагиба хидрограма, Билтен 17ц

## Procedures for obtaining instantaneous peak flows from the datasets of mixed annual peak flows

**ABSTRACT:** A less paid attention in the flood frequency assessment is mixed input data, meaning flow datasets consist partly of mean daily and partly of instantaneous flows. This research was conducted to analyse the influence of the presence of mean daily flows in the datasets on the flood quantile estimates. The paper treats 17 hydrological stations from the group of small and medium basins in Serbia. The estimation of quantiles was performed according to the U.S.A. methodology, from the datasets of annual maxima consisting of: 1) mean daily and instantaneous flows, 2) instantaneous flows obtained according to two procedures, 3) mean daily flows. The procedures used for obtaining instantaneous flows from the mixed datasets are: a) Sangal's method and b) Slope-Based method. The research results showed that in most cases, by ignoring the inhomogeneity of datasets the flood quantiles are underestimated. Sangal's method indicated a tendency to overestimate the quantiles, thus resulted in higher uncertainty in their assessment. A pronounced positive dataset skewness indicated quantile overestimation might be significant, while presence of a larger number of low outliers lead to higher uncertainty in their assessment. Better results are generally obtained by the Slope-based method.

Keywords: flood quantiles, small and medium basins, Sangal's method, Slope-Based method, Bulletin 17c

---

<sup>1</sup>Никола Ђокић, студент ДАС, Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет, [nikolavdjokic995@gmail.com](mailto:nikolavdjokic995@gmail.com)

<sup>2</sup>Доц. др Борислава Благојевић, Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет, [borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs](mailto:borislava.blagojevic@gaf.ni.ac.rs)

<sup>3</sup>Доц. др Владислава Михаиловић, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, [vladislava.mihailovic@sfb.bg.ac.rs](mailto:vladislava.mihailovic@sfb.bg.ac.rs)

## 1. Увод

Резултати хидролошке анализе у оквиру које се оцењују квантили великих вода, представљају подлогу неопходну у многим областима водопривреде и хидротехнике. Статистичка анализа низова максималних годишњих протока је у пракси основни приступ приликом разматрања хидролошки изучених сливова. Овакав приступ подразумева издвајање по једне, максималне вредности протока за сваку годину осматрања. Поузданост анализе зависи пре свега од доступних (улазних) података [1]. За проверу и одржавање фонда хидролошких података на територији Републике Србије, задужен је Републички хидрометеоролошки завод Србије (РХМЗС) [2].

Хомогеност низа представља један од неопходних услова за примену статистичке анализе. Хомогеност се, као и остали услови, проверава статистичким тестовима. Међутим, у појединим ситуацијама статистички тестови не откривају нехомогеност низа која може настати услед мешовитих података у низовима годишњих максимума, при чему део података чине средњи дневни протоци (*eng. Mean Daily Flows – MDF*), а део тренутни максимума (*eng. Instantaneous Daily Flows – IDF*) регистровани на разматраној хидролошкој станици (ХС). Проблем мешовитих података се огледа у томе што се у дану појаве максималног протока, средњи дневни протоци могу веома разликовати од тренутних максимума. Вредност те разлике зависи од карактеристика таласа великих вода и од карактеристика припадајућег слива разматраној ХС [4]. Разлика може бити значајна код мањих и средњих сливова ( $A < 5000 \text{ km}^2$ ) са кратким временом подизања поплавног таласа. Како би се поменута разлика уважила, развијене су различите методе на основу којих се врши издвајање тренутних максимума из средњих дневних протока. Најзаступљеније методе за прорачун тренутних максимума су: Сангалова метода, метода заснована на нагибу хидрограма (*eng. Slope-Based method*), Фулорова метода, метода Филадельфија и Штајнера [5].

Истраживање које су спровели Чен и сарадници [5] обухватило је све четири поменуте методе за добијање тренутних максимума. Резултати су указали на то да Сангалова метода углавном прецењује вредности тренутних максимума, метода Филадельфија даје добре резултате за сливове мање од  $500 \text{ km}^2$ , лоше резултате за сливове мање од  $100 \text{ km}^2$ , а одличне за сливове који имају површину између  $100 \text{ km}^2$  и  $500 \text{ km}^2$ .

Недавно спроведеним истраживањем на сливовима из БиХ и Србије [3], обухваћене су две различите методологије за оцену квантила великих вода у САД, Билтен 17б и његова ревизија - Билтен 17ц (Б17ц). Коришћена је Сангалова метода за добијање тренутних максимума, а резултати су показали да највећу разноликост у оцени параметара великих вода даје Билтен 17б. Већа неизвесност која је приказана на основу средње квадратне грешке коефицијента асиметрије примећена је код станица које имају више година без података и код појаве већег броја доњих изузетака. Истраживање је показало да је могуће потцењивање или прецењивање квантила великих вода, управо када се користе мешовити низови података ( $Q_{IDF\&MDF}$ ), посебно код већих повратних периода.

Циљ овог истраживања је анализа утицаја присуства средњих дневних протока у низовима годишњих максимума на оцену квантила великих вода у профилима ХС на територији Републике Србије. Оцена квантила великих вода извршиће се применом методологије Б17ц, коришћењем софтверског пакета HEC-SSP (*Hydrologic Engineering Center Statistical Software Package*) [6]. Анализа утицаја вршиће се на претежно потпуним низовима осматрања великих вода у профилима ХС из осматрачке мреже РХМЗС, мале и средње површине припадајућих сливова.

## 2. Методологија

### 2.1 Избор хидролошких станица

Прва етапа истраживачког рада односила се на формирање ГИС окружења у коме су садржани мета подаци о великим водама у профилима ХС из осматрачке мреже површинских

вода РХМЗС. ГИС пројекат формиран је на основу података из Програма мониторинга статуса вода за 2020. годину [7], Оперативног плана за одбрану од поплава за 2021. годину [8] и Хидролошких годишњака [9]. У Табели 1. дат је опис критеријума за три различита случаја на основу којих је извршен избор станица, као и сами резултати претраге. Критеријуми су постављени са циљем да се изаберу ХС које могу имати израженији утицај средњих дневних протока у низовима годишњих максимума, а да се притом проблем непотпуних података сведе на најмању могућу меру.

Од 37 ХС погодних за ово истраживање, у ужи избор је ушло 19 ХС, поузданих за оцену великих вода.

Табела 1. Прелиминарни избор ХС за анализу

Table 1. Preliminary selection of the analyzed HS

		Случај 1.	Случај 2.	Случај 3.
Критеријуми	1.	Низ са потпуним подацима до 2019. године		Низ у коме недостаје 1-2 податка до 2019. године
	2.	Време од најаве до пристизања поплавног таласа $\leq 1$ дан	Површина слива $\leq 1000$ км <sup>2</sup>	Површина слива $\leq 5000$ км <sup>2</sup>
Резултат ГИС пројекта претраге		1. Димитровград 47910 2. Јаша Томић 42401 3. Корвинград 47750 4. Рашка 47260	1. Пепељевац 47850 2. Рибница 47160 3. Злот 42912 4. Босилеград 64129 5. Чедово 45843 6. Крушчица 99241 7. Бедина Варош 99007 8. Лешница 45892 9. Црнајка 42760 10. Црнајка 42770 11. Трнски Одоровци 47914 12. Стразимировци 47912 13. Рокци 99243	1. Доња Каменица 42935 2. Књажевац 42921 3. Гамзиград 42914 4. Губеревац 47140 5. Жагубица 42510 6. Кратовска стена 47101 7. Жучковац 47580 8. Г. Топоница 47562 9. Браћевци 47937 10. Станичење 47945 11. Мртвина 47911 12. Ниш 47990 13. Пирот 47920 14. Смедеревска П. 47075 15. Свилајинац 47067 16. Лесковац 47665 17. Ђеманов мост 45917 18. Баточина 47057 19. Мајур 47035 20. Прибој 45842

