

## ВЕРОВАТНОЋА ПОЈАВЕ ВЕЛИКИХ ВОДА НА РЕЦИ ЋЕТИЊИ\*

ДРАГАНА МИЛИЈАШЕВИЋ

*Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Буре Јакшића 9, Београд, Србија*

**Сажетак:** На основу података о екстремним водостајима урађена је методом серија прогноза обезбеђења воде у реци, односно израчунати су вероватни максимални водостаји Ћетиње код Шенгоља. Обрађене су велике воде за вероватноћу појава 0,01% до 99,9%. Ове вероватноће указују на појаву великих вода одређених вредности једном у 10 000, 1 000, 100, 33, 20 итд. година. Применом хидролошких прогноза могу се сагледати могућности искоришћавања водних ресурса у најразличитије сврхе, као и заштита простора и људи од плавења. У раду је дат и преглед највећих поплава у сливу Ћетиње у последњих сто година.

**Кључне речи:** водостај, хидролошке прогнозе, поплаве, Ћетиња

### Увод

Слив Ћетиње налази се у западном делу Србије, између 44°08' и 43°42' N и 19°27' и 20°06' E. Површина слива је 1187,03 km<sup>2</sup>. Главне притоке долазе са леве стране и тако је образован асиметричан слив – лева страна захвата 71,4% његове целокупне површине. Дужина слива Ћетиње је 49,6 km, а средња ширина 23,9 km (Милијашевић Д., 2008). Река Ћетиња настаје у северном делу Креманске котлине спајањем Братишине реке, Коњске реке, Ужичког и Томића потока на 712 m надморске висине. Ове саставнице извиру на источним и југоисточним падинама планине Таре. У најнижем делу Пожешке котлине прима притоку Скрапеж, а нешто низводније са Голијском Моравицом гради Западну Мораву, значајну водену артерију Србије. Дужина реке износи 75,25 km.

Од физичко – географских одлика слива које су битан фактор отицаја, обрађена су геоморфолошка, геолошка, климатолошка и вегетацијска својства. Типична карактеристика рељефа овог подручја су планине. Цео ужички крај је претежно висораван испресецана клисурастим и кањонским долинама. У сливу нису заступљене површине са надморском висином до 200 m, па нема ни низија у правом смислу речи. Анализа основне геолошке карте 1:100 000 указује да слив Ћетиње у геолошком погледу сачињавају стене различите старости, од палеозојске ере, па до најмлађе геолошке епохе. Терен је изграђен од магматских, метаморфних и седиментних стена. Специфичан морфолошки склоп овог простора последица је стратиграфског развоја, структуре и интензивног дејства егзогенних агенаса. Североисточно од Ужица, као и на терену на коме лежи само Ужице распрострањене су творевине пермо – карбона. Од зоне кречњака одвојени су линијом која иде јужно од Севојна, преко Крчагова и Ужица до ушћа Волујца у Ћетињу. Ова линија даље иде левом обалом Волујца до његовог изворишног дела. Творевине млађег палеозоика у

---

\* Рад представља резултате истраживања пројекта 146011 који финансира Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије

околини Ужица леже углавном на левим обалама Ћетиње и Волујца. На површи Поникве и Стапари највеће распрострањење имају кречњаци средњег и горњег тријаса. Јављају се у виду покривача неједнаке дебљине, а на југоисточним ескарпманима Стапара дебљине су од 50 – 260 m. Скоро читав масив Златибора изграђен је од серпентинита, као и јужна падина Таре.

За време терцијара, у депресијама насталим тектонским покретима на Златибору, код Мачката, на Бранешком пољу, у околини Кремне, створени су изоловани басени у којима су таложени слатководни, језерски седименти, пескови, глине, са појавама силицијско – лапоровитих стена које су таложене у дубљој, мирнијој средини (Миловановић Д., 2006). По дну речних долина налазе се најмлађе творевине: алuviјални наноси песка, шљунка и глине. Метаморфити се у односу на отицај понашају као компактне стене што утиче и на густину речне мреже. Кречњаци доводе до стабилнијег протицаја, док серпентинити и дијабази у сливу изазивају појаву ерозије, денудације и бујичних токова.

Веgetациони покривач представља посредујући фактор између атмосферских вода и укупног отицања. Од вегетације и земљишта зависи колико ће се утрошити атмосферске воде на сложене процесе хидролошког циклуса и то: инфилтрацију, понирање, акумулацију, стварање подземних вода, испаравање, транспирацију, упијање воде преко кореновог система, површинско, подповршинско и подземно отицање. Биљни елементи и положај слива указују да ова област спада у средњеевропски биљни ареал. Од биљног покривача значајне површине слива реке Ћетиње заузимају шуме и пашњаци. У изворишном делу реке доминирају пашњаци и шуме мешовитог типа лишћара и четинара.

Процент шума у сливу до профила Стапари износи 42,6 %, а до профила Шенгољ 48 %. Пошумљеност је релативно ниска у горњем сливу Ћетиње. Запажа се интересантна чињеница да је процент шума у горњим деловима сливова Ћетиње и Скрапежа мањи у односу на доње делове према ушћу једне или друге реке, а то је, поред осталог, последица утицаја геолошких подлога терена (Николић Ј., 2004).

