

Primljen: 18.10.2018.

Stručni rad

Prihvaćen: 9.11.2018.

UDK: 556.5

Hidrološka analiza rijeke Plitvice pored Varaždina

Hydrological analysis of the river Plitvica near Varaždin

¹Karlo Leskovar, ²Laura Barbir, ³Bojan Đurin

^{1,3}Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin

²studentica Geotehničkog fakulteta

e-mail: ¹kaleskov@gfv.hr, ²bl2543@gfv.hr, ³bojan@gfv.hr

Sažetak: *U ovom radu provedena je analiza protoka rijeke Plitvice na hidrološkoj postaji Vidovićevo mlin, nedaleko od Varaždina. Svrha rada je poticanje važnosti hidroloških analiza na manjim slivovima i rijekama koje su pod znatnim utjecajem sve aktualnijih klimatskih promjena. Režim rijeke Plitvice izrazito je pluvijalan, tj. protoci i vodostaji ovise o oborinama na samome slivu. Stoga je vrlo važno provođenje ovakvih analiza koje upućuju na utjecaj klimatskih promjena na povećanje protoka manjih rijeka bujičnoga karaktera. Provedbom analize uočeno je višestruko povećanje protoka neposredno nakon obilnih oborina, što je vrlo često uzrokovalo izlivanje rijeke i poplavljanje okolnoga terena. Rijeka Plitvica prolazi kroz ili neposredno uz nekoliko naselja Varaždinske županije, stoga je važno poznavanje karakteristika riječnog režima s ciljem zaštite od nepovoljnoga djelovanja velikih voda. Izraziti trendovi povećanja protoka nisu uočeni, ali se svakako može pretpostaviti da klimatske promjene koje uzrokuju sve ekstremnije intenzitete i količine oborina, mogu znatno utjecati na protoke ovom inače vrlo mirnom rijekom.*

Ključne riječi: *hidrološka analiza, rijeka Plitvica, hidrogram, protok, oborine*

Abstract: *Within the conducted investigation in this article, a discharge analysis for the hydrological station Vidovićevo mlin, on the river Plitvica near Varaždin has been done. The purpose of the paper is encouraging of hydrological analyses on smaller scale basins and rivers*

which are under the direct influence of current climate changes. The regime of the river Plitvica is primarily pluvial, or in other words, it strongly depends on precipitation over the basin. Therefore, such analyses are very important in referencing climate change effects on discharge of smaller rivers with stream character. With this analysis, multiple increase in discharge immediately after large rainfalls has been shown, which often caused flooding of the nearby terrain. River Plitvica passes near or by couple of settlements within the Varaždin county, so therefore acknowledgement of the flow characteristics is very important when considering decreasing adverse effect of high flow waters. Trends toward increased discharges haven't been accounted, but it can be assumed that the ongoing climate changes, which affect precipitation intensity and volume, will have impact on discharges of this otherwise steady flow river.

Key words: *hydrologic analysis, Plitvica river, hydrograph, discharge, precipitation*

1. Uvod

Klimatske promjene i sve češće ekstremne količine oborina za posljedicu imaju velike vodne valove na potocima i rijekama. Vjerojatno najgora posljedica velikih voda su poplave. Zaštita od poplava jedna je od ključnih zadataka upravljanja vodama. Potpuna obrana očigledno nije moguća, no moguće su određene intervencije s ciljem smanjenja nepovoljnoga utjecaja velikih voda. S ciljem zaštite od poplava provode se analize vodnih valova kako bi se sagledao utjecaj vodnih valova i njihovo ponašanje na vodotocima.

Plitvica je uz Dravu, Bednju i Lonju jedna od četiri rijeke koje protječu Varaždinskom županijom. Zajedno s Bednjom čini desnu pritoku Drave, u koju utječe kod mjesta Mali Bukovec, nedaleko od hidroelektrane Dubrava. Karakterizira ju kišni (pluvijalni) režim što znači da se maksimalni protoci očekuju neposredno nakon velikih kiša, odnosno u proljeće i u jesen.