## 2.2 Формирање и тестирање мешовитих-референтних низова

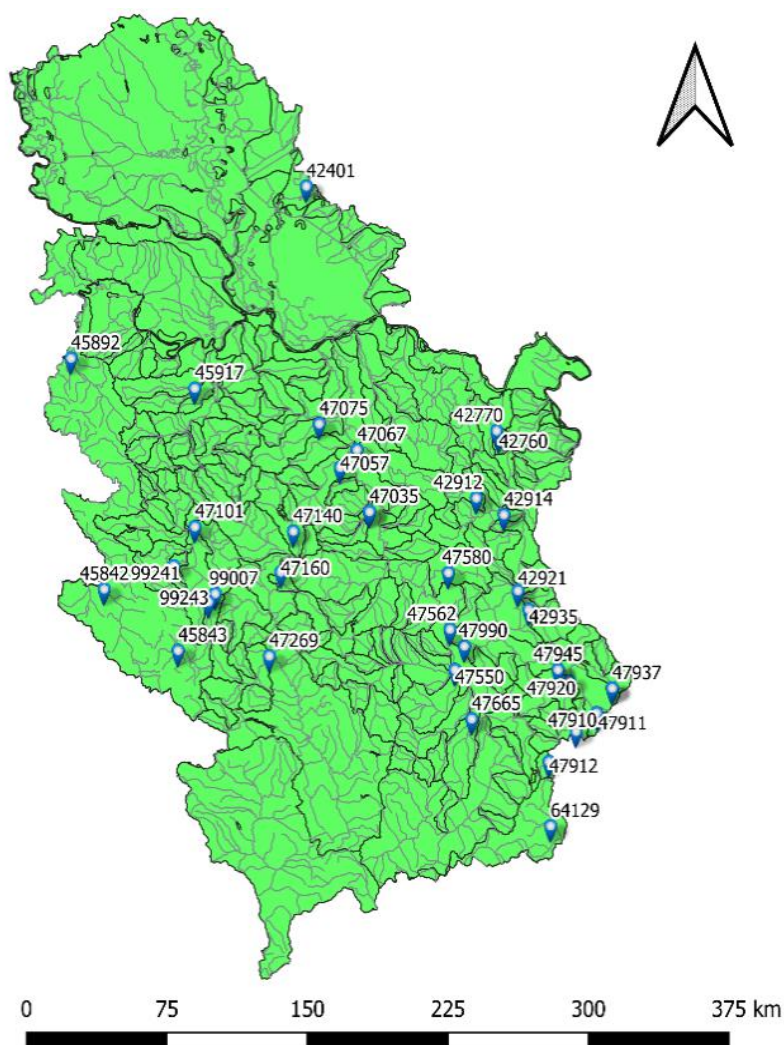
Референтни низови, односно низови састављени од мешовитих података протока ( $Q_{IDF\&MDF}$ ), формиран су методом годишњих максимума за календарску годину. Одабрани су за референтне низове зато што би се у пракси најчешће на њима спроводила анализа великих вода. Период за анализу мешовитих низова 19 прелиминарно одабраних ХС завршава се закључно са 2019. годином, а почиње у години почетка рада ХС, тако да је различит за сваку ХС.

Низови су затим подвргнути статистичким тестовима ради провере испуњености услова за примену статистичке анализе. Тестирање је спроведено применом уобичајених тестова хомогености, укључујући и тренд: z-тест или t-тест (у зависности од обима података), F-тест (алтернативно Левенов тест), Ман-Витни и Ман-Кендал тест. Резултати статистичких тестова су показали да 8 ХС задовољава неопходне услове за примену статистичке анализе. Код низова који не задовољавају услове у целом периоду осматрања, извршено је постепено одсецање дела

података са почетка низа, до задовољења неопходних услова. Приликом скраћења низова водило се рачуна да низови располажу са барем 30 података, што је услов репрезентативности низа. Након одсецања дела података, још 9 ХС је задовољило услове, док су ХС Рашка и ХС Књажевац одбачене.

Низове у 8 случајева чине потпуни подаци, а у 9 су коришћени низови којима недостаје један или два података осматрених протока, код којих су године које недостају приказане праговима перцепције. Концепт прагова перцепције представља новитет који је уведен у оквиру Б17ц са наменом представљања протока у годинама када он није регистрован [10]. За године у којима се јављају непотпуни подаци осматрања, извршено је поређење доступних података са подацима на сродним ХС. Провера је указала да су максимални средњи дневни протоци и тренутни максимуми обухваћени доступним - публикованим подацима у тим годинама (Таб. 2).

Локације ХС на којима је засновано ово истраживање приказане су на Слици 1, а у Табели 2 налазе се информације о ХС, битне за примену статистичке анализе.



Слика 1. Локације одабраних ХС

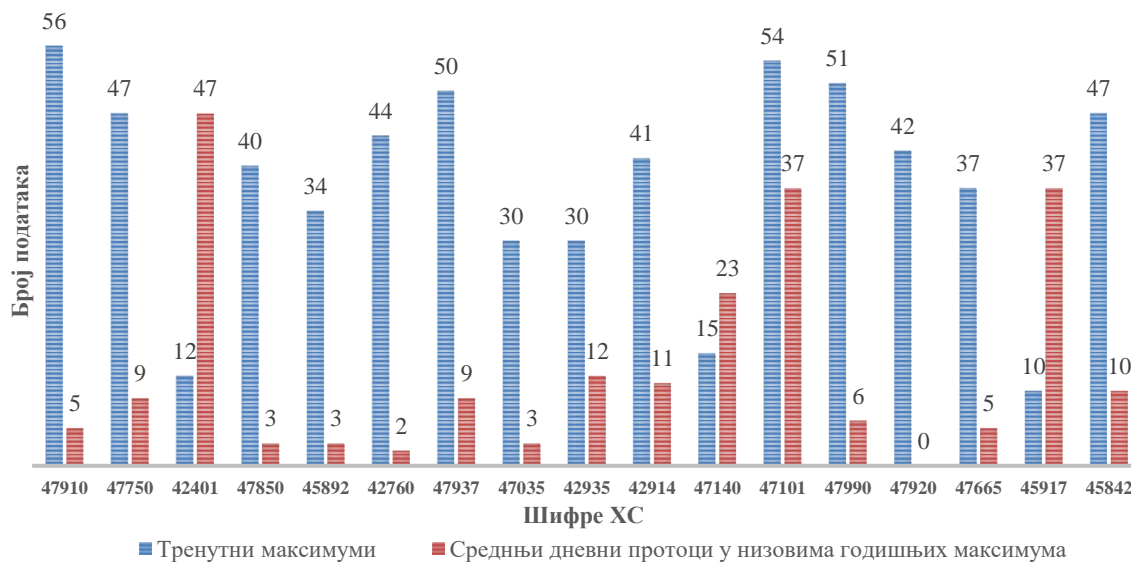
Figure 1. Location of selected HS

Табела 2. Информације о ХС и низовима за статистичку анализу (СА)

Table 2. Information about HS and the datasets for statistical analysis

Р.бр.	Станица	Шифра	Године осматрања			Укупно података	Период за СА	Укупно података за СА	Доњи праг перцепције (m3/s)
			почетак	без података	са непотпуним подацима				
1	Димитровград	47910	1959	-	-	61	1959-2019	61	-
2	Корвинград	47750	1948	-	-	72	1964-2019	56	-
3	Јаша Томић	42401	1961	-	-	59	1961-2019	59	-
4	Пепељевац	47850	1951	-	-	69	1977-2019	43	-
5	Лешница	45892	1960	-	-	60	1983-2019	37	-
6	Црнајка	42760	1965	-	-	55	1974-2019	46	-
7	Браћевци	47937	1961	-	-	59	1961-2019	59	-
8	Мајур	47035	1961	-	-	59	1987-2019	33	-
9	Доња Каменица	42935	1955	1997		64	1977-2019	42	6.50
10	Гамзиград	42914	1950	2009, 2010	1987, 1991, 1993, 2000, 2001, 2008	68	1966-2019	52	24.08
11	Губеревац	47140	1981	2012	2011	38	1981-2019	38	2.70
12	Кратовска стена	47101	1927	1944, 1977	1985, 2016, 2017, 2018	91	1927-2019	91	99.40
13	Ниш	47990	1951	1988		68	1962-2019	57	46.00
14	Пирот	47920	1951	1985		68	1977-2019	42	24.00
15	Лесковац	47665	1948	1983, 1984		70	1976-2019	42	3.70
16	Теманов мост	45917	1971	1996, 2012	1980, 1998, 2011	47	1971-2019	47	5.10
17	Прибој	45842	1962	1993	2011, 2012, 2015, 2016	57	1962-2019	57	210.70

На следећем дијаграму (Слика 2) је приказан број тренутних максимума и средњих дневних протока садржаних у низовима годишњих максимума на свим ХС.