Слив Ћетиње припада зони умерено – континенталне климе и субалпској варијанти. Падавине и плувиометријски режим су уз геолошки састав и вегетацију најзначајнији фактори који одређују режим реке. Средња годишња висина падавина мерена на кишомерним станицама у сливу креће се од 739 mm до 1051 mm. У току године разликују се два максимума и два минимума падавина. Главни максимум јавља се у јуну, као последица честих баричких депресија које се у то доба јављају у овим крајевима. Од јуна висина воденог талога постепено опада све до октобра, када достиже секундарни минимум, а у новембру и свој секундарни максимум, који настаје под утицајем највећих падавина које се с јесени јављају дуж источне обале Јадрана. Од децембра до фебруара висина падавина опада, када достигну и свој главни минимум, да би потом до јуна бивале све веће. Према оваквом распореду падавина слив Ћетиње припада континенталном плувиометријском режиму. Плувиометријске станице до 500 m н.в. примају од 739 - 820 mm падавина. Средња годишња висина падавина за цео слив Ћетиње израчуната методом изохијета износи 865,6 mm, а методом аритметичке средине 844 mm, што значи да је разлика 21,6 mm (Милијашевић Д., 2008).

Хидролошка осматрања на реци Ћетињи започела су 1922. године оснивањем водомерне станице Горобилје. Станица је измештена 1976. године на локацију Шенгољ и удаљена је 8,2 km од ушћа. Станица Стапари је лоцирана на левој обали реке Ћетиње, 36,6 km узводно од ушћа. Станицу је основао „Енергопроект“ 1958. гдине, а преузео Републички хидрометеоролошки завод Србије 01. I 1961. године. Станица је престала са радом 2003. године.

### Прогноза великих вода

Прогнозе режима реке имају велики значај за привреду (речни транспорт, хидроенергетику, градњу хидротехничких радова итд.). Потребне за оваквим прогнозирањем јавиле су се код водопривредних пројектантских организација којима је било нужно да знају оне величине елемената хидролошког режима које нису забележене до тада на одређеној станици, али по рачуну вероватноће могу да се појаве једном у 10, 50, 100, 500, 1000 и више година или да је толика њихова учесталост (Гавриловић Љ., 1988, Лучшева А., 1976). За предвиђање појаве великих вода користе се методи који се могу сврстати у три групе: статистички (заснива се на статистичкој обради података и рачуну вероватноће), емпиријски (посматра велике воде као функцију површине слива) и плувиометријски (базиран је на одређивању максималних могућих падавина)(Горошков Ф.,1979, Милановић А., 2006, Урошев М., 2007).

**Табела 1.- Минимални и максимални годишњи водостаји Ђетиње код Шенгоља у см (1984-2008.год.)**

Година	минимална	датум	максимална	датум
1984.	22	10.VIII	144	11.V
1985.	21	19.VIII	156	18.IV
1986.	23	26.XII	193	19.II
1987.	23	10.I	<b>250</b>	26.XI
1988.	32	31.VII	98	17.III
1989.	32	2.II	153	28.VII
1990.	33	8.VII	96	11.XII
1991.	34	1.II	113	12.II
1992.	31	26.IX	131	26.VI
1993.	28	2.VIII	79	6.IV
1994.	30	17.IX	105	14.IV
1995.	34	6.X	126	4.IV
1996.	31	30.VII	144	18.IV
1997.	33	29.IX	82	22.I
1998.	32	10.VIII	108	7.XI
1999.	31	15.X	134	28.XII
2000.	29	18.X	106	3.II
2001.	33	21.I	117	24.IV
2002.	38	30.VI	145	18.IV
2003.	33	9.XII	90	15.III
2004.	38	23.VII	102	2.III
2005.	38	11.II	139	20.III
2006.	32	11.XII	151	24.III
2007.	39	5.VIII	127	26.XI
2008.	38	21.XI	98	5.XII

Познато је да се осмотрени хидролошки подаци о великим водама подвргавају рачуну вероватноће, применом неке од расподела, нпр. Пирсон III, Лог-Пирсон III, Крицки-Менкел, које су дефинисане са три основна параметра,  $Q_{max}$  – средње велика вода,  $C_v$  – коефицијент варијације великих вода,  $C_s$  – коефицијент асиметрије кривих расподела (Оцокољић М., 1992, DeBarry P., 2004, Davie T., 2008).

У овом раду урађена је прогноза обезбеђења воде у реци применом метода серија који је погодан за одређивање појављивања одређеног хидролошког елемента (водостаја, протикања и сл.), док је за израду криве честине максималних водостаја коришћена Пирсонова III расподела.

Да би се конструисала крива вероватноће било је потребно одредити следеће величине:

Просечни максимални водостај ( $H_{sr,max}$ ) Ђетиње код Шенгоља као средњу аритметичку величину за посматрани период. Он износи 127,48 cm.

Просечни максимални водостај нам је неопходан за израчунавање модулног коефицијента, који претставља однос било које вредности максималног водостаја према просечном максималном водостају за одређени период.

На основу модулног коефицијента израчунат је коефицијент варијације према следећој формули  $C_v = \sqrt{\sum(k-1)^2/n-1}$ , који показује колебање (променљивост) годишњег отицаја. За Ђетињу код Шенгоља коефицијент варијације износи 0,29, што указује на знатну променљивост максималних годишњих водостаја у периоду од 1984 – 2008. год.

