

ПОПЛАВЕ У СРБИЈИ У ПЕРИОДУ 1999-2009 ГОДИНА- ХИДРОЛОШКА АНАЛИЗА И МЕРЕ ЗАШТИТЕ ОД ПОПЛАВА

АНА МИЛАНОВИЋ*, МАРКО УРОШЕВ, ДРАГАНА МИЛИЈАШЕВИЋ

Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Буре Јакшића 9/III, Београд, Србија

Сажетак: У раду дат је преглед највећих поплава у периоду 1999 – 2009. г., које су забележене на простору Војводине и централне Србије. За 13 хидролошких станица, на којима су забележене велике поплава у разматраном периоду, израчунате су вероватноће појаве тих поплава. Применом теорије вероватноће и математичке статистике урађене су анализе временских серија максималних протицаја и водостаја, и добијене су теоријске функције расподеле појаве великих вода, на основу којих се дошло до обезбеђености, то јест вероватноће појаве поплаве. Најчешће најбоље слагање са емпиријском функцијом расподеле су имале Лог-Пирсон III и Пирсон III расподела. Резултати ових прорачуна могу служити за димензионисање хидротехничких објеката за заштиту од поплава. Најважнији узрок поплава, забележених у оном периоду, били су топљење снега и интензивне кише. Такође, у раду је дата анализа садашњег стања заштите од поплава и правци развоја заштитних мера у будућности

Кључне речи: поплаве, максимални водостаји и протицаји, функција расподеле, мере заштите од поплава

Увод

Статистички подаци показују да су најчешће природне непогоде: поплаве (40%), тропски циклони (20%), земљотреси (15%) и суше (15%) (Гавриловић, Љ. 2007). За разлику од неких других елементарних непогода које се нагло јављају и кратко трају, поплава је непогода која може да траје прилично дуго (и више месеци) уз обухватање великих површина. Штете од њих су врло велике, јер су поред реке и у њиховим долинама највеће концентрације становништва и привредних објеката, најгушћа инфраструктурна мрежа, као и најплодније земљиште.

У Србији је поплавама потенцијално угрожено 10968 km², што захвата 12,4% територије. Највеће поплавне површине су у долини Тисе (2800 km²), Саве (2243 km²), Велике Мораве (2240 km²) и Дунава (2070 km²) (Гавриловић, Љ. 1981.). Плављења у долини Тисе се јављају због малих падова корита, геолошке подлоге и широке алувијалне равни. У долинама Саве и Дунава поплаве су предиспониране падавинама, али и коинциденцијом поплавних таласа њихових притока. Слив Велике Мораве је нарочито угрожен бујичним поплавама, које се формирају у кратком временском периоду, што их чини непредвидивим и разорним.

Када је реч о настанку поплава не сме се изузети ни антропогени утицај, који је све већи. Нелегална градња стамбених објеката у близини река, постављања сплавова и кафића у речним коритима (на појединим местима уз оштећење насипа који су избушени доводима) су само неки од узрока који увећавају ризике од поплава или повећавају њене последице. Честа је и појава да су раскрчене шуме у сливовима бујичних токова, што повећава појаву изненадних, разорних поплава.

Преглед већих поплава у периоду 1999-2009 година

У последњој деценији регистровано је више поплава већих размера у Србији, које ће бити предмет анализе у овом раду. Оне су се догодиле 1999, 2000, 2005, 2006, 2007. и 2009. г. Највећа поплава десила се у пролеће 2006. г., за коју се може се рећи и да је била једна од највећих поплава у Србији забележена у инструменталном периоду, јер је на многим рекама тада достигнут апсолутни максимум водостаја.

