

ХИДРОЛОШКЕ ПРОГНОЗЕ ВЕЛИКИХ И МАЛИХ ВОДА РЕКЕ РАСИНЕ

Љиљана Димитријевић, Александар Радивојевић, Иван Филиповић

Универзитет у Нишу – ПМФ, Одсек за географију, Вишеградска 33, Ниш, Србија

Сажетак: Река Расина настаје на падинама Гоча и Жељина од изворишних кракова Велике и Бурманске реке. После тока од 92,3 km улива се у Западну Мораву 5 km низводно од Крушевца, на 134 m надморске висине. У овом раду ће бити анализирана честина појава великих и малих вода, као и њихов утицај на режим Расине и водoprивредне проблеме у њеном сливу.

Кључне речи: река Расина, велике воде, поплаве, мале воде

Увод

Река Расина настаје на источним и југоисточним падинама Гоча, Жељина и Црног врха, одакле извиру њене саставнице Велика река или Врањуша (Црни врх – 1340 m) и Бурманска река (Вучје брдо – 1360 m). Спајањем ова два тока код Рогавчине настаје река Расина, која се, после тока од 92,3 km улива у Западну Мораву као њена последња значајнија десна притока.

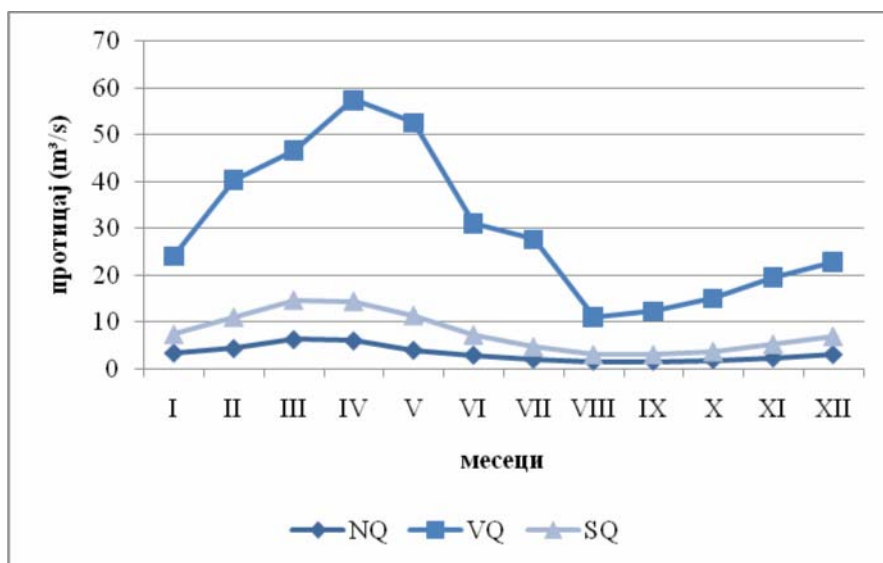
Велики значај у хидролошким проучавањима имају велике и мале воде. За њихову анализу коришћене су вредности средњих максималних и минималних протицаја са водомерне станице са најдужим периодом осматрања у Бивоље за период од 1950 до 2006. године, као средње и екстремне вредности протицаја са станица Брус и Равни, од 1961, тј. 1985. до 2006. године.

Режим великих и малих вода у сливу Расине

Максималне воде у периоду од 1950 – 2006. године на реци Расини јављале су се у априлу, а минималне у августу и септембру. Велике воде током пролећних месеци последица су, у највећој мери отапања снега у брдско – планинском делу слива. Минималне воде крајем лета и почетком јесени последица су смањеног интензитета падавина и високих температура ваздуха, тј. интензивнијег испаравања.

Табела 1 - Амплитуде протицаја Расине (m³/s)

Период	Станица	Амплитуда	Станица	Амплитуда	Станица	Амплитуда
1961–1985.	Брус	16,73			Бивоље	59,67
1985– 2006.	Брус	15,95	Равни	24,30	Бивоље	48,16



Сл. 1 - Велике, средње и мале воде Расине у периоду 1950 – 2006.

У табели 1 су приказане амплитуде средњих годишњих максималних и минималних протицаја. У периоду од 1961 – 1985. године амплитуде су биле веће у Бивољу него у Брусу, а однос максималних и минималних вода готово уједначен - 1: 32,99 у Брусу и 1: 32,77 у Бивољу. У периоду од 1985 – 2006. године најнеповољнији однос максималних и минималних протицаја забележен је у Бивољу – 1: 39,90, затим у Брусу 1: 29,08 и у Равнима 1: 19,58.

Табела 2 - Однос средњих максималних и минималних протицаја реке Расине

Година	1961.	1962.	1963.	1964.	1965.	1966.	1967.	1968.	1969.	1970.
Брус	6.58	4.31	4.78	7.75	9.51	5.81	7.59	4.42	7.74	5.8
Бивоље	8.45	9.11	8.69	8.49	10.98	11.61	14.89	4.98	13.40	11.63
Година	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
Брус	7.97	11.49	11.71	7.89	7.9	8.56	8.45	5.53	9.32	4.43
Бивоље	12.41	6.29	5.91	7.50	13.57	11.47	9.82	12.10	15.90	12.91
Година	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	1988.	1989.	1990.
Брус	6.48	4.45	9.62	5.25	5.91	6.52	7.46	4.03	6.06	3.55
Равни					8.48	4.80	5.56	6.20	9.07	4.34
Бивоље	5.53	9.87	5.54	3.69	7.38	6.80	15.36	4.85	11.57	8.43
Година	1991.	1992.	1993.	1994.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.
Брус	5.21	4.9	4.8	6.89	4.92	5.74	4.75	4.76	8.02	2.93
Равни	8.91	7.00	5.57	11.47	8.41	7.67	8.66	7.44	8.67	3.23
Бивоље	9.25	6.13	6.60	5.54	6.40	5.09	5.34	3.77	11.52	3.11
Година	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.				
Брус	9.49	6.77	4.02	6.59	10.06	4.63				
Равни	7.76	8.03	3.74	5.15	9.80	5.49				
Бивоље	6.54	4.44	3.26	4.73	12.35	6.56				

У табели 2 су приказани односи између средњих максималних и минималних вредности протицаја забележених у датој години. Тај однос на станици у Брусу је био најизраженији 1973. године, када је забележен средњи максимални протицај од 9,37 m³/s, а минимални од 0,8 m³/s, у Равнима 1994. године, када је у забележен средњи максимални протицај од 11,76 m³/s, а минимални од 1,025 m³/s, а у Бивољу 1987.