**Табела 2.- Израчунавање коефицијента варијације ( $C_v$ ) максималних годишњих водостаја Ђетиње код Шенгоља за период 1984-2008. год.**

n	Год.	$H_{max}$ (cm)	$H_{max}$ по опадајућем низу (cm)	k	k-1	$(k-1)^2$	$(k-1)^3$
1.	1984.	144	250	1,97	0,97	0,940	0,912
2.	1985.	156	193	1,52	0,52	0,270	0,140
3.	1986.	193	156	1,23	0,23	0,052	0,012
4.	1987.	250	153	1,20	0,20	0,040	0,008
5.	1988.	98	151	1,19	0,19	0,036	0,007
6.	1989.	153	145	1,14	0,14	0,019	0,003
7.	1990.	96	144	1,13	0,13	0,017	0,002
8.	1991.	113	144	1,13	0,13	0,017	0,002
9.	1992.	131	139	1,09	0,09	0,008	0,000
10.	1993.	79	134	1,05	0,05	0,002	0,000
11.	1994.	105	131	1,03	0,03	0,001	0,000
12.	1995.	126	127	1,00	0,00	0,000	-0,000
13.	1996.	144	126	0,99	-0,01	0,000	-0,000
14.	1997.	82	117	0,92	-0,08	0,006	-0,000
15.	1998.	108	113	0,89	-0,11	0,012	-0,001
16.	1999.	134	108	0,85	-0,15	0,022	-0,003
17.	2000.	106	106	0,83	-0,17	0,029	-0,005
18.	2001.	117	105	0,82	-0,18	0,032	-0,006
19.	2002.	145	102	0,80	-0,20	0,040	-0,008
20.	2003.	90	98	0,77	-0,23	0,053	-0,012
21.	2004.	102	98	0,77	-0,23	0,053	-0,012
22.	2005.	139	96	0,75	-0,25	0,062	-0,015
23.	2006.	151	90	0,71	-0,29	0,084	-0,024
24.	2007.	127	82	0,64	-0,36	0,129	-0,046
25.	2008.	98	79	0,62	-0,38	0,144	-0,054

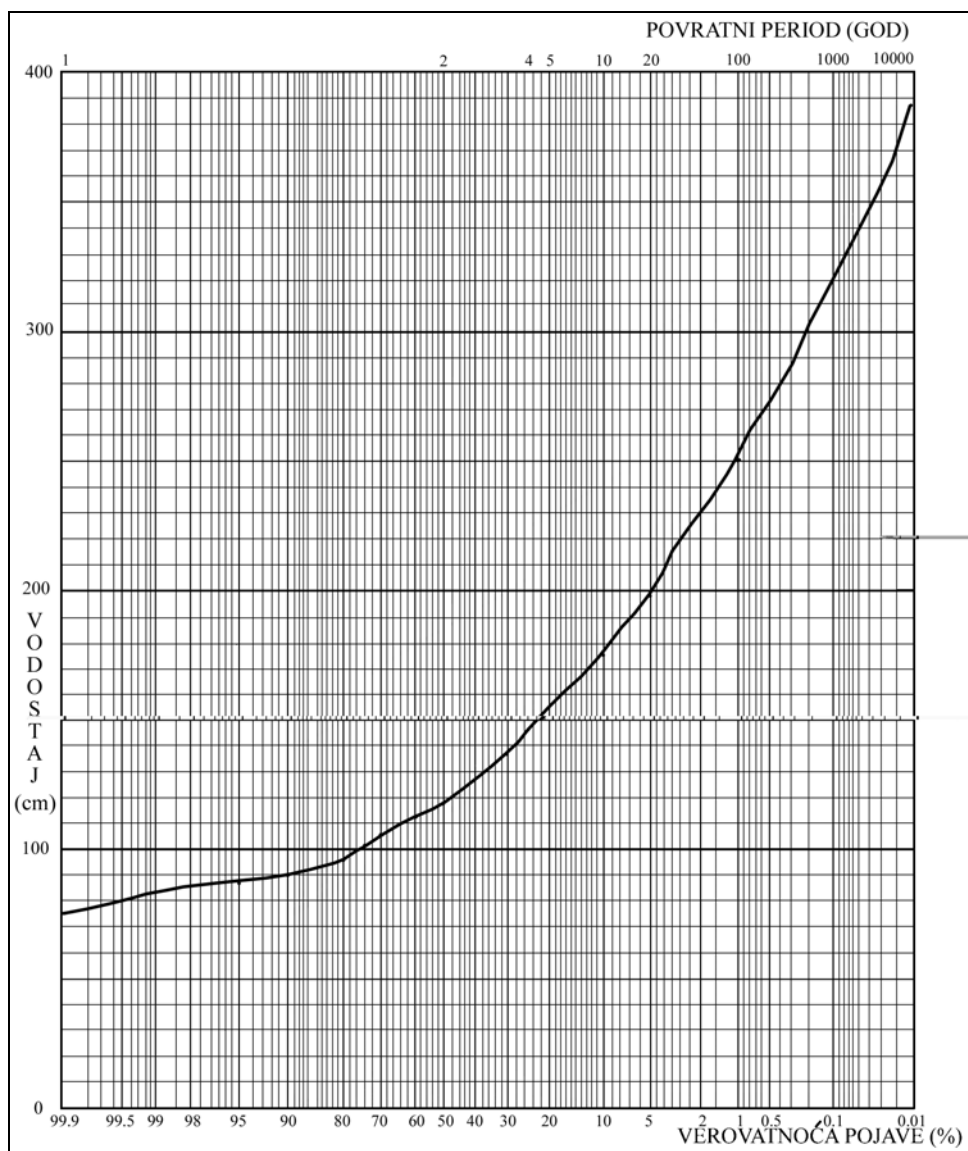
Коефицијент асиметрије ( $C_s = \sum(k-1)^3/n \cdot C_v^3$ ), који показује несиметричност криве расподеле годишњих и других отицаја према њиховој средњој вредности, за Ђетињу (Шенгољ) износи 1,5.