На сливовима главних притока Велике Мораве у јулу 1999 г. догодиле су се велике бујичне поплаве, при чему је осморо људи изгубило живот, оштећено је десетине хиљада стамбених и неколико стотина привредних објеката и однето 30 мостова у сливовима Западне Мораве, Јасенице, Кубршнице и Лепенице (Milanović, A. et al. 2008). Јулске поплаве, изазване великим количинама падавина, захватиле су све леве и поједине десне притоке Велике Мораве, а највеће штете претрпела је Шумадија (Смедеревска Паланка, Велика Плана, Јагодина, Баточина, Крагујевац, Аранђеловац, Рековац, Крушевац, Краљево и Младеновац). Највише падавина излучило се на простору планине Рудник, па су на појединим станицама у тој области регистроване дневне количине падавине које су биле далеко изнад просека. Тако је 10.7. максимум забележен на м. с. Крагујевац. 87,6 mm (Милановић, А. 2006), а на м.с. Смедеревска Паланка 66,5 mm (Анђелковић, Г. 2000). Све напред наведено условило је формирање поплавног таласа са кулминацијом водостаја у периоду 10-14.7. Тако је 10.7. на Лугомиру код Мајура забележен максимални водостај од 455 cm, на Раваници код Ћуприје 330 cm, на Јасеници код Смедеревске Паланке 385 cm, а на Лепеници код Баточине 545 cm. На Кубршници код Смедеревске Паланке максимум је забележен 11.7. и износио је 344 cm, а на Белици код Јагодине максимални водостај од 316 cm регистрован је 15.7. (Хидролошки годишњак 1, 1999). Тада је на Лепеници забележена и највећа амплитуда водостаја у току једне године од 405 cm (Милановић, А. 2007а).

Најтеже последице поплава биле су у Смедеревској Паланци, где су се излиле Јасеница и Кубршница због недовољне пропусне моћи корита и пробоја насипана на више места. Водотоци у сливу Лепенице су за време овог летњег пљуска изазвали и појачану ерозију земљишта на овом простору, као и загађења извора. (Милановић, А. 2007б). Излиле су се и Лугомир (поплављена је била трећина града Јагодине), Ресава (у подручју Свилајнца), Раваница (у Ћуприји), Црница (у Параћину) и Јовановачка река (у Ћићевцу). Мере одбране од поплава су различито трајале: на Јасеници (редовне- 7 дана, ванредне- 2 дана), на Кубршници (редовне- 2 дана), на Лепеници (редовне- 6 дана, ванредне-3 дана), на Белици (редовне мере- 3 дана, ванредне- 1 дан), а на Лугомиру (редовне- 2 дана, а ванредне- 1 дан). Све ово указује да се поплавни талас нагло јавио и брзо повукао, што такође указује на бујичарски карактер поплаве. Осим наведених природних фактора на поплаве у јулу 1999 г. утицали и неадекватно изграђени систем за одбрану, недовољно одржавање система, као и изградња стамбених и других објеката у близини реке (Милановић, А. 2006).

У марту и априлу 2000 г. као последица наглог топљења снега на обронцима Карпата и истовремених интензивних падавина јавиле су се велике воде на Тиси и Тамишу. Вредности падавина су биле веће од просечних за тај период године и највеће су забележене у Сенти (дневни максимум од 17,8 mm забележен је 6.4.) и Јаши Томићу (дневни максимум од 11,8 mm забележен је 3.4.) (Метеоролошки годишњак, 2000). Како је објављено у недељнику Војводина од 18.4.2000 г., поплавни талас на Тамишу кренуо је почетком априла на румунској страни (где је пробијен насип на неколико места, па је вода поплавила око 5000 ha и 4 села) и наставио да се шири ка Банату. Најтежа ситуација била је на територији општине Сечањ, где су поплављена три сеоска насеља Бока, Конак и Шурјан. Поплавама је било угрожено и насеље Јаша Томић. Дубина воде се кретала од 70 cm код Боке и Конака до готово 2 m

у зони Шурјана. Како би се спречило даље ширење поплавног таласа, просечен је насип железничке пруге Зрењанин - Вршац код села Бока и вода се усмерила према речици Брзави (водостај ове реке је био низак), односно даље ка каналу Дунав-Тиса-Дунав. Евакуације воде из поплавленог подручја трајала је пуних месец дана. Забележени максимални водостај на Тамишу код Јаше Томић био је 8.4. и износио је 822 cm (Хидролошки годишњак 1, 2000).