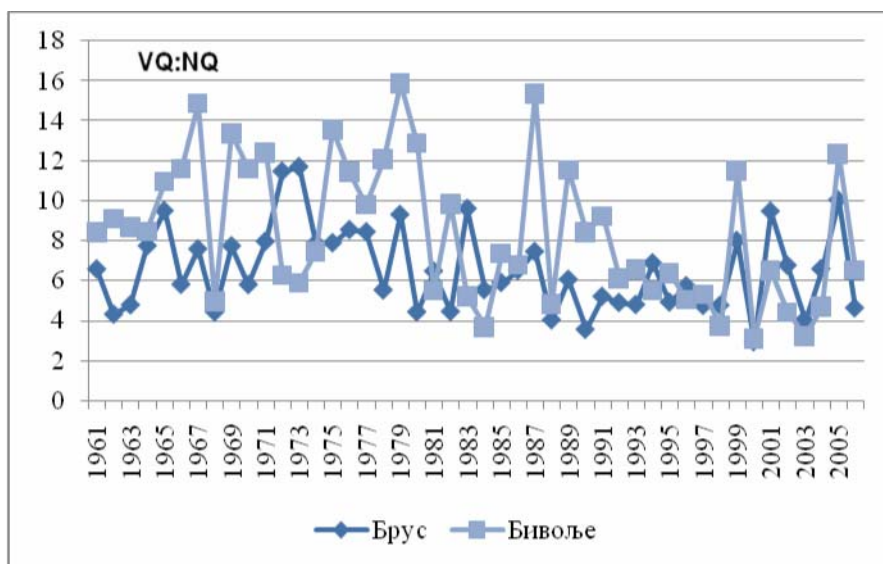
године, када је средњи максимални протицај износио $31,64 \text{ m}^3/\text{s}$, а минимални $2,06 \text{ m}^3/\text{s}$.

Најмање разлике забележене су на свим водомерним станицама 2000. године, која је у категоризацији година по водности одређена као сушна година.

Апсолутно максимални протицај на реци Расини у посматраном периоду, забележен је у новембру 1979. и износио је $291 \text{ m}^3/\text{s}$. Истог дана забележен је максимални протицај и на најузводнијој станици у Брусу. Првог августа 1985. речно корито Расине је остало суво, без протицаја. Ако изузмемо овај податак, коритом Расине је најмање воде протекло 15.7.1968. године, 200 l/s . Однос апсолутно максималних и минималних протицаја на Реци Расини креће се од 1:397,4 у Равнима, 1:991,8 у Брусу до 1: 1455 у Бивољу. Апсолутно максимални протицај на реци Расини измерен је у Бивољу 30.04.1958. године и износио је $342 \text{ m}^3/\text{s}$, што у односу на најмањи протицај од 200 l/s даје однос 1: 1710.

Табела 3. Апсолутно максимални и минимални протицаји на Расини (m^3/s) у периоду 1961 – 2006.

Водомерна станица	Апсолутно минимални протицај	Датум појаве	Апсолутно максимални протицај	Датум појаве	Однос
Брус	0,122	30.9.2006.	121	19.11.1979.	1: 991,8
Равни	0,420	15.8.1998.	166,9	7.5.2005.	1:397,4
Бивоље	0,200	15.7.1968.	291	19.11.1979.	1: 1455



Сл. 2 - Упоредни приказ односа максималних и минималних протицаја Расине у периоду 1961 – 2006.

Прогноза великих вода

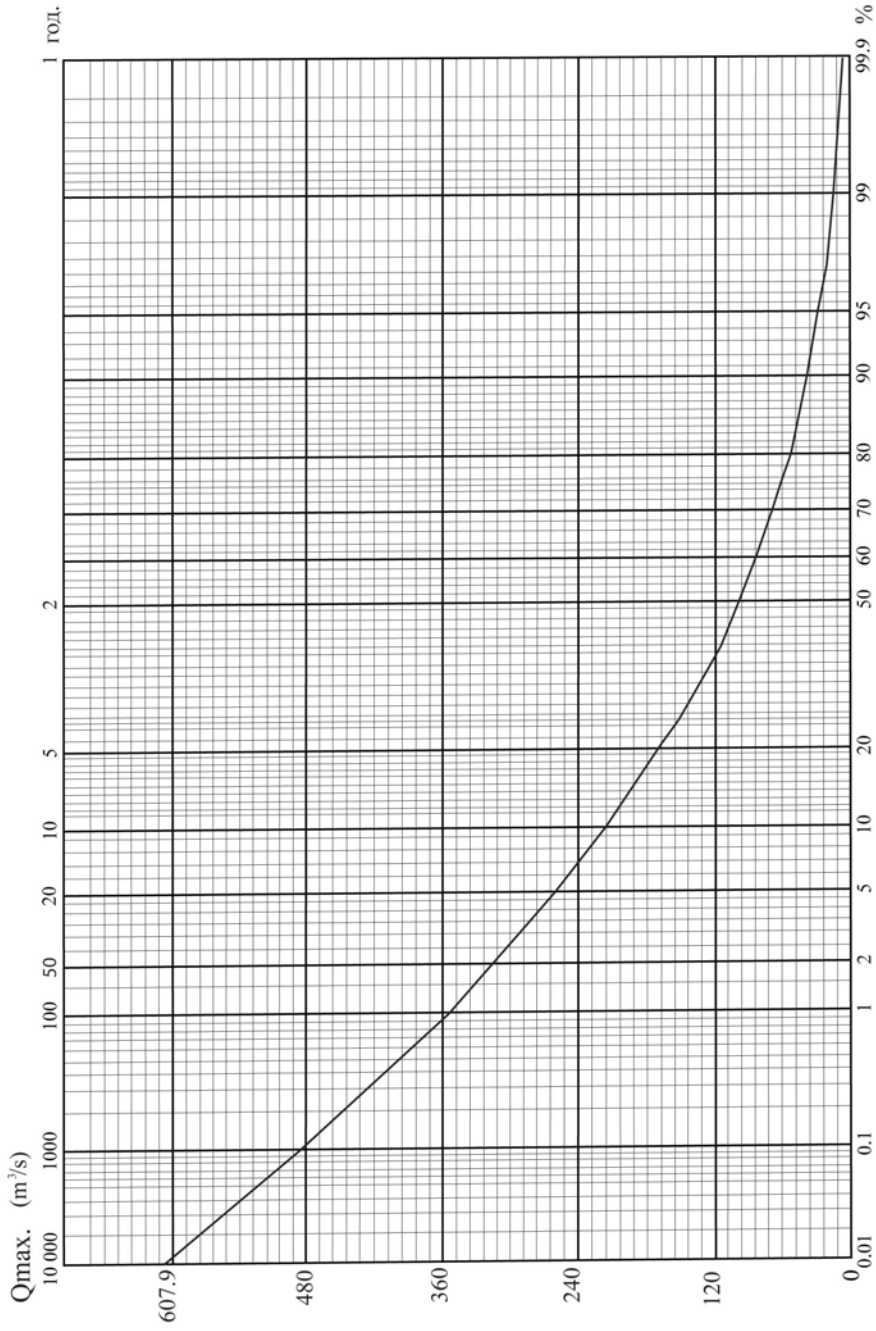
На основу података о апсолутно минималним и максималним протицајима могуће је урадити прогнозе појава ових вода у реци. У овом раду користимо метод серија, који је погодан за одређивање вероватноће појаве одређеног хидролошког елемента (водостај, протицај). За израду криве честине, максималних тј. минималних протицаја коришћена је Пирсонова функција III типа.