Plitvica teče kroz Varaždinsku županiju, zbog čega je vrlo važno poznavanje karakteristika velikih voda i bujica s ciljem zaštite naselja i gospodarskih površina od nepovoljnog djelovanja velikih voda. Ovim radom nastoji se dati primjer analize velikih voda rijeke Plitvice na hidrološkoj postaji Vidovićevo mlin.

2. Podatci o rijeci Plitvici

Plitvica izvire u sjeveroistočnim brežuljcima Maceljskog gorja, podno viničkih gorica, nadmorske visine nešto iznad 300 m n.m. U početku teče u smjeru jugoistoka između brežuljaka s kojih prima mnogobrojne pritoke sa sjevernih obronaka Topličke gore (Varaždin breg), ali i sa sjeverne strane nekoliko nizinskih potočića kojima hrbat dravske obale sprečava otjecanje u Dravu.

Površina sliva Plitvice iznosi oko 144 km². Granice slivnog područja (**Slika 2.**) određene su Maceljskim gorjem na zapadu, slivnim područjem rijeke Drave na sjeveru i sjeverozapadu te slivnim područjem rijeke Bednje na jugu i jugozapadu. Granicu prema slivu Bednje čini varaždinsko Topličko gorje, do Ludbrega, gdje Plitvica i Bednja teku ravnicom. Vododjelnica Bednje i Plitvice nakon Ludbrega te vododjelnica Drave i Plitvice nisu jasno definirane, zbog nizinskog toka aluvijalnim područjem sastavljenim dravskoga nanosa šljunka i pijeska s tankim slojem humusa. Tok Plitvice karakterizira niski pad koji je dodatno smanjen mlinskim ustavama te dijelom zamuljen i obrastao, zbog toge se provodi uređenje (regulacija) toka Plitvice. Dužina toka Plitvice iznosi 51,67 km. Dijelovi toka su uređeni (

Slika 1), a nakon 31 km Plitvica je rasteretnim kanalom spojena s Dravom. Nizvodnim dijelom (stari tok) propušta se oko 2 m³/s.(Prostorni plan Varaždinske županije., 2000.)

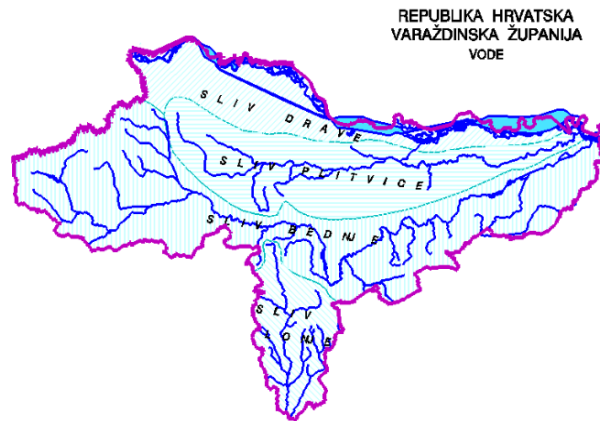
Slika 1. Regulacija toka Plitvice kod Šemovca



Preuzeto sa: Hidroing - vodoprivredni radovi., 2016.

U svrhu provedbe analize slivnog područja Plitvice kod Varaždina korišteni su podatci o srednjem dnevnom protoku rijeke Plitvice na hidrološkoj postaji Vidovićev mlin, koji su ustupljeni od DHMZ-a za vremenski niz od 15 godina (01.01.2003. do 31.12.2017.).(DHMZ, 2018.)

Slika 2. Karta Varaždinske županije s prikazom slivova Plitvice, Bednje, Lonje i Drave



Preuzeto iz: Prostorni plan Varaždinske županije., 2000. g.