У истом периоду забележена су и изливања Тисе на територији Србије. Водостај Тисе је 22.4. код Новог Кнежевца достигао 866 cm (Хидролошки годишњак 1, 2000). У овом периоду мере редовне одбране од поплава на Тиси трајале су 61 дан код Новог Кнежевца и 44 дана код Сенте, а мере ванредне одбране чак 28 дана код Новог Кнежевца, односно 18 дана код Сенте. На Тамишу су ове мере краће трајале, па је тако редовна мера одбране од поплава трајала 26 дана код Јаше Томића и Сечња, а мере ванредне одбране само 1 дан.

Током 2001. и 2002 г. догодиле су се поплаве мањих размера. Највеће су биле у **јуну 2001 г.** у сливу река Јадар, Ждравија, Штира и Лесничка река, када су поплавлене општине Лозница, Љубовија, Крупањ, Мали Зворник и Шабац, како је објавила Влада Републике Србије (<http://www.srbija-info.yu/vesti/2001-06/22/25422>). Током поплаве оштећено је и више мостова и јаловишна брана рудника Велики Мајдан. Постојала је опасност да се из ње сваког момента у Дрину излију тоне разних отрова као што су цијанид, цинк-сулфат и олово. Максимални водостај на Јадру код Лешнице забележен је 21.6. и износио је 406 cm (Хидролошки годишњак 1, 2001).

Док се лето 2002. г у Европи завршило познатим дуготрајним кишама и катастрофалним поплавама у Немачкој, Чешкој, Аустрији, Русији, Румунији, Италији и Швајцарској, у Србији нису забележене поплаве већих размера. Војводина није имала готово никакве штете од поплава, а највеће бујичне поплаве догодиле су се у **јуну 2002 г.** у сливу реке Млаве. Како је објавио Глас јавности 13.6.2002 г., због обилних падавина (током 48 сати пало је око 130 l/m² кише у Петровцу на Млави) које су изазвале поплаву евакуисано је 800 људи, а оштећени су и локални путеви. Највеће штете претрпеле су 4 општине Браничевског округа: Петровац на Млави, Мало Црниће, Жагубица и Пожаревац. Максимални водостај Млаве, код Великог Села забележен је 12.6. и износио је 600 cm (Хидролошки годишњак 1, 2002). Реч је о већем изливању, јер је граница ванредне одбране од поплава на овој станици 400 cm.

Високе дневне температуре током треће декаде марта у комбинацији са кишним падавинама проузроковале су интензивно отапање снежног покривача у области Карпата и нагли пораст водостаја, па је почетком **априла 2005 г.** дошло до концентрисања велике количине воде на Тамишу. Званични подаци РХМЗ-а показују да је за 2 дана (18. и 19. 4.) у горњем сливу Тамиша пало од 40-75 mm падавина, а у сливу Горњег Бегеја 50-75 mm. У исто време водостај код станице Јаша Томић је убрзано растао (око 10 cm/h) (Милорадовић, М. и др. 2007). Пробојем насипа на 3 места, на десетак километара од границе на румунској страни, 20.4. је дошло до изливања воде Тамиша. У Румунији је тада поплавлено око 5000 кућа и 40000 ha ораница (Милорадовић, М. и др. 2007), а поплавни талас је захватио и Србију. Потенцијално је била угрожена површина од око 50000 ha са око 20000 становника у општинама Сечањ и Житиште и простор око 35000 ha и 14000 становника у општини Пландиште (Милановић, А. et al 2008). У циљу пражњења воде из угроженог подручја извршено је просецање десног насипа уз Тамиш код Јаше Томића на 5 места и на Пловном Бегеју код Међе. Након што је водостај опао, почело је истицање поплавне воде у реку Тамиш. Како је објављено тада у дневном листу Време од 28.4.2005 г., најтежа ситуација била је у насељу Јаша Томић, где је исељено свих 1000 становника, а око 150 кућа се срушило. Вредност водостаја од 846 cm, који је измерен код Јаше Томића 20.4. била је највећа забележена у инструменталном периоду на овом

водотоку. О величини поплаве сведоче и подаци да су мере редовне одбране од поплава код Јаше Томић биле проглашене непрекидно 102 дана, од фебруара до јуна, а код Сечња 21 дан у марту и 49 дана током априла и маја. Ванредне мере од поплава трајале су 3 дана код Јаше Томић и 2 дана у Сечњу. Такође, због високог водостаја на Тиси био је угрожен и Јужнобачки округ.