За прогнозу протицаја реке Расине прво је израчунат просечан вишегодишњи максимални протицај (SrQ_{max}) на станици Бивоље за период од 1950 – 2006. године, чија је вредност $115,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Затим је израчунат модулни коефицијент на основу једначине $k = \frac{\sum Q_{max.}}{SrQ_{max}}$. На основу модулног коефицијента израчунава се коефицијент варијације (Cv), који показује променљивост годишњег протицаја, тј. степен променљивости бројева у низу осматраних величина, према обрасцу $Cv = \sqrt{\frac{\sum (k-1)^2}{n}}$ (Гавриловић Љ., 1988). За реку Расину коефицијент варијације износи 0,64, што нам указује на знатну променљивост годишњих максималних протицаја. Да би се избегле негативне вредности, коефицијент асиметрије је израчунат као $Cs = 2Cv$, што даје вредност од 1,28. Овај коефицијент показује асиметричност криве расподеле годишњих протицаја према њиховој средњој вредности.

Коришћењем ових параметара, а помоћу таблице С И. Рибикина израчунате су вероватноће појаве минималних водостаја на најнизводнијој водомерној станици Бивоље и приказане су помоћу криве учесталости великих вода на слици 3.

Табела 4. Вероватни максимални протицаји Расине

Вероватноћа (%)	Вероватноћа у годинама	Q max.
0,01	10000	607.9
0,1	1000	482.7
1	100	353.7
3	33,3	289.3
5	20	258.1
10	10	215.2
20	5	169.2
25	4	153.6
30	3,3	140.2
40	2,5	118.8
50	2	100.3
60	1,6	83.9
70	1,42	69.1
75	1,33	60.9
80	1,25	53.5
90	1,11	37.3
95	1,05	26.9
97	1,03	20.9
99	1,01	13.5
99,9	1	6.1



Сл. 3 Крива вероватноће појављивања максималних протицаја

На основу добијених резултата можемо закључити да се сваке године може очекивати максимални протицај са вероватноћом појаве 99,9 %, од 6,1 m³/s, а са вероватноћом од 99%, протицај од 13,5 m³/s. Максимални протицај од 342 m³/s, који се у Бивољу јавио 30.4.1958. године, може се очекивати једном у 75 година, тј. вероватноћа да ће се десити је 1,33%.

Максимални забележени протицај у периоду од 1961 до 2006 године од 291 m³/s може се очекивати једном у 40 година.

Попавле у сливу Расине

Анализа великих вода и њихова хидролошка прогноза значајна је због могућности предвиђања поплава и спровођења одговарајућих мера за смањење њиховог штетног утицаја. У сливу реке Расине поплавама је најугроженији средњи део слива. У горњем делу слива Расина и њене веће притоке имају дубље усечено речно корито, па велике воде плаве само мали приобални део. На делу тока низводно од Разбојне, где су мањи падови речног корита и где се осећа успор протицаја због акумулације “Ћелије“, велике воде угрожавају нешто већи простор, посебно пољоривредне површине и усеве на њима. Низводно од акумулације поплаве се јављају ређе, јер акумулација задржава велику количину воде, коју речно корито не би могло да прими.

Веће поплаве у сливу Расине забележене су у јуну 1975. године. Тада је, услед обилних падавина у сливу Кобиљске реке, десне притоке Расине, чије се извориште налази на Јастрепцу, протицај увећан неколико пута. То је довело до изливања речне воде, која је заједно са ношеним материјалом направила праву пустош у селима Станци, Кобиље и Велико Головоде. Вода тада није уништила само засађене пољопривредне површине, већ је однела и ситну стоку, грађевински материјал, сено, пољопривредни алат (Гавриловић Љ., 1981). Ове чињенице најбоље показују колика је била снага и штетно дејство поплавног таласа.

Мање поплаве у сливу Расине забележене су у марту 2006. године, када је већи део Србије био захваћен поплавама и клизиштима. Тада су поплаве захватиле углавном део долине низводно од језера Ћелије, због велике количине воде која је у кратком времену морала да буде испуштена из акумулације, да би се заштитила брана. Већу штету приобаљу Расине тада су донела клизишта, највећег интензитета на брду Багдала у Крушевцу и на сеоском гробљу у Мудраковцу.

Израчунавањем индекса поводња на реци Расини добијамо вредности од 7,86 у средњем делу слива, до 9,40 у доњем делу слива. Средња вредност индекса поводња за цео слив износи 8,52, што указује на умерену појаву поводња, као и на већини реке у Србији.

Табела 5 - Индекс релативне величине поводња реке Расине

Река	Станица	F (km ²)	Q (m ³ /s)	А	Asr.
Расина	Брус	213	121	8.29	8.52
	Равни	451	166,9	7.86	
	Бивоље	958	291	9.4	

$$A = Q/\sqrt{F} \text{ (Гавриловић Љ., 1981)}$$



**Слика 4. Поплаве реке Расине низводно од Бивоља 25.03.2006. године
(фото Љ. Димитријевић)**

Пре изградње бране поплавни утицај великих вода ширио се у долини Расине на површину од 4100 ha. Изградњом акумулације „Телије“ ове површине су у великој мери заштићене од даљег плављена. Насипи за одбрану од поплава дуж тока реке Расине налазе се на левој обали од ушћа у Западну Мораву до железничког моста на дужини од 3900 m и код Крушевца на дужини од 2000 m (Вујовић Р., 1995). Оба насипа задовољавају потребне критеријуме за одбрану од поплава на територији града Крушевца.

Повољну околност са аспекта заштите од поплава у сливу Расине представља дубље усечено корито реке и њених већих притока, тако да се велике воде углавном локализују на уској алувијалној равни.

Прогноза малих вода

Мале воде се најчешће јављају у летњем периоду године. Тада долази до спуштања нивоа подземних вода, смањења количине воде у акумулацијама, смањења издашности извора и врела и влажности земљишта.