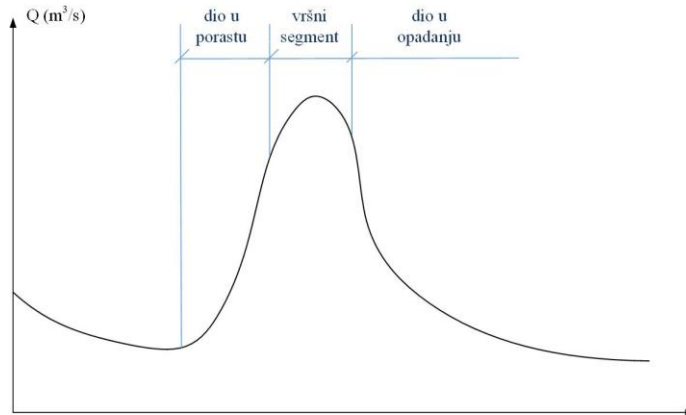
3. Metodologija

Kod promatranja vodnih valova vodotocima ključan pojam je otjecanje, odnosno karakteristike otjecanja. Otjecanje i karakteristike otjecanja, odnosno karakteristike nekoga vodnoga vala, najbolje se prikazuju nivogramima i hidrogramima(

Slika 3). Hidrogram je grafički prikaz protoka vode u vremenu (Jednadžba(1))(Srebrenović, 1986.).

$$Q = f(t) \quad (1)$$

Slika 3. Hidrogram otjecanja

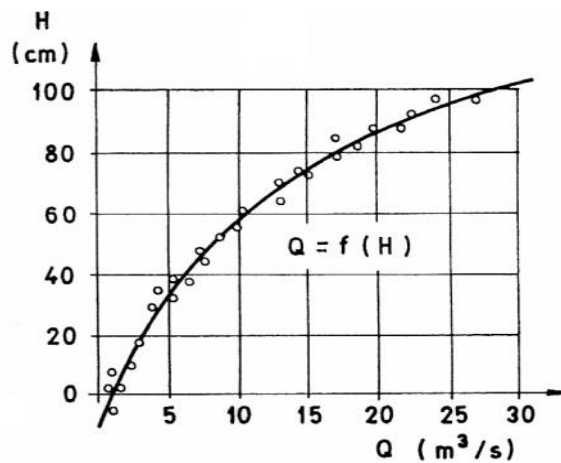


Preuzeto iz: Srebrenović, 1986. g.

Moguće je izravno mjerenje protoka, ali najčešće se koriste definirane protočne krivulje kojima se opažani vodostaj preračunava u protok. Protočna krivulja, krivulja protoka ili konsumpcijska krivulja (Jednadžba (2) odnos je između vodostaja i protoka u protjecajnome profilu vodotoka, koji se može izraziti u obliku jednadžbe, krivulje ili tablice (jedne ili više njih) (Žugaj, 2000.).

$$Q = f(H) \quad (2)$$

Slika 4. Primjer protočne krivulje



Preuzeto iz: Žugaj, 2000. g.

Provedena je analiza srednjih dnevnih protoka rijeke Plitvice za razdoblje od 01.01.2003.g. do 31.12.2017. godine. Promatrani su podatci na mjernoj postaji Vidovićev mlin. Za promatrano 15-godišnje razdoblje izrađeni su hidrogrami srednjih dnevnih protoka te maksimalnih godišnjih protoka. Za spomenuti niz podataka određene su vrijednosti maksimalnih, minimalnih srednjih godišnjih protoka te standardno odstupanje od srednje vrijednosti za pojedinu godinu (**Tablica 1**).

4. Rezultati i rasprava

Maksimalni protok koji se pojavio na rijeci Plitvici u zadnjih 15 godina iznosi 32,4 m³/s i izmjeren je 20.09.2017. godine. Najniži protok iznosi 0,488 m³/s i izmjeren je 1.10.2011. godine. Iz obrađenih podataka uočljiv je vrlo promjenjiv režim rijeke. Varijabilnosti režima najbolje su uočljive na razlikama vrijednosti maksimalnoga i minimalnoga srednjega godišnjega protoka ($Q_{\max} - Q_{\min}$) gdje se na primjer 2012. godine bilježi razlika od 7,47 m³/s, a već sljedeće 2013. godine razliku od 25,83 m³/s. Generalno, obradom podataka teško je definirati određene trendove u režimu rijeke Plitvice. Provedena analiza potvrđuje definiciju rijeka pluvijalnog režima, odnosno uočljiva je zavisnost protoka isključivo o intenzitetu i količini oborina.