Велике штете претрпела су и насеља у сливу Јужне Мораве, услед бујичне поплаве у периоду 11-16. **маја 2005 г.** Како је објавио дневни лист Глас јавности од 10.5.2005 г, Комисија за процену штете утврдила је да су највеће поплављене површине у Нишком округу (Алексинац, Ниш, Дољевац, Ражањ и Мерошина), у Јабланичком округу (Лесковац, Бојник, Медвеђа и Власотинце), у Расинском округу (Крушевац, Александровац и Трстеник) и у Топличком округу (Житорађа). Максимални водостај 9. маја код Мојсиња на Јужној Морави износио је 456 cm (граница ванредне одбране од поплава је 400 cm).

Обилне падавине и отапање снега били су узроци великих поплава у Немачкој, Словачкој, Чешкој и Аустрији током **марта и априла 2006 г.** (Гавриловић, Љ. 2007). У истом периоду у Србији су забележене поплаве највећих размера у протеклој деценији (1999-2009 г). Од 10 до 17.4. на целом току Дунава кроз Србију водостаји су превазишли историјске максимуме- у Земуну је измерен до сада највећи водостај од 783 cm (16.4.), који је превазилазио претходни рекорд из 1981. године од 757 cm. Апсолутно максималне вредности водостаја забележене су и на станицама Банатска Паланка, 954 cm (16.4.) и Великом Градишту, 960 cm (15.4.). На Тиси код Новог Кнежевца водостај је износио 949 cm (21.4.), а претходни максимум од 912 cm забележен је 1970 г. И Сава је у Београду оборила рекорд из 1981 г., када је забележено 718 cm, јер је 2006 г. достигла 738 cm (16.4.). (Хидролошки годишњак 1, 2006). Оваквим вредностима водостаја умногоме су допринеле падавине у сливовима Дунава, Саве, Велике Мораве и Тисе, чије су вредности биле далеко веће од нормалних у децембру 2005 г. и марту 2006 г. (Mikhailov et al. 2008). Тог пролећа су на пример, забележене повишене вредности падавина у Београду (у марту је забележено 104,4 mm, а у априлу 97 mm кише (Метеоролошки годишњак, 2006)).

Низводно од ХЕ „Бердап II“ поплаве су угрозиле Кладово и Неготинску низију, а касније је дошло до катастрофалних поплава у целом приобаљу Дунава на територији Бугарске и Румуније. 8. априла је проглашена ванредна одбрана од поплава на целом току Дунава кроз Србију, на Тиси, Тамишу, Сави до ушћа Дрине и Дрини до Бадовинаца. Редовне мере одбране од поплава на Дунаву код Земун трајале су 52 дана, од марта до маја месеца, а ванредне мере 36 дана током априла и маја. И на Сави код Београда је било, редовне мере одбране од поплава трајале су 53 дана, а ванредне 37 дана. Слично је било и на осталим станицама у сливовима ових река. Тада је и саобраћај како на Дунаву, тако и на Тиси био прекинут. На Тиси код Сенте забележен је историјски максимум од 926 cm, који далеко превазилази 630 cm. При овом водостају (630 cm) се зауставља пловидба Тисом (Урошев М., Оцокољић М, 2008).