Мале воде имају велики значај у водопривреди, јер познавање њихових карактеристика омогућује адекватно планирање и управљање у области водоснабдевања становништва и индустрије, наводњавања, заштите вода, посебно у рецесионом периоду године

Прорачун појаве малих вода извршен је на исти начин и за исти период као и за велике воде. Вишегодишњи просечни минимални протицај износи $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Коефицијент варијације је 0,49, што нам указује на знатну променљивост годишњих минималних протицаја. Да би се избегле негативне вредности, коефицијент асиметрије је израчунат као $C_s = 2C_v$, што даје вредност од 0,98.

На основу добијених резултата, можемо закључити да се сваке године може очекивати минимални протицај са вероватноћом појаве 99,9 %, од 0,141 m³/s, а са вероватноћом од 99%, протицај од 0,254 m³/s. Максимални минимални протицај од 2,6 m³/s забележен у овом периоду можемо очекивати једном у 50 година.

Појава малих вода чија је вредност мања од једног m³ је честа, са вероватноћом појаве од 60 – 99,9%, што може да доведе до значајних водопривредних проблема. Ово се посебно односи на летње месеце, када су падавине ређе, дотицање воде из подземних извора мало, а потребе за водом становништва и индустрије велике.

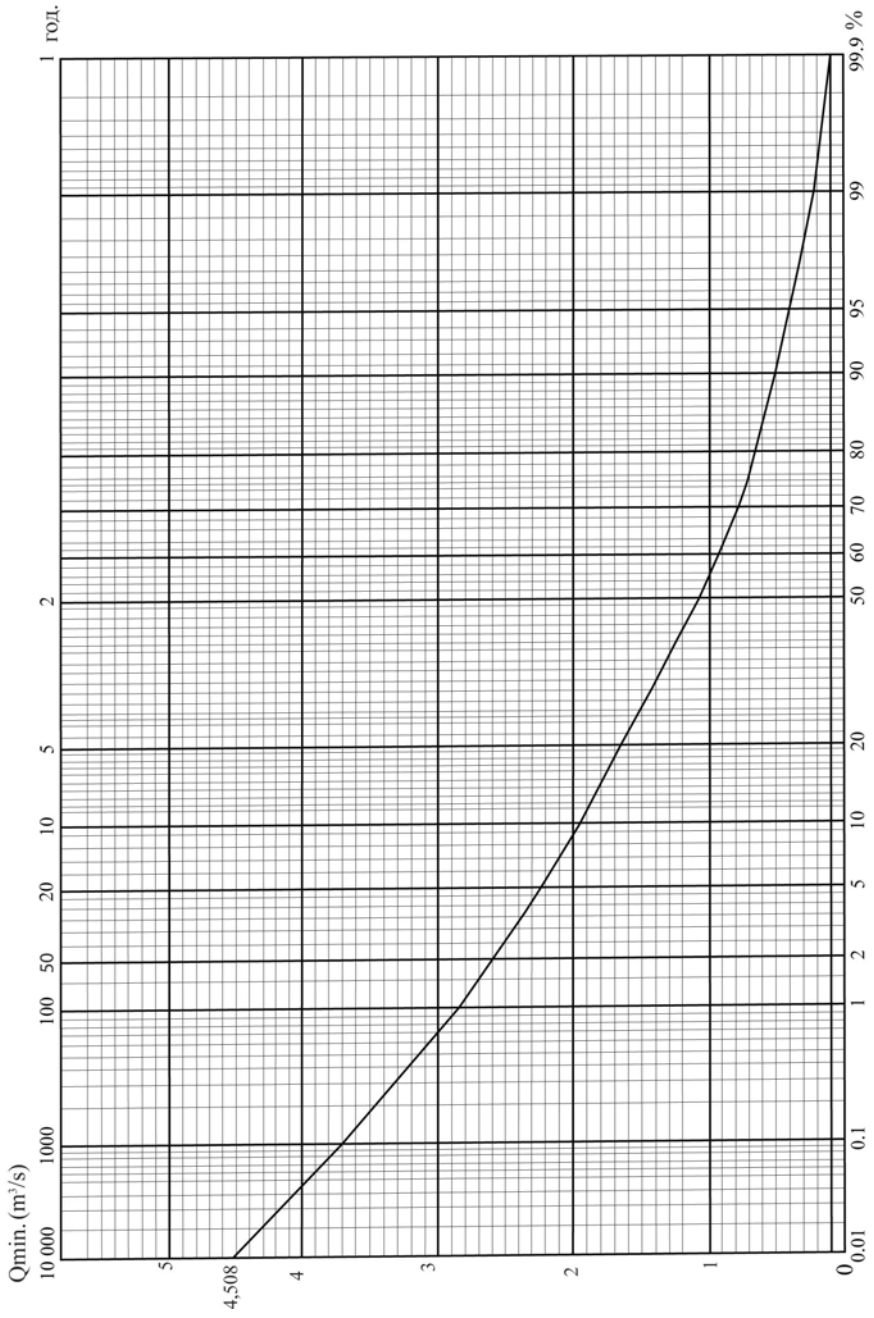
Табела 6. Вероватни минимални протицаји Расине

Вероватноћа (%)	Вероватноћа у годинама	Q min.
0,01	10000	4,508
0,1	1000	3,701
1	100	2,852
3	33,3	2,418
5	20	2,209
10	10	1,906
20	5	1,578
25	4	1,461
30	3,3	1,364
40	2,5	1,201
50	2	1,06
60	1,6	0,93
70	1,42	0,8
75	1,33	0,738
80	1,25	0,67
90	1,11	0,513
95	1,05	0,406
97	1,03	0,35
99	1,01	0,254
99,9	1	0,141

Закључак

Анализа великих и малих вода указује на то да садашњи ниво регулације токова у сливу Расине није на задовољавајућем нивоу. Део тока низводно од Разбојне, где су мањи падови речног корита и где се осећа успор протицаја због акумулације “Ђелије“, велике воде угрожавају нешто већи простор, посебно пољоривредне површине и усева на њима. Најобимније радове би требало предузети на регулацији токова већих притока Расине, отклањању отпада из њихових корита и пошумљавању слива.

Мале воде представљају један од најзначајнијих елемената водопривреде. Њихово детаљно проучавање и познавање од великог је значаја за за управљање водопривредним системима намењеним пре свега водоснабдевању становништва (акумулација „Ђелије“), наводњавању обрадивих површина у Крушевачкој котлини и очувању природне средине, пре свега у водозахватном делу акумулације.