Tablica 1. Statistički pokazatelji vrijednosti protoka rijeke Plitvice na hidrološkoj postaji Vidovićev mlin

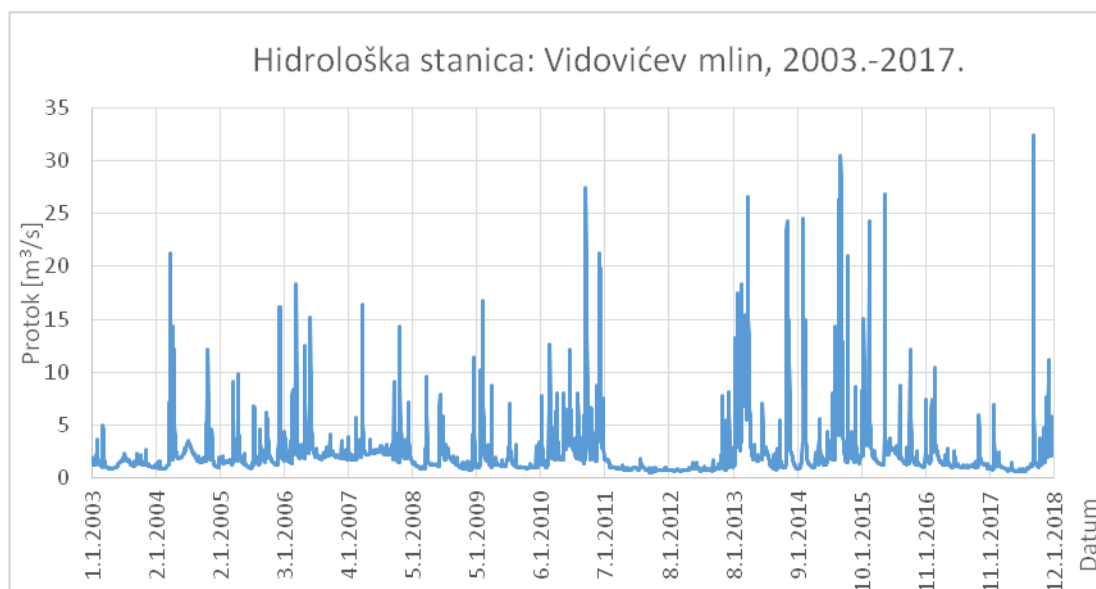
Godina	Q_{\max}	Q_{\min}	$Q_{\max} - Q_{\min}$	Q_{sred}	σ
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
2003	4,95	0,88	4,07	1,39	0,49
2004	21,30	0,85	20,45	2,29	1,98
2005	16,20	0,93	15,28	2,15	1,68
2006	18,30	1,32	16,98	2,74	1,87
2007	16,40	1,44	14,96	2,61	1,40
2008	11,40	0,72	10,68	1,68	1,33
2009	16,80	0,88	15,92	1,81	1,92
2010	27,50	1,00	26,50	3,82	3,51
2011	2,12	0,49	1,63	0,93	0,29
2012	8,13	0,66	7,47	1,04	0,82
2013	26,60	0,77	25,83	3,89	4,23
2014	30,50	0,81	29,69	3,80	4,93
2015	26,80	1,04	25,76	2,79	2,90
2016	10,40	0,95	9,45	1,66	1,07
2017	32,40	0,57	31,83	1,60	2,25

Sred	17,99	0,89	17,10	2,28	2,05
Max	32,40	1,44	31,83	3,89	4,93
Min	2,12	0,49	1,63	0,93	0,29

Izvor: DHMZ, 2018.g.