Поплаве су регистроване на територији више општина: у Апатину, Сомбору, Богојеву, Зрењанину, Беочину, Сенти, Тителу, Сечњу, Жабљу, Новом Саду, Бачкој Паланци, Инђији, Београду, Земуну, Гроцкој, Смедереву, Великом Градишту, Голубцу, Неготину и др. У Расинском округу такође је било поплављено 10-так села, а прорадила су и бројна клизишта. Поплавама је било укупно угрожено 213 насеља, а евакуисано је око 1000 људи (највише у општини Гроцка), према писању Гласа јавности у априлу 2006 г. Најугроженији је био Средњобанатски округ, са седиштем у Зрењанину. На простору Београда дошло је до изливања Дунава у Земуну, Новом Београду и Великом селу и Саве на простору кеја на Новом Београду, код Сајма, Небојшине куле на Калемегдану, на простору Чукарице и Остружнице. Ниво Дунава и

Саве је растао брзином од 1 cm/h (<http://www.beograd.org.yu>). Захваљујући одговарајућим мерама одбране од поплава (цакови са песком постављани су на многим локацијама у граду) није дошло до изливања катастрофалних размера. Поплаве су забележене и у сливу Млаве (у Костолцу и селима Маљуревац и Брадарац) и у сливу Јадра (низводно од Лознице у селу Горњи Јадар).



Слика 1. Дунав код Земунског кеја у априлу 2006 г. (фото М. Миливојевић)

Истовремено са великим поплавама дошло је и до појаве клизишта. Центар за цивилно-војне односе у свом листу Одбрана из маја 2006 г. је објавио да је те године на територији Србије регистровано је укупно 3069 клизишта, која су непосредно угрозила 966 насеља. Она су пре свега лоцирана у целом сливу Мораве и Колубаре, а једним делом и у сливовима савских притока у Мачванском округу. Клизишта су оштетила 2300 стамбених објеката, 639 путева и 17 мостова у централној Србији

У периоду 25-27. **новембар 2007 г.** велике поплаве захватиле су југ Србије, нарочито слив реке Власине. Топљење снега који се задржао у вишим планинским деловима изазвало је засићење земљишта водом и подизање нивоа подземних вода. Осим тога дошло је до обилних падавина током 48 сати у сливу Јужне Мораве, достигавши интензитет од 47 mm/дан у Димитровграду, 56 mm/дан у Лесковцу и 24 mm/дан у Нишу (Метеоролошки годишњак, 2007). Максимални водостај на Власини код Власотинца 384 cm забележен је 26.11., на Јабланици код Печењеvence 379 cm – 27.11., Топлици код Дољевца 291 cm – 27.11., на Јужној Морави код Мојсиња 471 cm – 29.11. Као последица тога дошло је до бујичних поплава у сливу Јужне Мораве и њених притока: Топлице, Ветернице, Нишаве, Власине, Косанице, Јабланице и Пусте реке. Поплаве су захватиле општине Бабушницу, Белу Паланку, Димитровград, Дољевац, Лебане, Лесковац, Пирот и Власотинце. Како је објавио дневни лист Блиц 26.11., бујице су однеле 13 мостова и оштетиле велики број путева. У многим местима су извори пијаће воде и водоводни системи били загађени, а у Лебану су се активирала и клизишта. Највеће поплаве и штете забележене су у сливу Власине, посебно у селима: Шишава, Средор, Номаница, Конопница, Горњи Орах, Присијан, Бољаре и Крушевица. Редовне и ванредне мере одбране од поплава су кратко трајале, свега неколико дана. Тако су на Јужној Морави код Мојсиња редовне мере трајале 5, а ванредне 2 дана. На Косову и Метохији у истом периоду, како је објавио РТС 26.11, била су поплављена села у општинама Косово Поље, Вучитрн, Подујево, делови Приштине и насеља у Србици.

Почетком **новембра 2009 г.** велике поплаве захватиле су Златиборски и Рашки округ. Услед кише, која је непрекидно падала око 20 сати на појединим местима

планинске реке су набујале и изазвале поплаве у Ужицу, Ариљу, Пожеги, Сјеници, Новом Пазару, Пријеполу, Новој Вароши, Прибоју и Рашкој. На метеоролошкој станици Златибор 7.11. 2009. забележен је апсолутни дневни максимум падавина за овај месец – 90,1 mm (Метеоролошки годишњак, 2009). Излиле су се реке Велики Рзав, Ђетиња, Западна Морава, Голијска Моравица, Лим, Милешевка, Бистрица, Злошница, Кратовска река и велики број бујичарских потока.