Сл. 5 Крива вероватноће појављивања минималних протицаја

Литература

- Вујовић Р. (1995): Воде Србије, планови развоја и неке реализације у водопривреди. Београд: ИРО Грађевинска књига
- Гавриловић, Љ. (1981). Поплаве у Србији у XX веку, узроци и последице. Београд: *Посебна издања Српског географског друштва*, 52
- Гавриловић, Љ. (1988). Хидрологија у просторном планирању. Београд: Група аутора. (1988). Просторни план подручја посебне намене слива водоакумулације „Телије“. Београд. Институт за архитектуру и урбанизам
- Дукић, Д. (1955). Прилог регионалном познавању речних режима у Југославији. Београд: *Гласник Српског географског друштва*, 34, (2), 119 -138
- Дукић, Д. (1964). О времену појављивања апсолутно најмањих вода на рекама и језерима у СФР Југославији. Београд: *Зборник радова Географског завода*, 11, 53 - 63
- Дукић, Д. (1971). О забележеним екстремним протицајима на рекама у СР Србији. Београд: *Гласник Српског географског друштва*, 51, (2)
- Дукић, Д., Гавриловић, Љ. (2004). Реке Србије. Београд: *Завод за уџбенике и наставна средства*
- Милинчић, М., Пецељ, М. (2008). Природна основа геоеколошких процеса Жупе александровачке, Београд: *Гласник Српског географског друштва*, 88, (1), 53 - 68
- Милић, Ч. (1957). Сливови Расине и Пепелуше – геоморфолошке одлике. Београд: *Гласник института Јован Цвијић САНУ*, 9, (2), 162 -163
- Милић, Ч. (1964). Један пример изградње речне мреже на тектонском сутоку, Београд. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 19, 31 - 56
- Никић, З. (2003). Хидрогеолошка анализа формирања и регионализација малих вода. Београд: Задужбина Андрејевић
- ***1950-2006. Хидролошки годишњаци. Београд: Републички хидрометеоролошки завод

HYDROLOGICAL PROGNOSIS FOR HIGH AND LOW WATERS OF THE RIVER OF RASINA

LJILJANA DIMITRIJEVIĆ¹, ALEKSANDAR RADIVOJEVIĆ, IVAN FILIPOVIĆ

Faculty of Science and Mathematics, Department of Geography, Nis, Višegradska 33

Abstract: The river of Rasina arises on the slopes of the mountains of Goč and Željina, from spring arms of the Velika and Burmanska river. After the flow of 92.3 km, it flows into the river of Zapadna Morava 5 km downstream Kruševac, 134 meters above sea level. This work analyzes the frequency of occurrences of high and low waters, as well as their influence on the regime of Rasina and water management problems in its basin

Key words: the river of Rasina, high waters, flood, low waters

Introduction

The river of Rasina arises on the East and South-East slopes of the mountains of Goč, Željina and Crni Vrh, where its tributaries Velika river or Vranjuša (Crni Vrh – 1340 m) and Burmanska river (Vučje brdo – 1360 m) spring up. The river of Rasina develops when these two courses conjoin at Rogavčina. After its course of 92.3 km, Rasina flows into the river of Zapadna Morava as its last significant right confluent.

High and low waters are of a great importance in hydrological research. To analyze them, we used values of average maximum and minimum flows from water meter station with the longest period of observation in Bivolje for the period from 1950 to 2006, as well as average and extreme values of flow from the stations of Brus and Ravni since 1961, that is, 1985 up to 2006.

Regime of high and low waters in the basin of Rasina

Maximum waters in the period from 1950 – 2006 on the river of Rasina, occurred in April, whereas minimal waters occurred in August and September. High waters during spring months are mostly the consequence of snow melting in highland part of the basin. Minimum waters by the end of summer and at the beginning of autumn are the consequence of decreased precipitation intensity and high air temperatures, that is, more intensive vaporization.

Table 1. Amplitudes of discharge of Rasina river(m³/s)

Period	Station	Amplitude	Station	Amplitude	Station	Amplitude
1961–1985	Brus	16.73			Bivolje	59.67
1985–2006	Brus	15.95	Ravni	24.30	Bivolje	48.16

¹ e-mail: dimitrijevic_lj@yahoo.com

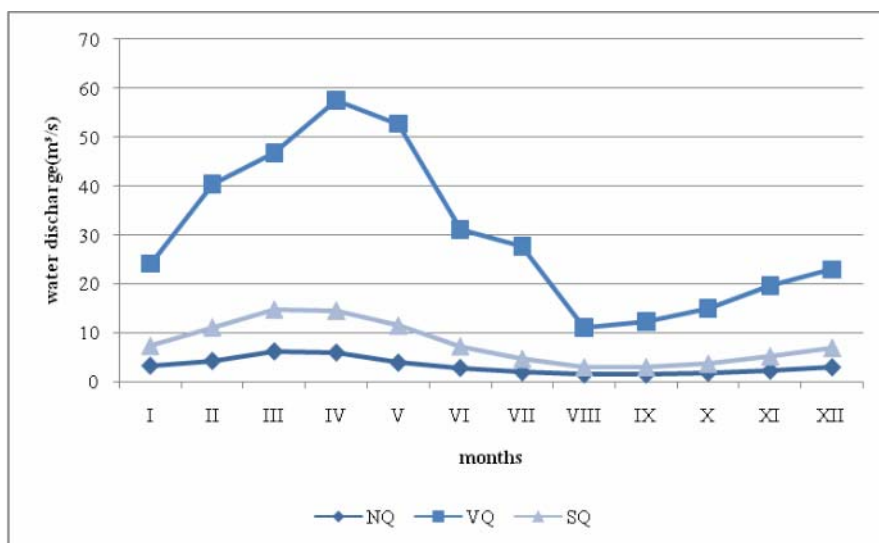


Figure 1. High, medium and low waters of Rasina in the period from 1950 – 2006

Table 1 shows the amplitudes of average annual maximum and minimum discharge. In the period from 1961 – 1985 the amplitudes were higher in Bivolje than in Brus, while the ratio of maximum and minimum waters was almost even - 1: 32.99 in Brus and 1: 32.77 in Bivolje. The most unfavorable ratio of maximum and minimum discharge in the period from 1985 – 2006, was recorded in Bivolje – 1: 39.90, then in Brus - 1: 29.08, and in Ravni - 1: 19.58.

Table 2 shows proportions between average maximum and minimum discharge values recorded in the given year. That proportion was the most pronounced in 1973 in Brus station, when average maximum discharge of 9.37 m³/s was recorded, whereas minimum discharge of 0.8 m³/s; in Ravni in 1994, when average maximum discharge of 11.76 m³/s, and minimum discharge of 1.025 m³/s were recorded; and in 1987 in Bivolje, when average maximum discharge amounted to 31.64 m³/s, whereas minimum discharge amounted to 2.06 m³/s.