На основу израчунатих параметара приступило се израчунавању података за израду саме криве (табела 3). Крива учесталости црта се на полулогаритамској мрежи вероватноће (апсциса је дата у логаритамској, а ордината у аритметичкој размери).

**Табела 3. - Параметри за израчунавање криве обезбеђења максималних годишњих водостаја и израчунати вероватни максимални водостаји Ђетиње код Шенгоља**

Вероватноћа у %	Вероватноћа у год.	$\bar{\varnothing}$	$\bar{\varnothing} \cdot C_v$	$K_s = \bar{\varnothing} \cdot C_v + 1$	Hmax (cm)
0,01	10 000	7,09	2,056	3,056	389,5
0,1	1 000	5,23	1,516	2,516	320,7
1	100	3,33	0,965	1,965	250,5
3	33,3	2,39	0,693	1,693	215,8
5	20	1,95	0,565	1,565	199,5
10	10	1,33	0,385	1,385	176,5
20	5	0,69	0,200	1,200	152,9
25	4	0,47	0,136	1,136	144,8
30	3,3	0,30	0,087	1,087	138,5
50	2	-0,24	-0,069	0,931	118,7
60	1,6	-0,45	-0,130	0,870	110,9
70	1,42	-0,64	-0,185	0,815	103,9
75	1,33	-0,73	-0,211	0,789	100,6
80	1,25	-0,82	-0,237	0,763	97,2
90	1,11	-1,02	-0,295	0,705	89,8
95	1,05	-1,13	-0,327	0,673	85,8
99	1,01	-1,26	-0,365	0,635	80,9
99,9	1,00	-1,33	-0,385	0,615	78,4

На основу криве вероватноће појављивања максималних водостаја на реци Ђетињи код Шенгоља (скица 1) закључује се да се сваке године може очекивати максимални водостај са вероватноћом од 99,9 % од 78,4 cm, а једном у 10 000 година максимални водостај може да достигне 389,5 cm, једном у 100 година 250,5 cm итд. Апсолутно максимални водостај Ђетиње код Шенгоља за период 1978-2008. год. забележен је 26. XI 1987. год. и износио је 250 cm, и по овој вероватноћи он се јавља једном у 100 година.



Скица 1. – Крива вероватноће појаве великих вода реке Ђетиње (Шенгољ)

### Преглед највећих поплава у сливу Ђетиње

Високи водостаји на Ђетињи у прошлости су изазивали честе поплаве. Велика плављења забележена су у јулу 1926. и 1959., мају 1965., априлу, јуну и јулу 1967., децембру 1968., јуну, јулу и новембру 1975. године, новембру 2009. године. Поплаве су настајале услед великих киша и отапања снега. Највеће штете од поплава трпели су градови Пожега и Ужице и околна села.

Јулске кише 1926. године захватиле су цео слив Западне Мораве, те су се поплаве јавиле не само у долини главног тока него и његових притока. Просечна јунска сума падавина износила је 150 mm, а следећег месеца већ довољно засићено земљиште примило је нових 220 mm падавина, што је одржало високе воде до пред

крај јула. Ноћу између 5. и 6. јула излили су се и надошли Моравица, Ђетиња и Скрапеж у својим доњим токовима. Највише је страдало село Горобиле у непосредној близини саставка ових река. Водостај Ђетиње је најпре порастао на 270 cm (7. јула), а потом после пет дана опао до 50 cm. Недељу дана касније, 14. јула, интензивне падавине довеле су до новог пораста водостаја. Ђетиња је поплавила део Ужица, а Скрапеж цело Пожешко поље (Гавриловић Љ., 1980).

У мају 1965. године поплаве су захватиле све општине у долини Западне Мораве. Ђетиња се излила на 400 ha Ужичке котлине и угрозила део града. Скрапеж је поплавио Косјерић и Пожегу и 400 ha на територији ових општина.

Једна од највећих забележених поплава догодила се 18. и 19. новембра 1975. године. Поплаве које су задесиле Ужице и читаво подручје општине по свом обиму и тежини последица највеће су у другој половини XX века. Производне и не привредне делатности претрпеле су огромну материјалну штету и губитке. Због великих кишних падавина дошло је до наглог пораста водостаја реке Ђетиње и Лужнице и других водних токова на подручју општине Ужице. Водостај Ђетиње у односу на 1965. годину, када су такође забележене велике поплаве, био је виши за 50 cm у Турици, а за 90 cm у Великом парку. Многе стамбене зграде и привредни објекти у граду нашли су се под водом. У Турици је био поплавлjen градски водовод, па је град остао без воде, а у појединим деловима града дошло је до прекида струје. Пољопривреда је такође претрпела велике штете јер је поред корита, низводно од Севојна до Пожеге поплавлено стотину хектара најплодније земље (Јаковљевић Д., 2004).

У новембру 2009. године, после више од двадесет година велике поплаве су задесиле општине у горњем сливу Западне Мораве. У ноћи између 6. и 7. новембра на град Ужице сручила се права бујица воде, према проценама од око 130 m<sup>3</sup>/s, пошто је претходно више од двадесет сати непрекидно у овом крају падала киша јаког интензитета. Ова поплава је изазвана великом кишом (према прелиминарним подацима 56 l/m<sup>2</sup> у ужичком крају), јаког интензитета, и проузроковала брз пролазак врха поплавног таласа. У Ужицу је потпуно уништена Улица 1300. каплара, вода је однела асфалт. Оштећено је двадесетак кућа и ресторана на обе стране Ђетиње. У насељу Турица доња зона је претворена у језеро. Потопљен је стадион, а висина воде је била 1,5 m. У Пожешком крају најгоре су прошла сеоска подручја где је десетине хектара плодних ораница биле под водом. Поред Ужица, поплава је било и у Мокрој гори, косјерићком и ариљском крају. Тренутно подаци о измереним максималним протицајима и водостајима на Ђетињи и Великом Рзаву нису доступни, тако да не можемо сада рећи које су вероватноће појаве ове поплаве, то јест да ли су то хиљадугодишње, стогодишње, педесетогодишње воде, итд.