Слика 2. Број тренутних максимума и средњих дневних протока у низовима годишњих максимума

Figure 2. Number of instantaneous and mean daily flows in the datasets of annual maxima

## 2.3 Методе за добијање тренутних максимума

### 2.3.1 Сангалова метода

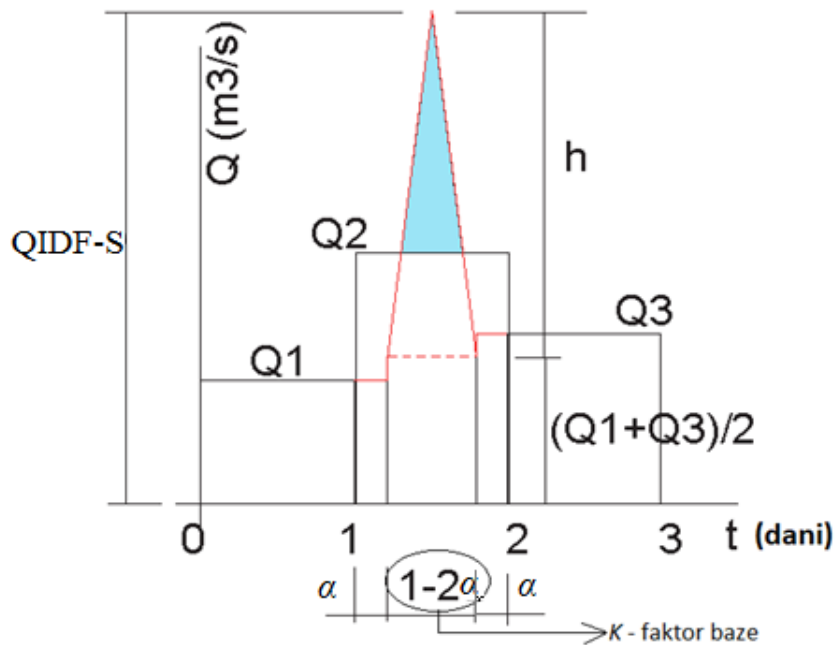
Сангалов поступак користи секвенцу средњих дневних протока који су се јавили у три узастопна дана, при чему се максимални средњи дневни проток налази у средини (Слика 3). Поступак је заснован на одређивању вредности фактора базе  $K$ , у годинама у којима је забележен и тренутни максимум. Вредност фактора  $K$  креће се између 0 и 2 [11] и одређује се на основу следећег израза:

$$K = \frac{4Q_2 - 2Q_1 - 2Q_3}{2Q_{IDF} - Q_1 - Q_3} \quad (1)$$

при чему је:  $Q_1$  - средњи дневни проток који се јавио дан пре појаве максималног средњег дневног протока,  $Q_2$  - средњи дневни проток у дану када је забележен тренутни максимум,  $Q_3$  - средњи дневни проток који се јавио дан након појаве максималног средњег дневног протока,  $Q_{IDF}$  - максимални годишњи забележени тренутни дневни проток.

Након одређивања вредности фактора  $K$  за сваку годину у којој је забележена вредност тренутног максимума, одређује се просечни фактор  $Ka$  који важи за једну ХС, а након тога се одређује сама вредност тренутног максимума ( $Q_{IDF-S}$ ) у годинама у којима је остала забележена вредност средњег дневног протока уместо тренутног максимума [3].

$$Q_{IDF-S} = \frac{Q_1 + Q_3}{2} + \frac{2Q_2 - Q_1 - Q_3}{Ka} \quad (2)$$



Слика 3. Шематски приказ Сангалове методе (извор [11])

Figure 3. Scheme of the Sangal's method (source [11])

Приликом обраде података, секвенцу протока у три узастопна дана коришћену у овом истраживању, диктирала је појава тренутног годишњег максимума. Наиме, за вредност  $Q_2$  је усвајана вредност средњег дневног протока која се јавила у дану када је регистрована вредност годишњег максимума, без обзира на то да ли је тај проток био и највећи годишњи средњи дневни проток или не.

### 2.3.2 Метода нагиба хидрограма

Метода заснована на нагибу хидрограма екстраполује праву линију која је одређена тачкама  $(t, Q_1)$  и  $(t + 1, Q_2)$  за вредност  $r$  у дану када се јавио максимални годишњи средњи дневни проток. Вертикална ордината у тачки  $(t + 1 + r)$  претпоставља се да одговара вредности тренутног максимума (Слика 4).

Вредност  $r$  се креће у интервалу од 0 до 1. Претпоставља се да пресек који је одређен продужавањем растуће и опадајуће гране хидрограма средњих дневних протока према врху хидрограма, представља вредност тренутног максимума [5]. Ово се може математички изразити на следећи начин:

$$Q_1 + k_r (1 + r) = Q_3 + k_f (t + 1 - r) \quad (3)$$

при чему је  $k_r$  нагиб растућег дела хидрограма, а процењује се као:

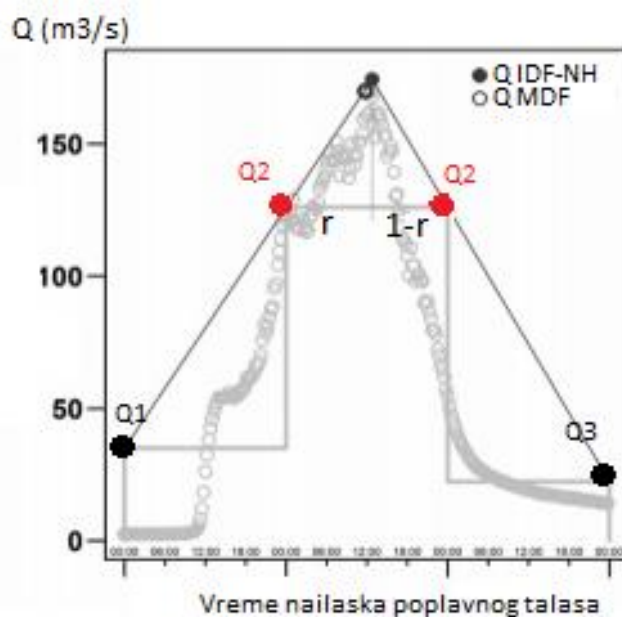
$$k_r = \frac{Q_2 - Q_1}{dt} \quad (4)$$

док  $k_f$  представља нагиб опадајућег дела хидрограма који се одређује као:

$$k_f = \frac{Q_2 - Q_3}{dt} \quad (5)$$

где је  $dt = 1$  дан. Заменом једначина (4) и (5) у једначини (3) добија се:

$$r = \frac{Q_2 - Q_3}{2Q_2 - Q_3 - Q_1} \quad (6)$$



Слика 4. Шематски приказ методе нагиба хидрограма (извор [5])

Figure . Scheme of the Slope-Based method (source [5])

Према томе,  $r$  је одређено и може се заменити у једначини (3) за добијање вредности тренутног максимума:

$$Q_{IDF-NH} = Q2 + \frac{(Q2-Q1)(Q2-Q3)}{2Q2-Q1-Q3} \tag{7}$$

## 2.4 Статистичка анализа

Статистичка анализа је спроведена за следеће низове:

- мешовите -  $Q_{IDF\&MDF}$ ,
- средњих дневних протока -  $Q_{MDF}$ , и
- тренутних максимума добијених једном од две примењене методе -  $Q_{IDF-S}$ , Сангаловим поступком и  $Q_{IDF-NH}$  методом нагиба хидрограма.

Анализа је урађена помоћу софтверског пакета HEC-SSP, са одабиром опције за спровођење анализе према Б17ц, за следеће вероватноће превазилажења: 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, 0.001. Б17ц уводи коришћење нове методологије за оцену параметара расподеле, Алгоритам очекиваних момената – ЕМА (*Expected Moments Algorithm*), са одређивањем компромисне вероватноће према Хирш-Штедингеровом изразу [12]. Ова комбинација омогућила је и да се у годинама без осматрања подаци представе помоћу прагова перцепције, што је искоришћено за девет ХС. На основу препорука из Б17ц и резултата претходних истраживања [1], [13], за доњи праг перцепције коришћена је најмања вредност протока расположивог мешовитог низа (Таб. 2), а за горњи праг, бесконачно.