Table 2. The ratio of average maximum and minimum discharge of the river of Rasina

Year	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Brus	6.58	4.31	4.78	7.75	9.51	5.81	7.59	4.42	7.74	5.8
Bivolje	8.45	9.11	8.69	8.49	10.98	11.61	14.89	4.98	13.40	11.63
Year	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Brus	7.97	11.49	11.71	7.89	7.9	8.56	8.45	5.53	9.32	4.43
Bivolje	12.41	6.29	5.91	7.50	13.57	11.47	9.82	12.10	15.90	12.91
Year	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Brus	6.48	4.45	9.62	5.25	5.91	6.52	7.46	4.03	6.06	3.55
Ravni					8.48	4.80	5.56	6.20	9.07	4.34
Bivolje	5.53	9.87	5.54	3.69	7.38	6.80	15.36	4.85	11.57	8.43
Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Brus	5.21	4.9	4.8	6.89	4.92	5.74	4.75	4.76	8.02	2.93
Ravni	8.91	7.00	5.57	11.47	8.41	7.67	8.66	7.44	8.67	3.23
Bivolje	9.25	6.13	6.60	5.54	6.40	5.09	5.34	3.77	11.52	3.11
Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006				
Brus	9.49	6.77	4.02	6.59	10.06	4.63				
Ravni	7.76	8.03	3.74	5.15	9.80	5.49				
Bivolje	6.54	4.44	3.26	4.73	12.35	6.56				

The smallest differences were recorded in all water meter stations in 2000. This year is specified as drought year in year categorization by water quantity.

Table 3. Absolute minimum and maximum discharge on Rasina (m³/s) in the period 1961 – 2006

Water meter station	Absolute minimum flow	Date of occurrence	Absolute maximum flow	Date of occurrence	Ratio
Brus	0.122	30/9/2006	121	19/11/1979	1: 991.8
Ravni	0.420	15/8/1998	166.9	7/5/2005	1:397.4
Bivolje	0.200	15/7/1968	291	19/11/1979	1: 1455

Absolute maximum discharge on the river of Rasina in the observed period was recorded in November of 1979, and it amounted to 291 m³/s. Maximum discharge was recorded in the most upstream station in Brus on the same day. On the first of August in 1985, the river-bed of Rasina was dry, without any discharge. If we leave this data out, the least water in the river-bed of Rasina flew on 15/7/1968, in the amount of 200 l/s. The ratio of absolute maximum and minimum discharge on the river of Rasina goes from 1:397.4 in Ravni, 1:991.8 in Brus, up to 1: 1455 in Bivolje. Absolute maximum discharge on Rasina was recorded in Bivolje on 30/04/1958, and it amounted to 342 m³/s, which, when compared to the lowest discharge of 200 l/s presents a ratio of 1: 1710.

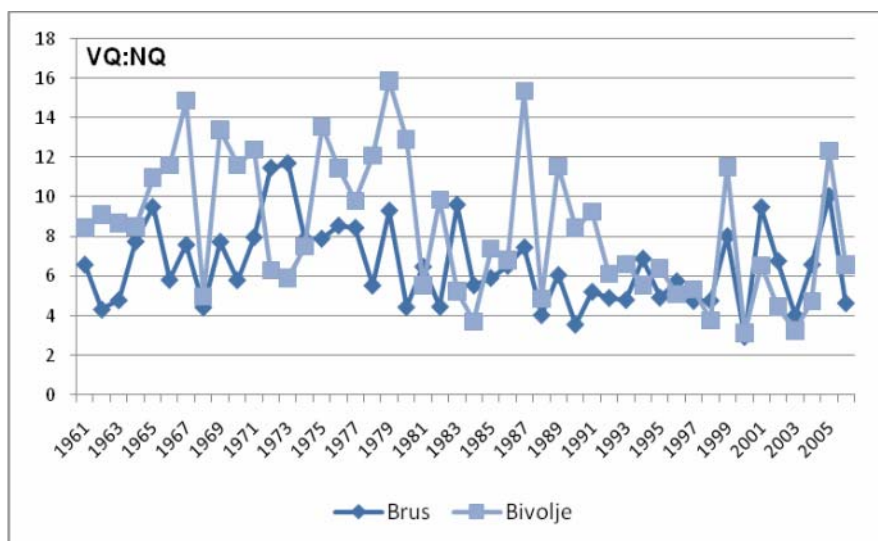


Figure 2. Comparative overview of the ratio of maximum and minimum Rasina discharges in the period from 1961 – 2006.

Prognosis of high waters

On the basis of the data on absolute minimum and maximum discharge, it is possible to make a prognosis of occurrence of these waters in the river. In this work we are going to use a method of series, which is suitable for determination of probability of occurrence of a certain hydrological element (water level, flow). We used Pearson type III distribution to produce frequency curve of maximum, that is, minimum discharge.

To prognosticate the flow of Rasina, we first calculated average perennial maximum discharge (SrQ_{max}) on Bivolje station for the period from 1950 – 2006, the value of which amounted to 115.8 m³/s. Then we calculated modular quotient on the basis of

equation $k = \frac{\sum Q_{max.}}{Sr Q_{max.}}$. We calculated variation quotient (Cv), which shows variability of annual discharge, that is, the degree of variability of numbers in the series of values observed, on the basis of modular quotient, according to the model $Cv = \sqrt{\frac{\sum (k-1)^2}{n}}$ (Gavrilović Lj., 1988). Variation quotient for the river of Rasina is 0.64, which shows considerable variability in annual maximum flows. To avoid negative values, asymmetry quotient is calculated as $Cs = 2Cv$, which amounts to 1.28. This quotient shows the asymmetry of the curve of annual discharge distribution according to their average value.

By using these parameters, with the help of S. I. Ribikin tables, we calculated probabilities of the occurrence of minimum water levels on the most downstream water meter station Bivolje. These are shown by high waters frequency curve on Picture 3.

Table 4. Probable maximum discharges in Rasina river

Probability (%)	Probability in years	Q max.
0.01	10000	607.9
0.1	1000	482.7
1	100	353.7
3	33.3	289.3
5	20	258.1
10	10	215.2
20	5	169.2
25	4	153.6
30	3.3	140.2
40	2.5	118.8
50	2	100.3
60	1.6	83.9
70	1.42	69.1
75	1.33	60.9
80	1.25	53.5
90	1.11	37.3
95	1.05	26.9
97	1.03	20.9
99	1.01	13.5
99.9	1	6.1

On the basis of results obtained we can come to a conclusion that minimum discharge of 0.141 m³/s with 99.9 % probability of occurrence can be expected each year, whereas the discharge of 13.5 m³/s can be expected with 99% probability. Maximum discharge of 342 m³/s recorded in Bivolje on 30/4/1958 can be expected once in 75 years, that is, the probability of its happening is 1.33%.