### Закључак

На основу података о екстремним водостајима урађена је прогноза обезбеђења воде у реци Ђетињи. Примењен је методом серија на основу вишегодишњег низа података о водостају на хидролошкој станици Шенгољ.

Анализом криве вероватноће појављивања максималних водостаја на реци Ђетињи код Шенгоља закључује се да се сваке године може очекивати максимални водостај са вероватноћом од 99,9 % од 78,4 cm, а једном у 100 година максимални водостај може да достигне 250,5 cm, једном у 1000 година 320,7 cm итд. Апсолутно максимални водостај Ђетиње код Шенгоља за период 1978-2005. год. забележен је 26. XI 1987. год. и износио је 250 cm.

Највећи водостаји на реци и поплаве забележене су 1926., 1959., 1965., 1967., 1968. и 1975. године. Да би се спречиле катастрофалне последице поплава, направљен је средњорочни план 1981-1985. год. за борбу против поплава. Он је подразумевао

заштиту од поплава биолошким и превентивним техничким радовима у сливу и пројекат регулације Ђетиње са притокама.

Акумулација „Врутци“ значајно доприноси заштити града од поплава, јер је у њој резервисан простор који може прихватити поплавни талас без преливања преко бране вероватноће појаве једном у педесет година. Са благовременим отварањем испуста на брани при наиласку великих вода ова се безбедност знатно повећава.

## Литература

- Гавриловић, Љ. (1980). Класификација катастрофалних поплава у сливу Западне Мораве. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 32, 185-192
- Гавриловић, Љ. (1988). *Хидрологија у просторном планирању*. Београд: Природно – математички факултет Одсек за географију и просторно планирање
- Горошков, И. Ф. (1979). *Хидрологические расчёты*. Ленинград: Гидрометеиздат
- DeBarry, P. (2004). *Watersheds: Processes, Assessment and Management*. New Jersey: John Wiley & Sons
- Davie, T. (2008). *Fundamentals of hydrology*. London and New York: Routledge Taylor & Francis group
- Зеремски М. (1954). Креманска котлина. *Гласник Српског географског друштва*, XXXIV, (1), 3-22
- Јаковљевић, Д. (2004). *Река Ђетиња*. Нови Сад: Природно – математички факултет, дипломски рад
- Лучшева, А.А. (1976). *Практическа хидрологија*. Ленинград: Гидрометеиздат
- Милановић, А. (2006). Хидролошка прогноза великих вода у сливу Лепенице и заштита од поплава. *Гласник Српског географског друштва*, LXXXVI, (2), 47-54
- Миловановић, Д. (2006). *Геологија Златибора и Таре и туризам*. Зборник „Туристичка валоризација Таре“, Тара
- Милијашевић, Д. (2008). *Ђетиња – потамолошка студија*. Београд: Географски факултет, магистарски рад
- Николић, Ј. (2004). *Модел одређивања евапотранспирације у хетерогеним геолошким условима на примеру горњег слива Западне Мораве*. Београд: Рударско геолошки факултет, докторска дисертација
- Оцокољић, М., (1992). Средње, мале и велике воде река у општини Лепосавић. *Гласник Српског географског друштва*, LXXI, (2), 17-26
- Урошев, М. (2007). Прорачуни унутаргодишње расподеле отицаја и минималних протицаја Великог Рзава за потребе регионалног водоводног система „Рзав“. *Гласник Српског географског друштва*, LXXXVII, (2), 41-50
- \*\*\* (1961 – 2007). *Хидролошки годишњаци*. Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије
- \*\*\* (1961–2006). *Климатски годишњаци*. Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије
- \*\*\* (1989). 1:100000. Основна геолошка карта– Ваљево, Вишеград, Горњи Милановац, Ужице. Београд: Савезни геолошки завод



## FLOOD FREQUENCY ANALYSIS OF THE ĐETINJA RIVER\*

DRAGANA MILIJAŠEVIĆ

*Geographical Institute "Jovan Cvijić" Serbian Academy of Sciences and Arts, Đure Jakšića 9/3, Belgrade, Serbia*

**Abstract:** Based on extreme water levels data, using the method of series, a forecast for protection of river has been accomplished, i.e. probable water level maximums of the Đetinja river at Šengolj were measured. High flows were analyzed with a probability from 0.01% to 99.9%. These probabilities indicate the occurrence of high flows of certain values once in 10000, 1000, 100, 33, 20 etc years. Applying a hydrological forecast, one can perceive the possibility for using water resources for various purposes, as well as protection of areas and people from flooding. A review of the greatest floods in the Đetinja drainage basin in the last hundred years is given in this paper.

**Key words:** water level, hydrologic forecast, floods, Đetinja river

### Introduction

The Đetinja drainage basin is situated in the west part of Serbia, between 44°08' and 43°42' N and between 19°27' and 20°06' E. Area of the drainage basin area is 1187.03 km<sup>2</sup>. The main tributaries come from the left and form an asymmetrical drainage basin – the left bank covers 71.4% of the overall area of the drainage basin. The length of the Đetinja drainage basin is 49.6 km and the average width is 23.9 km (Milijašević D., 2008). The Đetinja river is formed in the northern part of Kremna basin by the confluence of the rivers: Bratišina Reka, Konjska Reka, Užički Potok and Tomića Potok, at 712 m altitude. These tributaries arise on east and southeast slopes of Tara Mountain. At the lowest part of Požega basin, it joins its tributary Skrapež, and downstream, with Goljska Moravica, it forms Zapadna Morava river, an important water flow of Serbia. Its length is 75.25 km.