Као мера неизвесности оцене квантила великих вода одабран је 90%-тни интервал поверења (границе од 5% и 95%). Резултат спроведене анализе у програму HEC-SSP поред вредности одабраних квантила и интервала поверења чини и број карактеристичних догађаја (појава), као што је број изузетака, варијанса оцене квантила према ЕМА и статистике низа. Идентификација изузетака врши се помоћу вишеструког Грубс-Бековог теста. Програм региструје потенцијално утицајне мале вредности (максималних) протока и даљу анализу спроводи без њих.



### 3. Резултати и дискусија

#### 3.1 Оцена квантила великих вода

Одабрани резултати спроведене анализе великих вода на различитим нивовима дати су табеларно, при чему се у њима налазе кључне информације о нивовима (Табела 3) и вредности стогодишњих квантила великих вода са ширином одговарајућих интервала поверења (Табела 4).

Вредности квантила великих вода оцењених из референтних нивоа -  $Q_{IDF\&MDF}$  ( $Q_0$ ) и осталих нивоа ( $Q$ ), приказане су на Слици 5 путем  $Q_0$ - $Q$  дијаграма. Вероватноће превазилажења квантила су назначене различитим бојама, као што је то приказано на дијаграму за ХС Лешница.

Табела 3. Број идентификованих доњих изузетака и вредности коефицијената асиметрије нивоа

Table 3. A number of identified potentially influential low floods, and skewness coefficient of the datasets

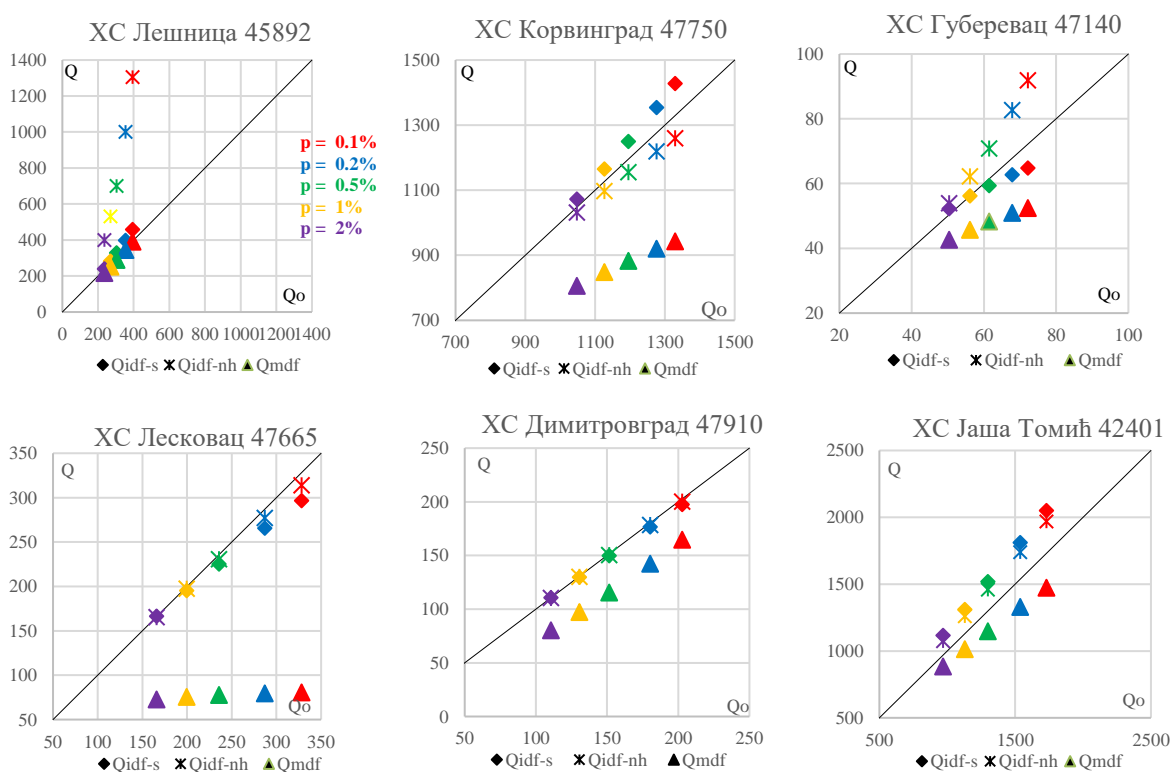
Р. бр.	Станица	Шифра	Доњи изузеци у низу				Коефицијент асиметрије низа			
			$Q_{IDF\&MDF}$	$Q_{IDF-S}$	$Q_{IDF-NH}$	$Q_{MDF}$	$Q_{IDF\&MDF}$	$Q_{IDF-S}$	$Q_{IDF-NH}$	$Q_{MDF}$
1	Димитровград	47910	0	0	0	0	-	-0.32	-0.301	-
2	Јаша Томић	42401	0	0	0	0	-	-0.055	-0.048	-
3	Црнајка	42760	0	0	0	2	-	-0.244	-0.317	-
4	Лешница	45892	0	1	0	0	0.072	0.576	1.158	0.227
5	Пепељевац	47850	0	0	0	0	-	-0.2	-0.147	0.154
6	Ниш	47990	0	0	0	0	-	-0.579	-0.588	-
7	Корвинград	47750	6	6	6	6	-	-0.535	-0.851	-
8	Браћевци	47937	0	0	0	0	-	-0.016	-0.146	0.09
9	Мајур	47035	0	0	0	0	0.114	0.15	0.098	0.225
10	Д. Каменица	42935	6	6	6	6	-	-0.269	-0.217	-
11	Гамзиград	42914	0	14	0	0	-	-0.294	-0.495	-
12	Губеревац	47140	0	8	9	6	-	-1.079	-0.17	-
13	Крат. стена	47101	0	0	0	0	0.093	-0.035	0.025	-
14	Пирот	47920	2	2	2	2	-0.58	-0.58	-0.58	-
15	Лесковац	47665	3	3	3	0	-0.22	-0.387	-0.279	-1.41
16	Ћеманов мост	45917	0	0	0	0	0.092	0.042	0.09	0.065
17	Прибој	45842	2	0	2	0	0.111	0.265	0.27	-

Табела 4. Стогодишња велика вода - ширина интервала поверења и квантили (подвучене су највеће вредности за ХС)

Table 4. 100- year flood - confidence interval and quantiles (the largest values are underlined for HS)

Р. бр.	Станица	Шифра	Ширина 90% интервала поверења квантила $Q_{1\%}$				Квантили $Q_{1\%}$ [m <sup>3</sup> /s]			
			$Q_{IDF\&MDF}$	$Q_{IDF-S}$	$Q_{IDF-NH}$	$Q_{MDF}$	$Q_{IDF\&MDF}$	$Q_{IDF-S}$	$Q_{IDF-NH}$	$Q_{MDF}$
1	Димитровград	47910	<u>107</u>	103	105	91.8	<u>131</u>	130	130	97.1
2	Јаша Томић	42401	855	<u>1047</u>	1004	674	1131	<u>1309</u>	1259	1013
3	Црнајка	42760	68.4	<u>85</u>	68.8	37.3	74.5	<u>82.8</u>	75.1	38.2