Maximum recorded discharge of 291 m³/s in the period from 1961 to 2006 can be expected once in 40 years.

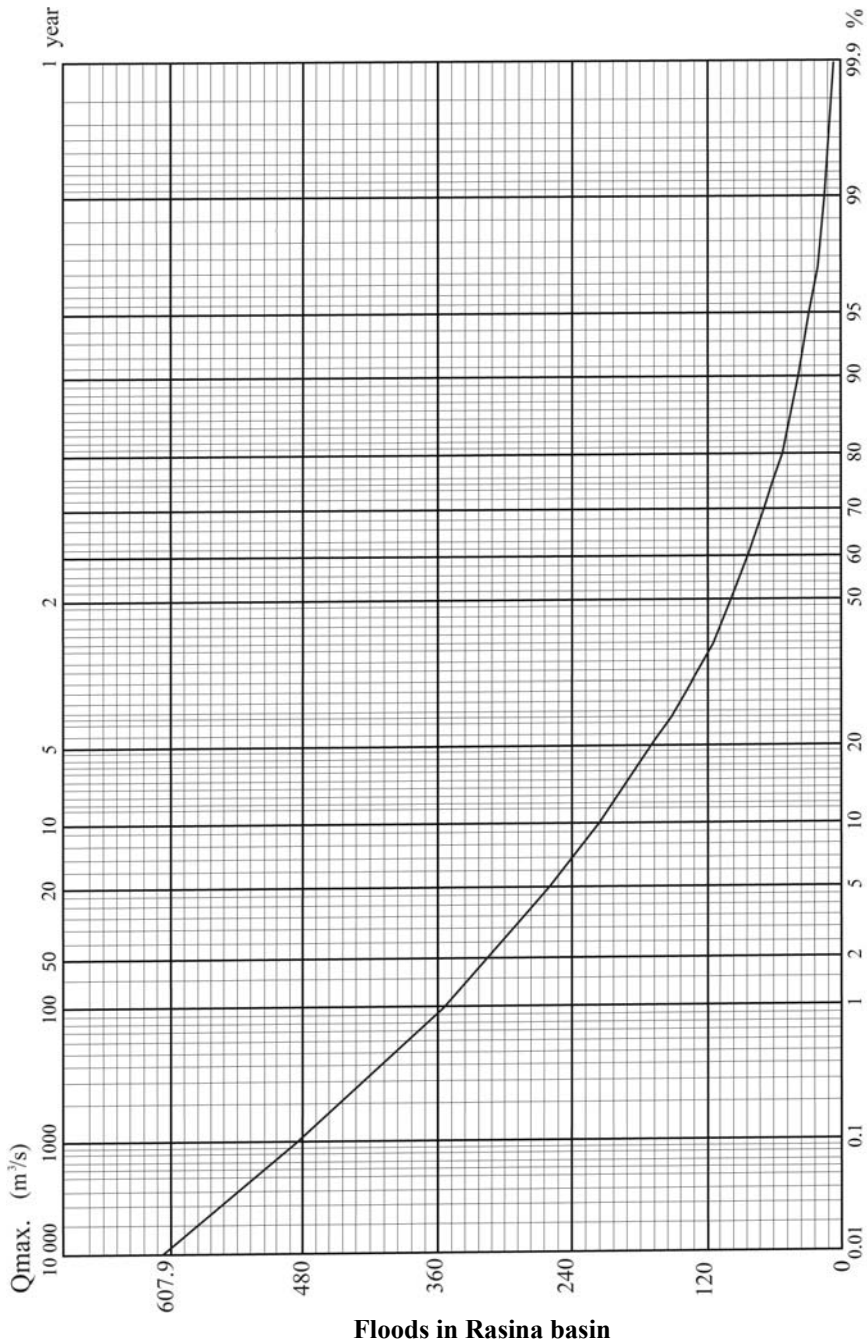


Figure. 3 Frequency curve of maximal discharges appearance

Analysis of high waters and their hydrological prognosis is significant because of the possibility of flood prediction, as well as the implementation of appropriate measures to reduce their harmful influence. In the basin of Rasina, floods endanger the middle part of the basin the most. In the upper part of the basin, Rasina and its bigger confluent have deeper river-bed, so that high waters flood only a small bank area. On the part of the course downstream Razbojna, where river-bed is shallower, and where course is slower because of “Ćelije” accumulation, high waters endanger somewhat bigger space, especially agricultural

areas and crops on them. Downstream accumulation floods occur less frequently, because accumulation retains big quantity of water, which river-bed could not hold.

Greater floods in Rasina basin were recorded in June 1975. The flow was then amplified by several times, due to ample precipitation in the basin of Kobiljska river, right confluent of Rasina, the spring of which is situated on the mountain of Jastrebac. It resulted in outflow of river water, which, together with all the things it carried, devastated the villages of Stanci, Kobilje and Veliko Golovode. The water not only ruined crops, but it also carried away small animals, hay and agricultural tools (Gavrilović Lj., 1981). These facts best show the power and harmful effects of the flood wave.

Minor floods in Rasina basin were recorded in March 2006, when larger part of Serbia was affected by floods and landslides. Floods mostly affected the part of the valley downstream Čelije, because of the big amount of water which had to be released from accumulation in a short time, so as to protect the dam. Landslides did significant damage to the banks of Rasina, mostly on Bagdala hill in Kruševac, and village cemetery in Mudrakovac.

When we calculate flood index on the river of Rasina, we get the values of 7.86 in the medium part of the basin, up to 9.40 in the lower part of the basin. Mean of flood index for the whole basin amounts to 8.52, which indicates moderate occurrence of floods, as for the most Serbian rivers.

Table 5. High water relative values index for Rasina river

River	Station	F (km ²)	Q (m ³ /s)	A	Asr.
Rasina	Brus	213	121	8.29	8.52
	Ravni	451	166.9	7.86	
	Bivolje	958	291	9.4	

A = Q/√F (Gavrilović Lj., 1981)

Before the dam was built, flood influence of high waters spread to the valley of Rasina, on the surface of 4100 ha. When “Čelije” accumulation was built, these surfaces were mostly protected from further flooding. Embankments for protection from floods along the course of Rasina can be found on the left bank from the delta into Zapadna Morava up to Railway bridge, 3900 meters long, and near Kruševac, 2000 meters long (Vujović R., 1995). Both embankments satisfy the necessary criteria for protection from floods on the territory of the town of Kruševac.