Physical-geographical features of the drainage basin, an important factor of runoff, which have been analyzed, are geomorphologic, geological, climatological and vegetation features. Common characteristic of the terrain in this region are mountains. The entire Užice region is mostly a plateau crossed by gorges and canyons. The drainage area exceed 200 m of altitude, thus, there are no true types of plains. The analysis of basic geological map 1:100000 indicates that the Đetinja drainage basin, geologically, consists of rocks of different ages, from the Palaeozoic to the youngest geological epoch. Terrain is built of metamorphic, igneous and sedimentary rocks. A specific morphology of this area is a consequence of stratigraphical development, structure and intense influence of exogenic agents. Permian – Carboniferous formations are frequently found northeast of Užice, as well as on terrain upon which Užice is located. These formations are separated from the limestone zone with the line that starts from Sevojno, through Krčagovo and Užice to the confluence of the Volujac and Đetinja. This line continues along the Volujac riverbank to its source area. The young Palaeozoic formations around Užice lie mostly on left banks of Đetinja and Volujac. The area around Ponikva and Stapani mostly consists of limestones from the middle and late Triassic. They occur as a layer of varying depth, and on south-eastern escarpment of Stapani, their thickness ranges from 50 to 260 m. Almost entire Zlatibor massif is made of serpentinite, as well as south slope of Mt Tara.

In the depressions created by tectonic movements on Mt Zlatibor, near Mačkat, on Braneško field and around Kremna, isolated basins were created during the Tertiary period,

---

\* This paper represents research results of the 146011 project, financed by the Ministry of science and technological development of the Republic of Serbia

in which freshwater and lake sediments, sands, clays were deposited, with the occurrence of silicon – marl stones deposited in deeper, steadier environment (Milovanović D., 2006). Bottoms of river valleys are made of youngest formations: alluvial deposits of sand, gravel and clay. In relation to the runoff, metamorphic rocks act as compact rocks, which affect the density of river network. Limestones bring to more stable flow, while serpentinites and diabase in the drainage basin bring to erosion, denudation and flash floods.

Vegetation represents intermediary factor between atmospheric water and overall runoff. How much atmospheric water shall be involved in complex hydrological processes, such as infiltration, plunge, accumulation, ground water generation, transpiration, absorption of water by plant roots, surface, subsurface and groundwater runoffs, is dependant on vegetation and soil. Vegetation and drainage basin position show that this area is a central European vegetation area. Significant vegetation areas of the Đetinja drainage basin are forests and pasture. Pastures and mixed conifer and deciduous forests type prevail in the source area.

The tree percentage in the drainage basin to the Stapani profile is 42.6%, and to the Šengolj profile, it is 48%. Tree abundance is relatively low in the lower Đetinja drainage basin. One can see an interested fact that the tree percentage in the parts of upper Đetinja drainage basin and Skrapež is smaller, in regards to the parts of the lower drainage basin towards the confluence of the former or the latter river, and the its cause is, inter alia, geological composition of the terrain (Nikolić J., 2004).

Precipitation and pluviometric regime, as well as geological composition and vegetation, are the most significant factors that determine the river regime. Average annual precipitation is measured by pluviometers and its value varies from 739 mm to 1051 mm. During one year, two maximums and two minimums can be seen. The major maximum can be observed in June, as a result of frequent depressions that occur in these areas. From June, the amount of liquid precipitation is dropping till October, when it reaches its secondary minimum, and in November the secondary maximum is achieved, as the result of the highest precipitation level that occur during autumn, on the east side of Adriatic sea. From December to February, the precipitation level is dropping to its major minimum, and until June, it is constantly increasing. According to this precipitation schedule, Đetinja drainage basin belongs to continental European pluviometric regime. Pluviometric stations below 500 m altitude detect 739 to 820 mm of precipitation. Average annual precipitation level for the entire Đetinja drainage basin is 865.6 mm, calculated by using the isohyetal method, while the arithmetic mean is 844 mm; therefore, the difference is 21.6 mm (Milijašević D., 2008).

Hydrological observations on Đetinja river started when the water gauge station Gorobilje was founded in 1922. The station was moved to location Šengolj, which is 8.2 m from the confluence. The Stapani station is on the left bank of Đetinja river, 36.6 km upstream from the confluence. “Energoprojekt” founded the station in 1958, and on January 1<sup>st</sup> 1961, Republic hydro-meteorological service of Serbia took it over. The station was closed down in 2003.

### **Flood frequency analysis**

The river regime forecast is of a great significance for the economy (navigation, hydroenergetic, hydrotechnical works etc.). The water power project organisations required this kind of forecast, given the necessity to know the values of the elements of hydrological regime which haven't been recorded on a certain station till then, but they may occur once in 10, 50, 100, 1000 or more years, or their frequency may be in this extent (Gavrilović Lj., 1988, Lučševa A., 1976). The methods used for high flows forecast can be classified into three groups: statistical (based on statistical data analysis and probability calculus), empirical (high flows are observed as a function of drainage basin area) and pluviometric

(based on maximum possible precipitation level determination) (Goroškov F., 1979, Milanović A., 2006, Urošev M., 2007).