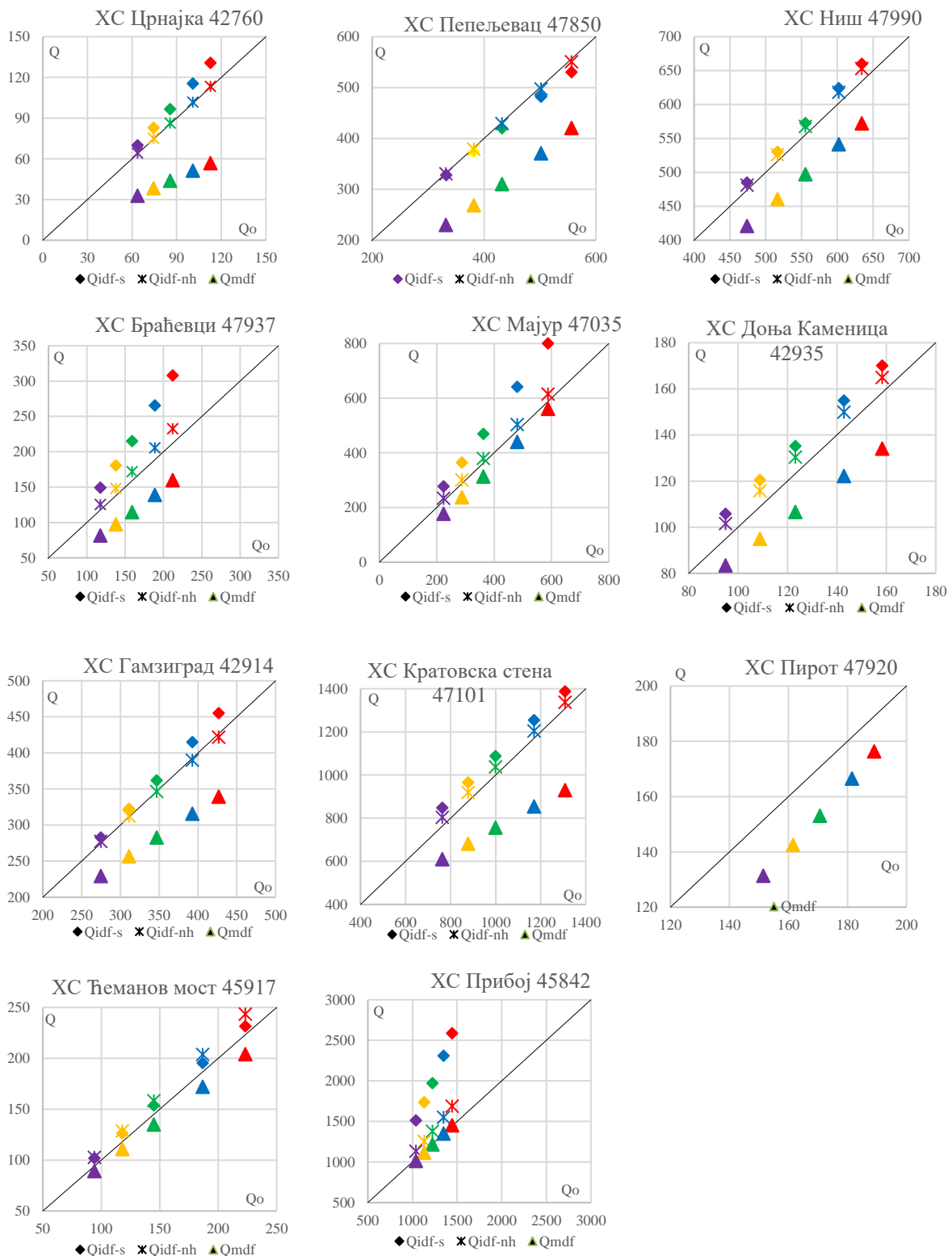
Р. бр.	Станица	Шифра	Ширина 90% интервала поверења квантила $Q_{1\%}$				Квантили $Q_{1\%}$ [ $m^3/s$ ]			
			$Q_{IDF\&MDF}$	$Q_{IDF-S}$	$Q_{IDF-NH}$	$Q_{MDF}$	$Q_{IDF\&MDF}$	$Q_{IDF-S}$	$Q_{IDF-NH}$	$Q_{MDF}$
4	Лешница	45892	243	442	<u>1587</u>	280	270	281	<u>530</u>	251
5	Пепелевац	47850	<u>314</u>	285	308	269	<u>382</u>	374	379	268
6	Ниш	47990	265	<u>268</u>	266	236	517	<u>530</u>	526	460
7	Корвинград	47750	483	<u>526</u>	434	295	1127	<u>1164</u>	1097	848
8	Браћевици	47937	108	<u>177</u>	121	87.2	138	<u>180</u>	148	97.2
9	Мајур	47035	664	<u>984</u>	692	763	288	<u>364</u>	300	238
10	Доња Каменица	42935	106	<u>106</u>	104	83.6	109	<u>120</u>	116	94.9
11	Гамзиград	42914	213	<u>234</u>	209	166	311	<u>322</u>	312	256
12	Губеревац	47140	52.0	35.9	<u>64.1</u>	28.8	56.2	56.1	<u>62.2</u>	45.7
13	Кратовска стена	47101	457	<u>461</u>	452	279	879	<u>965</u>	918	682
14	Пирот	47920	67.4	67.4	67.4	<u>71.5</u>	162	162	162	142
15	Лесковац	47665	<u>268</u>	214	235	80.8	<u>200</u>	195	197	75.5
16	Ћеманов мост	45917	165	166	<u>180</u>	147	118	126	<u>128</u>	111
17	Прибој	45842	497	<u>1249</u>	692	515	1132	<u>1734</u>	1254	1113



Слика 5.  $Q_o$ - $Q$  дијаграми квантила великих вода оцењених из три низа у односу на  $Q_{IDF\&MDF}$

Figure 5.  $Q_o$ - $Q$  plots of the flood quantile estimates from three datasets relative to  $Q_{IDF\&MDF}$

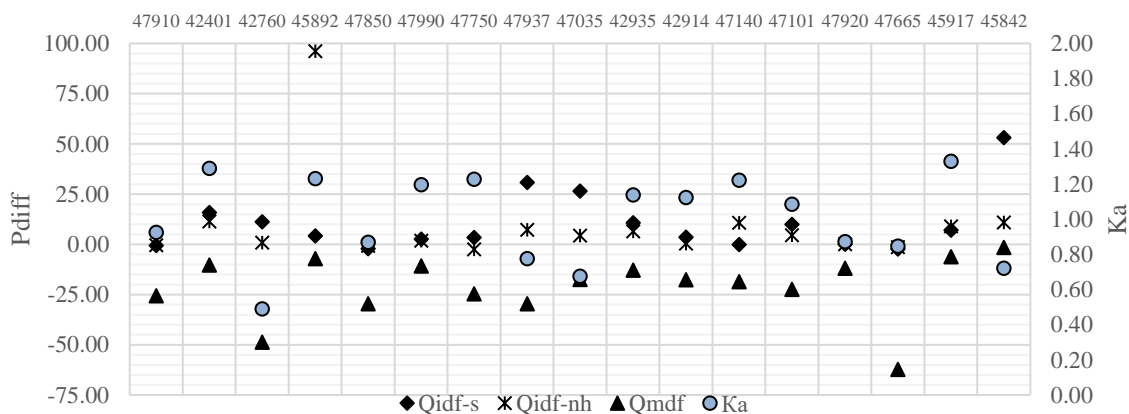
# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.



Слика 5. – наставак  $Q_o$ - $Q$  дијаграми квантила великих вода оцењених из три низа у односу на  $Q_{IDF\&MDF}$

Figure 5. – continued  $Q_o$ - $Q$  plots of the flood quantile estimates from three datasets relative to  $Q_{IDF\&MDF}$

На Слици 6. упоредо су приказане процентуалне разлике квантила стогодишње велике воде у односу на референтни низ ( $P_{diff}=100 \cdot (Q - Q_{IDF\&MDF}) / Q_{IDF\&MDF}$  [%]) и вредности осредњеног коефицијента базе  $Ka$  у Сангаловој методи. Позитивне вредности процентуалних разлика указују да су добијене веће вредности квантила у односу на оне које су добијене за мешовите низове, а негативне, супротно. Са слике 6 може се уочити да на испитиваним станицама вредности  $Ka$  не упућују на величину одступања. На станицама ХС Црнајка 42760 и ХС Теманов мост 45917 са најмањим и највећим  $Ka$ , добијене су практично исте, мале вредности одступања (ромб). При томе је заступљеност  $Q_{MDF}$  у овим низовима, 4% и 79% редом.



Слика 6. Процентуалне разлике квантила стогодишње велике воде и коефицијенти базе  $Ka$  на свим ХС

Figure 6. Percentage difference of the 100-year quantiles and station base factor  $Ka$  at all HS

Уопште, највеће разлике квантила великих вода јавиле се су код ХС Лешница 45892 и то коришћењем низа  $Q_{IDF-NH}$ , ХС Црнајка 42760 за  $Q_{MDF}$ , ХС Браћеџци 47937 за  $Q_{IDF-S}$ , ХС Лесковац 47665 за  $Q_{MDF}$  и ХС Прибој 45842 за  $Q_{IDF-S}$ . Очекивање да ће највеће разлике бити код низова састављених искључиво од средњих дневних протока, остварило се у једанаест од укупно седамнаест случајева.