Hidrogramima srednjih dnevnih protoka (**Slika 5**) i maksimalnih godišnjih protoka (**Slika 6**) prikazane su karakteristike rijeke Plitvice za promatrano 15-godišnje razdoblje. Hidrogrami karakteristični za nagla i velika povećanja protoka su strmi i kod rasta i pada (**Slika 5**), što je karakteristika bujičnih vodotoka. Kod takvih vodotoka veliki protoci pojavljuju se nakon obilnih oborina, najčešće u proljeće i jesen, gdje u prosjeku takvi protoci traju nekoliko dana. Karakteristika takvih vodotoka naglo je povećanje vodostaja i protoka, koje se pojavljuje nakon oborina (tzv. zakašnjelo dizanje hidrograma), te se u pravilu javlja nekoliko dana nakon velikih oborina zbog slijevanja vode iz obližnjih potoka i kanala u rijeku. Posebno valja obratiti pozornost na bujični karakter rijeke i na nagla i višestruka povećanja protoka, koja često za posljedicu imaju izlivanje rijeke.

Slika 5. Hidrogram srednjeg dnevnog protoka za razdoblje 01.01.2003. g. do 31.12.2017. g. na hidrološkoj postaji Vidovićevo mlin



Izvor: DHMZ, 2018. g.

Najveći srednji dnevni protoci unutar svake pojedine godine u promatranom 15-godišnjem razdoblju javili su se šest puta u ožujku (2003. g., 2004. g., 2006. g., 2007. g., 2013. g., 2016.g.), tri puta u rujnu (2010. g., 2014. g., 2017.g.) i prosincu (2005. g., 2008. g., 2012. g.)te jednom u siječnju (2011.g.), veljači (2009.g.) i svibnju (2015.g.). Prethodno navedeno potvrđuje definiciju rijeke Plitvice kao vodotoka s pluvijalnim (kišnim) režimom.

Slika 6. Hidrogram maksimalnog godišnjeg protoka za razdoblje od 01.01.2003. do 31.12.2017. na hidrološkoj postaji Vidovićevo mlin



Izvor: DHMZ, 2018. g.

5. Zaključak

Cilj ovoga rada bila je analiza hidrološkoga režima rijeke Plitvice, odnosno protoka zabilježenih na hidrološkoj postaji Vidovićevo mlin. Poznavanje protoka i uočavanje eventualnih trendova povećanja u današnje vrijeme vrlo je važno zbog sve većeg utjecaja klimatskih promjena. Rijeku Plitvicu karakterizira pluvijalni režim, odnosno protoci i vodostaji ove rijeke ponajviše ovise o intenzitetu i količini oborina na njezinom slivu. Posljednjih godina uočavamo sve veće ekstreme u vremenskim uvjetima, pa tako i količinama oborina. Obzirom na lokaciju i karakter rijeke vrlo je važno imati u vidu raspone vrijednosti protoka i vodostaja koji se mogu javiti na rijeci Plitvici.

Provedenom analizom pokazano je kretanje raspona srednjih godišnjih i maksimalnih godišnjih protoka rijeke tijekom zadnjih 15 godina. Varijacije u protoku nikako nisu zanemarive

te s izrazitom pažnjom treba pratiti trendove povećanja ekstrema oborina jer povećane količine oborina prate i značajna povećanja protoka na inače mirnim rijekama poput Plitvice.

Literatura

1. DHMZ (2018.). Podatci o protocima za rijeku Plitvicu.
2. Hidroing - vodoprivredni radovi. (2016.). <http://www.hidroing.hr/vodoprivredni-radovi/g3> (17 October 2018).
3. Prostorni plan Varaždinske županije. (2000.). Varaždin: Varaždinska županija.
4. Srebrenović, D. (1986.). Primijenjena hidrologija. 1. izdanje. Tehnička knjiga, Zagreb.
5. Žugaj, R. (2000.). Hidrologija. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.