Figure 4 – Floods of the river of Rasina downstream Bivolje on 25/03/2006 (photo: Lj. Dimitrijević)

Deep river-bed of Rasina and its bigger confluents represents a favorable circumstance from the aspect of flood protection in Rasina basin, so that high waters are mostly localized on a narrow alluvial plane.

Low waters prognosis

Low waters most often occur in summer period of the year, because then the level of underground waters drops, there is less water in accumulation, profusion of springs and wells is scarce, as well as soil humidity.

Low waters are of a big significance for water management, because the knowledge of their characteristics enables adequate planning and management in the area of water supply of population and industry, irrigation, and water protection, especially in recessional period of the year.

Calculation of the occurrence of low waters was done in the same way, as well as for the same period as for high waters. Perennial average minimum flow amounts to 1.15 m³/s. Variation quotient is 0.49, which shows considerable variability in annual minimum flows. To avoid negative values, we calculated asymmetry quotient as $C_s = 2C_v$, which amounts to 0.98.

Table 6 – Probable minimum discharges in Rasina river

Probability (%)	Probability in years	Q min.
0.01	10000	4.508
0.1	1000	3.701
1	100	2.852
3	33.3	2.418
5	20	2.209
10	10	1.906
20	5	1.578
25	4	1.461
30	3.3	1.364
40	2.5	1.201
50	2	1.06
60	1.6	0.93
70	1.42	0.8
75	1.33	0.738
80	1.25	0.67
90	1.11	0.513
95	1.05	0.406
97	1.03	0.35
99	1.01	0.254
99.9	1	0.141

On the basis of the results obtained, we can come to a conclusion that minimum discharge with 99.9 %, of 0.141 m³/s probability of occurrence can be expected each year, whereas the discharge of 0.254 m³/s can be expected with 99% probability. Maximum minimum discharge of 2.6 m³/s recorded in this period can be expected once in 50 years.

Occurrence of low waters, value of which is lower than one m³ is often, the probability of occurrence is 60 – 99.9%, which can lead to significant problems in water management. This goes particularly for summer months, when precipitation is scarce, water flow from underground springs insufficient, and the population's and industrial need for water significant.

Conclusion

Analysis of high and low waters shows that the present level of course regulation in Rasina basin is not on a satisfactory level. A part of the course downstream Razbojna where river-bed is shallower, and where course is slower because of "Ćelije" accumulation, high waters endanger somewhat bigger space, especially agricultural areas and crops on them. The most extensive works should be done on the regulation of courses of bigger Rasina's confluents, removing waste out of their river-beds, and forestation of the basin.

Low waters represent one of the most significant elements of water management. Detailed research and knowledge of low waters is of a high importance for operating water management systems principally designated for water supply of population ("Ćelije" accumulation), irrigation of cultivated areas in Kruševac basin and preservation of natural environment, principally in the part of accumulation where the water is used.

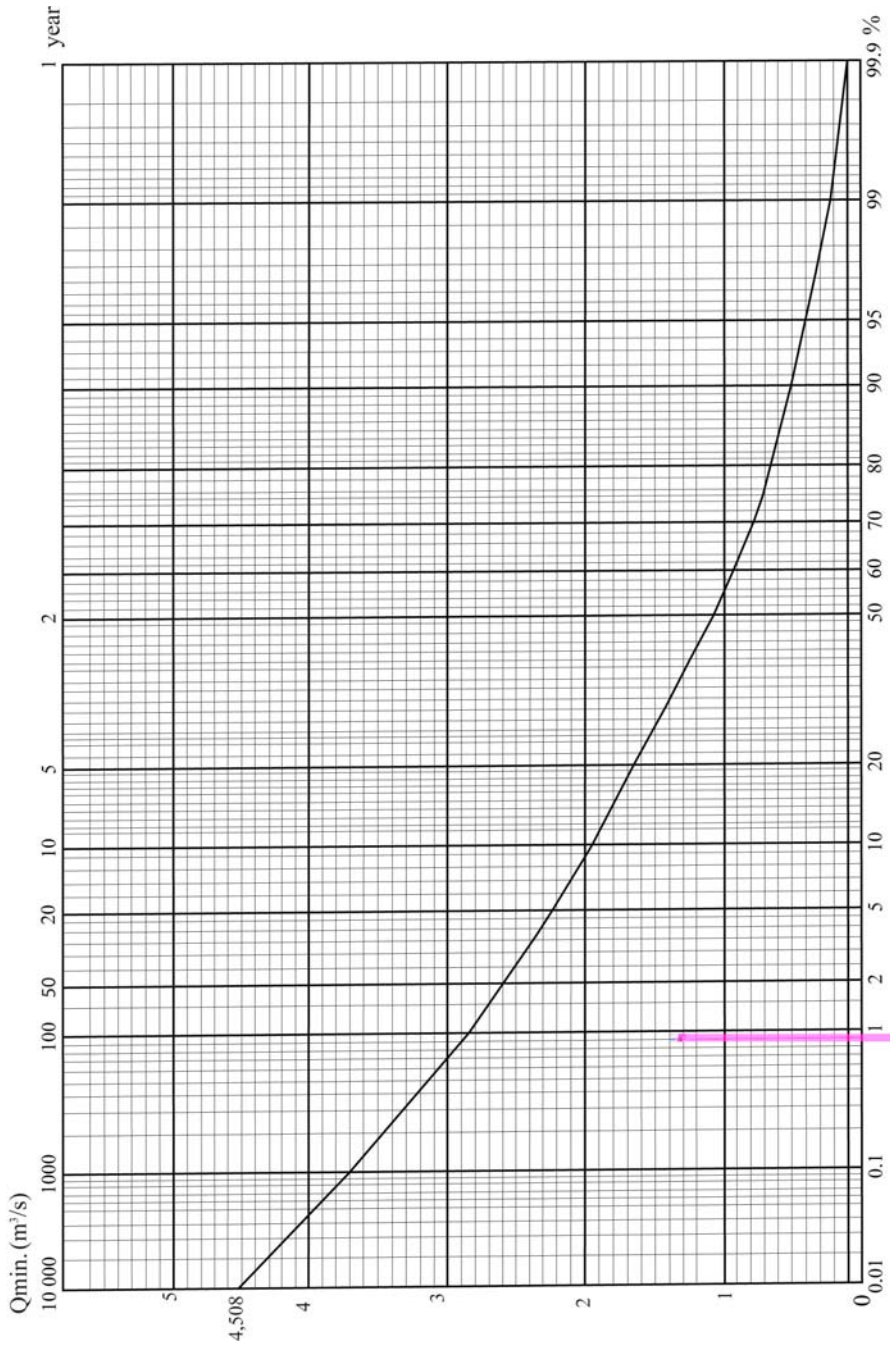


Figure 5. - Frequency curve of minimal discharge appearance

References

See References on page 38