Најмање разлике квантила дала је метода нагиба хидрограма, а једино код две ХС је показала највећу разлику. Посматрајући претходни дијаграм (Слика 6.) може се уочити да метода нагиба хидрограма не даје велику разлику квантила. Изузетак се јавља код ХС Лешница 45892 за коју су значајно већи квантили оцењени из  $Q_{IDF-NH}$  низа. У неколико случајева код обе методе за прорачун тренутних максимума, добијени су квантили великих вода који су нижи него код оних добијени за низове састављене од мешовитих података, с тим да у томе предњачи метода нагиба хидрограма.

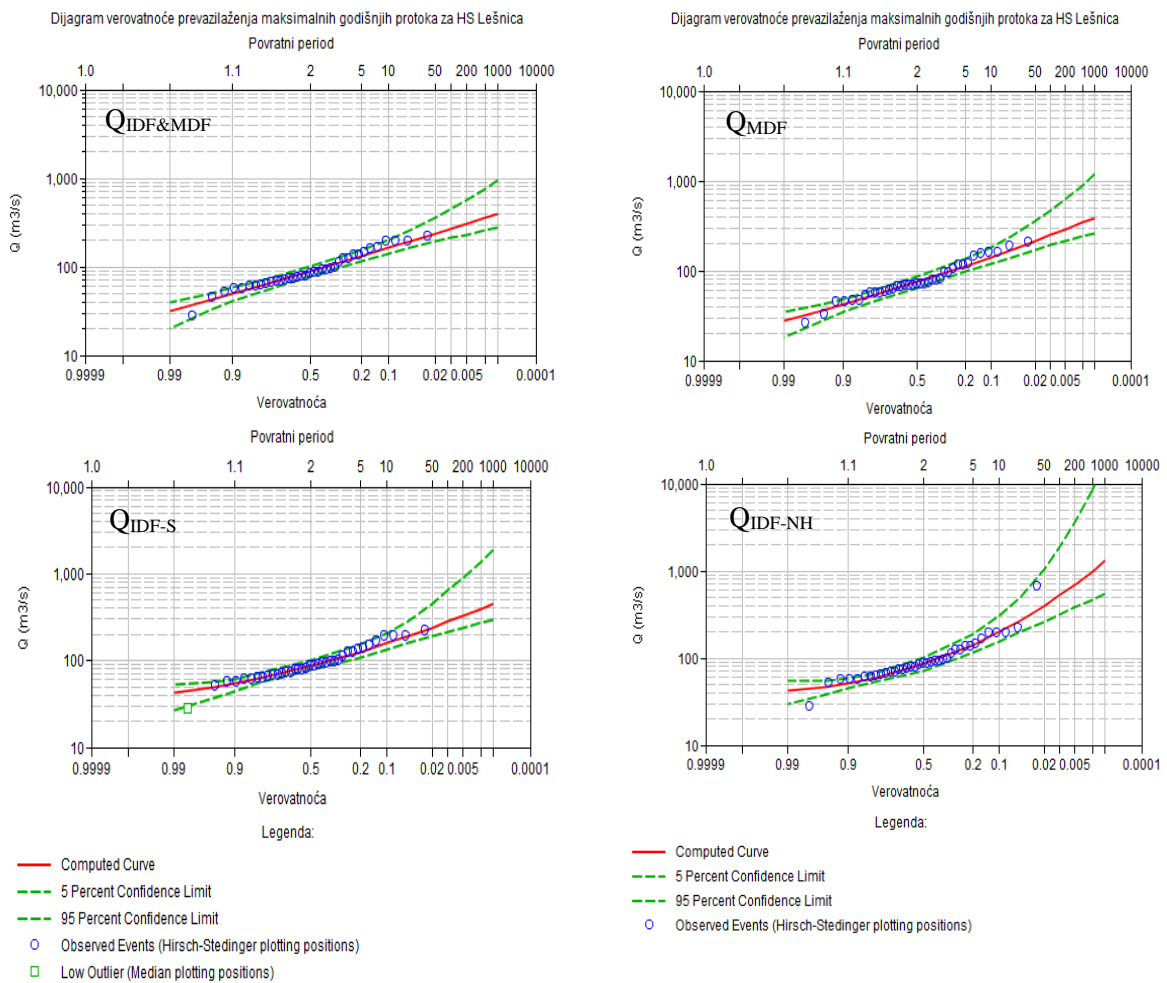
### 3.2 Неизвесност оцене квантила великих вода

Неизвесност оцене квантила великих вода утврђена је: 1) 90%-тним интервалима поверења за разматране повратне периоде (Слика 7 – приказ за једну ХС) и 2) варијансом оцене логаритама квантила према ЕМА (Слика 8).

На Слици 7, зеленим испрекиданим линијама представљени су интервали поверења квантила великих вода добијени за четири различита низа улазних података за ХС Лешница. Највећа неизвесност јавила се за низ  $Q_{IDF-NH}$ , чији је коефицијент асиметрије 1,158. Ово је једини случај од свих ХС где долази до драстичног повећања неизвесности оцене квантила у једном од испитиваних низова у односу на остала три.

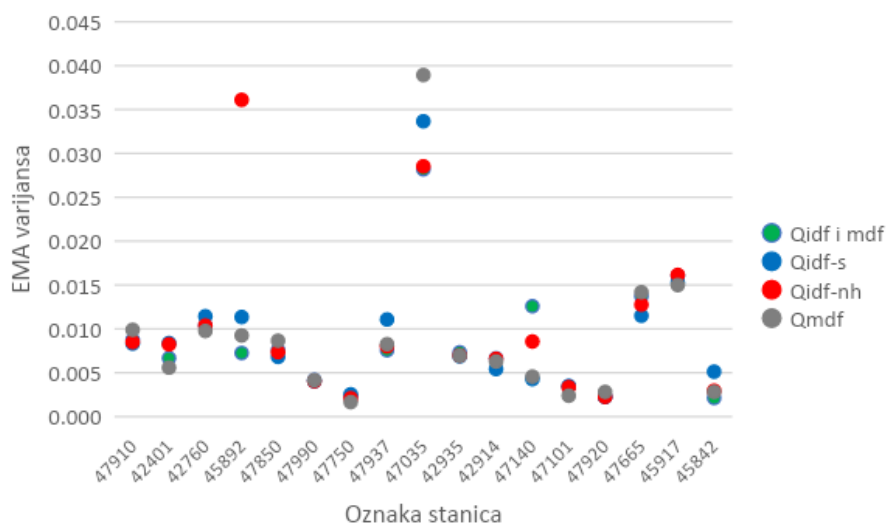
Поређење ширине интервала поверења код свих ХС, указује на већу неизвесност у оцени квантила великих вода код примене Сангаловог поступка. С обзиром да је ова метода генерално дала и највеће квантиле великих вода, највеће вредности интервала поверења су очекиване.

# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.



Слика 7. Дијаграми вероватноћа за ХС Лешница за све испитиване низове

Figure 7. Probability plots for HS Lešnica for all examined datasets



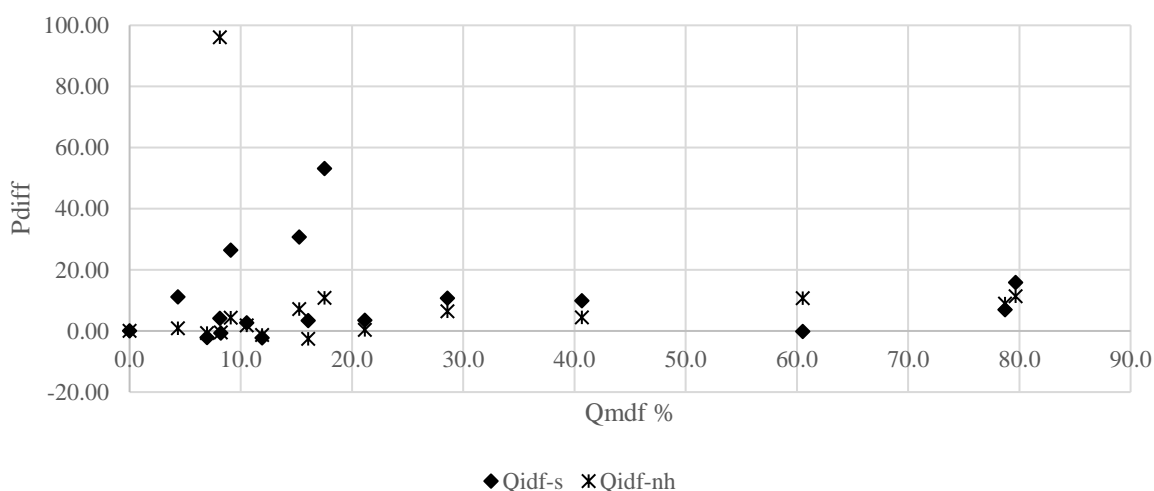
Слика 8. ЕМА варијанса оцене квантила стогодишње велике воде из свих низова

Figure 8. 100- year flood quantile estimate EMA variance for all datasets

На мањим сливовима (< 1000 km<sup>2</sup>) углавном се јављају веће вредности варијанси оцене квантила према ЕМА. Што се тиче међусобног поређења резултата варијанси квантила за квантиле из различитих низова, нешто мању неизвесност даје метода нагиба хидрограма. Изузетак се јавља код ХС Мајур 47035 за све низове и ХС Лешницу 45892 која по многим параметрима даје велика одступања од осталих ХС.