**Table 1 – Annual water level maximums and minimums of Đetinja river near Šengolj measured in cm (1984 - 2008)**

Year	maximum	date	minimum	date
1984.	22	10.VIII	144	11.V
1985.	21	19.VIII	156	18.IV
1986.	23	26.XII	193	19.II
1987.	23	10.I	<b>250</b>	26.XI
1988.	32	31.VII	98	17.III
1989.	32	2.II	153	28.VII
1990.	33	8.VII	96	11.XII
1991.	34	1.II	113	12.II
1992.	31	26.IX	131	26.VI
1993.	28	2.VIII	79	6.IV
1994.	30	17.IX	105	14.IV
1995.	34	6.X	126	4.IV
1996.	31	30.VII	144	18.IV
1997.	33	29.IX	82	22.I
1998.	32	10.VIII	108	7.XI
1999.	31	15.X	134	28.XII
2000.	29	18.X	106	3.II
2001.	33	21.I	117	24.IV
2002.	38	30.VI	145	18.IV
2003.	33	9.XII	90	15.III
2004.	38	23.VII	102	2.III
2005.	38	11.II	139	20.III
2006.	32	11.XII	151	24.III
2007.	39	5.VIII	127	26.XI
2008.	38	21.XI	98	5.XII

It is well known that the measured hydrological data on high flows are subjected to probability calculus, by using any adequate distribution, e.g. Pearson III distribution, Log-Pearson III distribution, Kricki-Menkel distribution, defined by three basic parameters:  $Q_{MAX}$  – mean maximum water discharge,  $C_V$  – coefficient of variation,  $C_S$  – coefficient of skewness (Ocoolkjić M., 1992, DeBarry P., 2004, Davie T., 2008).

In this paper, the water protection in the river forecast has been accomplished; the method of series, suitable for a certain hydrological element occurrence determination (water level, discharge, etc.) have been applied, while Pearson III distribution have been used for the distribution curve plotting.

To plot the distribution curve, it is necessary to determine certain values:

Average water level maximum (Hsr.max) of Đetinja river near Šengolj as an arithmetic mean for the following period, and it is 127.48 cm.

Average water level maximum is necessary for module coefficient determination. It represents any water level maximum/average water level maximum ratio for a certain period.

According to the following formula,  $C_v = \sqrt{\sum (k-1)^2/n-1}$ , based on module coefficient, the coefficient of variation has been determined; it shows variability of annual discharge. The coefficient of variation for Đetinja river near Šengolj is 0.29; that indicates a significant variability of annual water level maximums within the period between 1984 and 2008.

**Table 2 – Determination coefficient of variation ( $C_v$ ) of annual water level maximums of Đetinja river near Šengolj within the period between 1984 and 2008**

n	Year	Hmax (cm)	Hmax by descending order (cm)	k	k-1	(k-1) <sup>2</sup>	(k-1) <sup>3</sup>
1.	1984.	144	250	1,97	0,97	0,940	0,912
2.	1985.	156	193	1,52	0,52	0,270	0,140
3.	1986.	193	156	1,23	0,23	0,052	0,012
4.	1987.	250	153	1,20	0,20	0,040	0,008
5.	1988.	98	151	1,19	0,19	0,036	0,007
6.	1989.	153	145	1,14	0,14	0,019	0,003
7.	1990.	96	144	1,13	0,13	0,017	0,002
8.	1991.	113	144	1,13	0,13	0,017	0,002
9.	1992.	131	139	1,09	0,09	0,008	0,000
10.	1993.	79	134	1,05	0,05	0,002	0,000
11.	1994.	105	131	1,03	0,03	0,001	0,000
12.	1995.	126	127	1,00	0,00	0,000	-0,000
13.	1996.	144	126	0,99	-0,01	0,000	-0,000
14.	1997.	82	117	0,92	-0,08	0,006	-0,000
15.	1998.	108	113	0,89	-0,11	0,012	-0,001
16.	1999.	134	108	0,85	-0,15	0,022	-0,003
17.	2000.	106	106	0,83	-0,17	0,029	-0,005
18.	2001.	117	105	0,82	-0,18	0,032	-0,006
19.	2002.	145	102	0,80	-0,20	0,040	-0,008
20.	2003.	90	98	0,77	-0,23	0,053	-0,012
21.	2004.	102	98	0,77	-0,23	0,053	-0,012
22.	2005.	139	96	0,75	-0,25	0,062	-0,015
23.	2006.	151	90	0,71	-0,29	0,084	-0,024
24.	2007.	127	82	0,64	-0,36	0,129	-0,046
25.	2008.	98	79	0,62	-0,38	0,144	-0,054

Coefficient of skewness ( $C_s = \sum (k-1)^3/n \cdot C_v^3$ ) for Đetinja river near Šengolj is 1.5; it shows asymmetry of distribution curve of annual and other discharges with regards to its average value.

Based on the calculated parameters, the data for plotting of the curve have been calculated. The frequency curve should be drawn on a semi-log probability graph (x-axis has a logarithmic scale, while y-axis has arithmetic scale).

The curve of maximum water levels occurrence probability on Đetinja river near Šengolj brings to conclusion that once a year 72.4 cm of water level maximum can be expected with a probability 99.9%, while 389.5 cm of water level maximum can be achieved once in 10000 years, 250.5 cm once in 100 years etc. The greatest water level maximum of Đetinja river near Šengolj was registered on November 26<sup>th</sup> 1987 and it was 250 cm, and according to this probability calculus it occurs once in 100 years.