### 3.3 Утицај заступљености $Q_{MDF}$ и карактеристика низова на оцену квантила

Са аспекта заступљености средњих дневних протока у низовима годишњих максимума ( $Q_{MDF\%}$ ), може се рећи да се код мање заступљености средњих дневних протока углавном јавља већа разлика међу резултатима добијених два метода за прорачун тренутних максимума. Код веће заступљености (>20%), ове две методе углавном имају сличан исход (Слика 9).



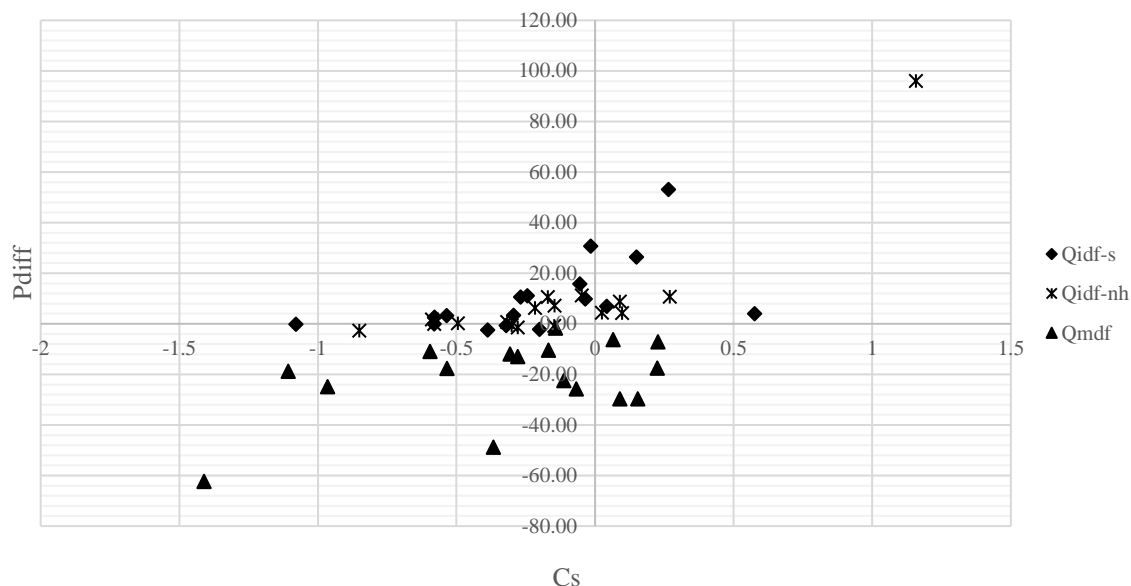
Слика 9. Однос процентуалног учешћа средњих дневних протока у низовима годишњих максимума и процентуалних разлика квантила стогодишње велике воде

Figure 9. Relationship between the percentage share of mean daily flow in annual maxima series and percentage differences for 100- year flood quantiles

Разлика у појави доњих изузетака међу три групе низова није била велика, осим у случају ХС Гамзиград 42914 ( $Q_{MDF\%}=21,2\%$ ), где је код Сангалове методе идентификовано 14 доњих изузетака, док код других група за ову ХС није регистрован ни један доњи изузетак. У овом случају је забележена и највећа вредност интервала поверења и квантила за  $Q_{IDF-S}$ . Слично се јавило и код ХС Губеревац 47140 ( $Q_{MDF\%}=60,5\%$ ) где највише идентификованих изузетака има за  $Q_{IDF-NH}$ . У овом случају су се такође јавиле највеће вредности квантила и интервала поверења. Ово указује и на већу неизвесност у оцени квантила великих вода код појаве већег броја доњих изузетака.

Изразита асиметрија низова јавила се код ХС Лешница 45892 ( $Q_{MDF\%}=8,1\%$ ) и ХС Лесковац 47665 ( $Q_{MDF\%}=11,9\%$ ). Код ХС Лешница 45892 вредност  $C_s$  је имала високу позитивну вредност (+1,158) за случај  $Q_{IDF-NH}$ . У овом случају је процентуална разлика квантила стогодишње велике воде износила 96,08%, што указује на потенцијал за значајно прецењивање квантила. Супротно од ХС Лешница 45892, ХС Лесковац 47665 је за случај  $Q_{MDF}$  имала изразиту негативну вредност  $C_s$  (-1,41). У овом случају се јавила процентуална разлика од -62,23%, што указује на потенцијал за значајно потцењивање квантила великих вода, уколико се не укључе тренутне вредности протока. Грифис и Штединггер су у својим истраживањима [17] показали да Лог-Пирсон 3 теоријска расподела вероватноће даје добре резултате за вредности коефицијента асиметрије  $|C_s| \leq 1.414$ . Приближавањем вредности коефицијента асиметрије граничној вредности

применљивости Лог-Пирсон 3 расподеле, добијају се веће разлике оцене квантила. На Слици 10. приказан је однос коефицијената асиметрије и процентуалних разлика квантила у овом истраживању.



Слика 10. Однос коефицијената асиметрије и процентуалних разлика квантила стогодишње велике воде

Figure 10. Relationship between coefficients of skewness and percentage differences for 100- year flood quantiles

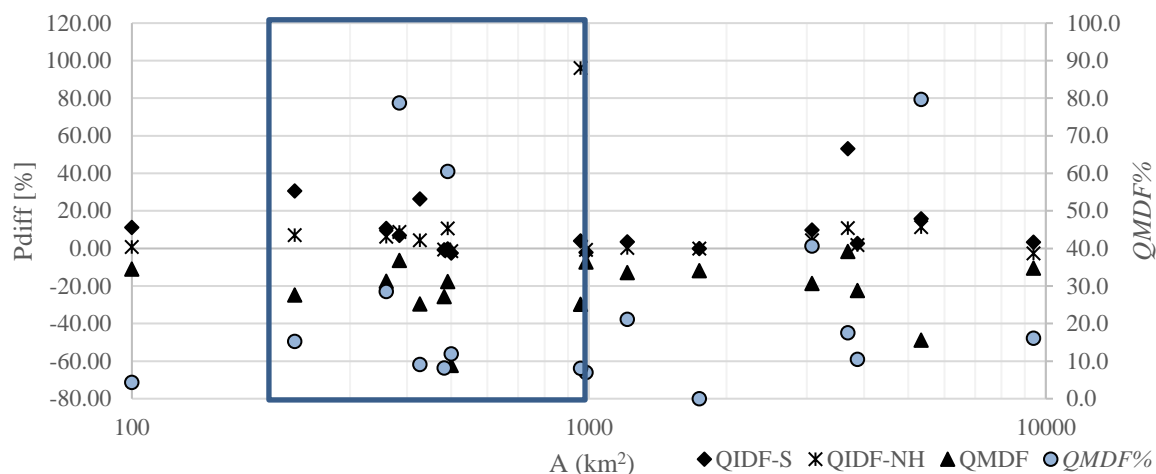
Позитивне вредности коефицијената асиметрије код низова  $Q_{IDF}$  дале су у свим ситуацијама позитивне вредности процентуалних грешака, односно веће квантиле у односу на референтни мешовити низ  $Q_{IDF}$  &  $MDF$  (Слика 10). Негативне вредности коефицијента асиметрије у низовима  $Q_{IDF}$ , у појединим случајевима дале су и негативне, мада мале вредности процентуалних разлика. Ово указује да се за негативне вредности коефицијената асиметрије низова, коришћењем тренутних максимума, могу добити ниже вредности квантила од оних који се добијају за мешовити низ. Оваква ситуација захтева пажљиво поступање и даље истраживање.