**Table 3. – Parameters for calculating the curve of maximum annual water levels occurrence and calculated probable annual water level maximums of Đetinja river near Šengolj**

Probability in %	Probability in years	$\bar{\delta}$	$\bar{\delta} \cdot C_v$	$K_s = \bar{\delta} \cdot C_v + 1$	Hmax (cm)
0,01	10 000	7,09	2,056	3,056	389,5
0,1	1 000	5,23	1,516	2,516	320,7
1	100	3,33	0,965	1,965	250,5
3	33,3	2,39	0,693	1,693	215,8
5	20	1,95	0,565	1,565	199,5
10	10	1,33	0,385	1,385	176,5
20	5	0,69	0,200	1,200	152,9
25	4	0,47	0,136	1,136	144,8
30	3,3	0,30	0,087	1,087	138,5
50	2	-0,24	-0,069	0,931	118,7
60	1,6	-0,45	-0,130	0,870	110,9
70	1,42	-0,64	-0,185	0,815	103,9
75	1,33	-0,73	-0,211	0,789	100,6
80	1,25	-0,82	-0,237	0,763	97,2
90	1,11	-1,02	-0,295	0,705	89,8
95	1,05	-1,13	-0,327	0,673	85,8
99	1,01	-1,26	-0,365	0,635	80,9
99,9	1,00	-1,33	-0,385	0,615	78,4

**Figure 1. Flood frequency curve of Đetinja river near Šengolj**

### **Review of the greatest floods in the Đetinja drainage basin**

In the past, high water levels on Đetinja River caused frequent floods. Great floods were recorded in June 1926, June 1959, May 1965, April, June and July 1969, December 1968, June, July and November 1975, November 2009. Floods were caused by frequent rain and melting of snow. Požega and Užice suffered the biggest damage from floods.

In 1926, rain in July caused the flooding of the entire Zapadna Morava drainage basin; therefore the floods did not occur only in the main stream of the drainage basin, but also in the valleys of its tributaries. Average precipitation level during June was 150 mm, and already saturated soil received another 220 mm next month, which maintained high flow level till the end of July. In the night of 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> of July, Moravica, Đetinja river and Skrapež were flooded in their upper streams. Gorobilje, a village close to the confluence of these rivers, suffered the most. At first, water level of Đetinja river increased to 270 cm (July, 7<sup>th</sup>), and five days later it decreased to 50 cm. A week later, on July the 24<sup>th</sup>, intensive precipitation led to new rise of water level. Đetinja river flooded part of Užice and Skrapež flooded the whole Požega field (Gavrilović Lj., 1980).

On May 1965 all municipalities in the valley of Zapadna Morava were flooded. Đetinja river flooded 400 ha of Užice basin and the part of the city was endangered. Skrapež flooded Kosjerić and Požega and 400 ha of area on these municipalities.

One of the greatest floods recorded happened on 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> November 1975. By its extent and weight of its effects, the flood that occurred in Užice is the greatest in second half of the 20<sup>th</sup> century. Production and non-production businesses suffered a severe material

damage and losses. Intensive precipitations caused sudden water level increase on rivers Đetinja and Lužnica and other water flows in the area around Užice municipality. With regards to 1965, water level of Đetinja was 50 cm higher in Turica and 90 cm higher in Veliki park. Many residential and commercial buildings were flooded. Municipal water supply in Turica was flooded, thus the town suffered lack of water and, in some parts of the town, power outage (Jakovljević D., 2004).

After more than twenty years, in November 2009, great floods occurred in municipalities in the upper drainage basin of Zapadna Morava. In the night between 6<sup>th</sup> and 7<sup>th</sup> November a true flash flood was released on Užice (130 m<sup>3</sup>/s est.), after a constant intensive twenty-day rainfall in this area. This flood was caused by intensive rainfall that lasted for a long time (according to preliminary data 56 l/m<sup>3</sup> in the area of Užice) and rapidly reached a wave peak. 1300 kaplara Street in Užice was completely destroyed; water carried away the asphalt. Around twenty houses and restaurants on both sides of Đetinja were damaged. In Turica, lower zone was turned to lake. The stadium was also flooded and the water level was 1.5 m. Rural areas around Požega suffered a major damage, where dozens of hectares of fertile soil were flooded. Besides Užice, Mokra gora and areas around Kosjerić and Arilje were also flooded. Data on measured maximum water level and discharge values on Đetinja river and Veliki Rzav are not available at the moment, and one can't tell anything about a flood occurrence probability, e.g. do these high waters occur once in thousand, hundred or fifty years.

### **Conclusion**

Based on data about extreme water levels, flood frequency analysis of Đetinja river has been accomplished. The method of series was applied, by using multi-year series of data on water level on hydrological station Šengolj.

Analysis of the flood frequency curve for Đetinja river near Šengolj, brings to conclusion that, with 99.9% probability, each year water level maximum of 78.4 cm can be expected, once in 100 years maximum water level can reach 250.5 cm, once in 1000 years 320.7 cm etc. For a period from 1978 to 2005, the highest water level maximum of Đetinja near Šengolj of 250 cm was recorded on 26<sup>th</sup> November 1987.

The highest water levels and floods were recorded on 1926, 1959, 1965, 1967, 1968 and 1975. To prevent catastrophic events, a mid-term plan for a period from 1981 to 1985 for flood prevention was constructed. This plan implies application of biological and preventive technical works on Đetinja drainage basin for protection from flooding and project for regulation of Đetinja and its tributaries.

Reservoir "Vrutci" significantly benefits protection of the town from flooding, because it can receive the flood wave without an overflow over the dam, with a probability of once in fifty years. By well-timed opening of outlets on the dam with a run of high waters, this protection is significantly increased.

### **References**

See References on page 22