Код израженије негативне асиметрије низова (Слика 10) увиђа се мала процентуална разлика квантила за низове  $Q_{IDF}$ .

### 3.4 Површина слива као фактор утицаја

Илустрација односа површина сливова и процентуалне разлике стогодишњих квантила великих вода је приказана на Слици 11. Очекивало би се да код мањих површина сливова учешће средњих дневних протока у мешовитим низовима има већи утицај на резултате статистичке анализе у односу на сливове веће површине, што се са Сlike 10 не може уочити.

Површина слива, као и други физичко-географски фактори, имају значајан утицај на формирање и динамику отицаја, док категорија средњих сливова површине 200-1000 km<sup>2</sup> може представљати највећи изазов у анализи великих вода због одговора на падавине који може бити и попут малих и попут великих сливова [14]. Слика 11, на којој су правоугаоником истакнути ови сливови, управо указује на то да се не може утврдити да ли учешће средњих дневних протока има утицаја на добијене разлике оцене квантила. За ову групу сливова, без часовних вредности протока (облика хидрограма), тешко је изводити закључке о употребљивости обе методе.



Слика 11. Однос површине слива и процентуалних разлика квантила стогодишње велике воде на свим ХС уз приказ учешћа средњих дневних протока у нивовима максималних годишњих протока

Figure 11. Relationship between catchment area and percentage differences for 100- year flood quantiles at all HS with the percentage share of mean daily flow in annual maxima series

#### 4. Закључак

У истраживању су приказане две једноставне и практичне методе за прорачун тренутних максимума. Сангаловим поступком [11] сагледава се понашања забележених тренутних максимума и средњих дневних протока који су се јавили у дану пре појаве тренутног максимума, у истом дану, и дану након његове појаве. Чен и сарадници [5] предложили су примену емпиријске методе засноване на нагибу хидрограма, која користи средње дневне протоке за непосредну реконструкцију растуће и опадајуће гране хидрограма. Применом обе методе за добијање тренутних максимума из мешовитих низова улазних података и поређењем процентуалних разлика квантила међу разматраним ХС, показало се да мања површина слива и већа заступљеност средњих дневних протока у нивовима годишњих максимума, не значе и повећање разлике квантила свих повратних периода у односу на низ тренутних максимума.

Резултати које даје Сангалова метода у многоне зависе од коефицијента базе  $Ka$ . У поступку одређивања тренутног максимума фигурише једна, просечна вредност овог коефицијента за ХС, док се код методе нагиба хидрограма тренутни максимум одређује за сваки талас тј. годину посебно. Резултати су показали да чак и кад је мањи проценат средњих дневних протока у мешовитом низу, Сангалов метод даје веће квантиле у односу на оне које се добијају методом нагиба хидрограма и значајно прецењује квантиле великих вода.

У испитиваном узорку од седамнаест сливова, нивови који су састављени искључиво од средњих дневних протока потцењују квантиле великих вода и у поређењу са мешовитим подацима, док у односу на нивове састављене од тренутних максимума, разлика може бити значајна, што указује да на нивовима састављеним искључиво од средњих дневних протока нема смисла спроводити статистичку анализу, јер резултати неће бити релевантни.

Пре саме анализе великих вода препорука је да се добијени тренутни максимуми, уколико постоји могућност, упореде са тренутним максимумима који су се јавили у истим годинама на сродним ХС.

Интервал поверења као мера неизвесности у оцени квантила великих вода показује генерално највећу неизвесност код Сангалове методе. С обзиром на вредности добијених квантила овом методом, већа неизвесност је и очекивана. Иста запажања су и код друге разматране мере неизвесности – варијанси оцене квантила.



Појава већег броја доњих изузетака указала је на већу неизвесност у оцени квантила великих вода, што се најјасније може видети на примеру ХС Гамзиград.

Коефицијент асиметрије низа, као битан параметар у статистичкој анализи, може указати на потенцијалну разлику оцене квантила великих вода из различитих низова. Истраживање указује да код разматраних ХС изражена позитивна асиметрија низа даје вишеструко веће квантиле великих вода, односно изражена негативна асиметрија низа вишеструко ниже вредности квантила у односу на мешовити низ, код примене Лог-Пирсон 3 теоријске расподеле. У разматраним сливовима мале и средње површине, за ниже вредности коефицијената асиметрије од вредности које имају коефицијенти асиметрије референтних низова, могу се очекивати и приближне вредности квантила великих вода. У овим случајевима коришћене методе за добијање тренутних максимума могу дати ниже вредности квантила од оних које се добијају за мешовите низове.

Овим истраживањем показано је да се у већини случајева игнорисањем нехомогености улазних података потцењују квантили великих вода, те да је неопходно да се приликом оцене рачунских великих вода узме у обзир појава средњих дневних протока у низовима годишњих екстрема. За Сангалову методу је забележена иста појава као у раду [11], а то је да постоји тенденција прецењивања вредности тренутних максимума, што даље има за последицу да се прецењују и квантили великих вода. Ова чињеница иде у прилог томе да је метода заснована на нагибу хидрограма адекватнија за примену у пракси, с напоменом да треба пажљиво сагледати и остале битне факторе као што су доњи изузеци и асиметрија низа.

## Захвалница

Овај рад је делом настао у оквиру истраживања у пројекту технолошког развоја ТР 37005 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја под називом „Оцена утицаја климатских промена на водне ресурсе Србије“.

## Литература

1. Благојевић, Б., Михаиловић, В., Ђокић, Н., (2020): Оцена квантила великих вода из непотпуних низова осматрања на већим сливовима у Србији применом прагова перцепције. Водoprивреда 0350-0519, Vol. 52 (2020) No. 306-308 p. 259-272.
2. – (2015) Правилник о садржини, начину вођења и одржавања фонда званичних метеоролошких и хидролошких података и информација, као и методама контроле квалитета и верификације поузданости података и начину њиховог објављивања и коришћења. Службени гласник Републике Србије бр. 30/2015.
3. Blagojević, B., Mihailović, V. Mulaomerović-Šeta, A. (2020) The effect of mixed peak data on the flood quantile estimates in a single station analysis: Case study. Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia, Vol 53 Issue 1 2020. pp. 247-264. Sofia, Bulgaria.
4. Ђокић, Н. (2021): Студијски истраживачки рад 1, Докторске академске студије, Грађевинско-архитектонски факултет Универзитета у Нишу.
5. Chen, B., Krajewski, W. F., Liu, F., Fang, W., Zongxue, X. (2017) Estimating Instantaneous Peak Flow From Mean Daily Flow. Hydrology Research, 2017, 1474-1488.
6. U.S. Army Corps of Engineers (2019) Statistical Software Package HEC-SSP User's Manual, Version 2.2, US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.
7. – (2020) Uredba о utvrđivanju godišnjeg programa monitoringa statusa voda за 2020. godinu. Službeni glasnik Republike Srbije br. 85/2020.
8. Наредба о utvrđivanju оперативног плана за одбрану од поплава за 2021. godinu. Сл. Гласник РС, бр. 158/2020.
9. [http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsins\\_ke\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsins_ke_godisnjaci.php)

# 19. Savetovanje SDHI i SDH - Beograd, Srbija 2021. Conference SDHI & SDH - Belgrade, Serbia 2021.

10. England, J.F.Jr., Cohn, T.A., Faber, B.A., Stedinger, J.R., Thomas, W.O.Jr., Veilleux, A.G., Kiang, J.E., Mason, R.R.Jr. (2018) Bulletin 17C Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Chapter 5 of Section B, Surface Water, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation
11. Sangal, B. P. (1983) Practical Method of Estimating Peak Flow. Journal of Hydraulic Engineering, 1983, 109, 549–563.
12. Hirsch, R. M., and Stedinger, J.R., (1987), Plotting positions for historical floods and their precision: Water resources Research, v. 23, no. 4, p. 715-727.
13. Đokić, N., Blagojević, B., Mihailović, V. (2021) Missing data representation by perception thresholds in flood flow frequency analysis. Journal of Applied Engineering Science - Volume 19 article 810 pages: 432-438.
14. Плавшић, Ј. (2019) Инжењерска хидрологија. Грађевински факултет Универзитета у Београду.