Како су објавили медији 7.11., а међу њима и телевизија РТС, у ноћи између 6 и 7.11. велика количина воде заједно са дрвима, грањем и осталим отпадним материјалима се прелила преко бране на реци Ђетињи код Ужица, па је поплављено неколико кућа и ресторана поред бране у граду, као и приградско насеље Турица. Већина кућа и објеката, које су биле поплављене, су изграђене у алувијалним равнинама Ђетиње, Великог Рзава и Моравице, тако и да не чуди чињеница да су баш оне биле на удару водене стихије. Поставља се и питање одговорности надлежних служби, које нису благовремено отвориле испусте на брани. Исти извор је објавио и да је у Ариљу због набујале реке Велики Рзав поплављен и регионални водоводни систем „Рзав“. Очевици из Ариља тврде да је ова поплава по својој величини била слична оној из 1965 г., можда чак и већа, када је забележен максимални протицај од 260 m³/s, (што по урађеним прорачунима одговара 100-годишњој води). Тек кад буду објављени подаци о забележеним водостајима и протицајима ове поплаве моћи ће да се одреди њена вероватноћа појаве. На сликама 2. и 3. приказана је једна иста деоница тока Рзава за време поплаве у новембру 2009 г. и за време малих вода.

Прорачуни максималних протицаја и водостаја за Велики Рзав код Ариља, као и за још 3 станице у сливу Голијске Моравице могу се пронаћи у раду М. Урошева (Урошев, М. 2007б). Велики Рзав има проблема и са малим водама, чије је изучавање значајно за функционисање водоводног система „Рзав“. Прорачуни унутаргодишње расподеле отицаја, минималних протицаја Великог Рзава и квалитета вода у овом сливу дати су у радовима М.Урошева (Урошев, М. 2006 и Урошев, М. 2007а). Све ово указује на потребу за изградњу бране „Ариље“ на профили Сврачково, која би имала сезонски карактер регулисања отицаја Рзава која би ублажила последице максималних и минималних протицаја) и обезбедила несметани рад регионалног водоводног система „Рзав“. На сликама 2. и 3. приказана је једна иста деоница тока Рзава за време поплаве у новембру 2009 и за време малих вода.



Слика 2. Поплава на Великом Рзаву код Шењеља новембар 2009 (фото Оташевић Г.)



Слика 3. Велики Рзав код Шењеља за време малих вода (фото Урошев М.)

У Пожеги је дошло до изливања Западне Мораве и Голијске Моравице, па су села Татојевица и Пријановићи претворена у „мочварну пустош“. Услед изливања Лима били су поплављени и делови Прибоја и Пријеполја, а на подручју општине Нове Вароши активирано је 11 клизишта, која су озбиљно угрозила на десетине

стамбених и пословних објеката, прекинула неколико локалних путева и замутила изворишта. У околини Сјенице речице су се услед великих падавина претвориле у бујице које су носиле све пред собом и том приликом је настрадала једна особа. Нарочито су била угрожена села Лопише, Ваба и Куманица.

Нажалост, ово није била једина поплава прошле године. Крајем **јуна 2009 г.** Врњачка Бања и околна насеља нашла су се под водом услед обилних падавина и изливања реке Гоч. Како је објавила новинска агенција Мондо 26.6., током поплаве је оштећено или потпуно уништено 20 локалних мостова, а једна особа се утопила у реци Грачац. Такође, крајем децембра дошло је до изливања Црног Тимока, па је у општини Зајечар уведена ванредна мера одбране од поплава.

Метод за прорачун вероватноће појаве великих вода

Хидрометеоролошке величине су резултат непосредног осматрања или мерења неког хидролошког или метеоролошког процеса. Ти резултати се могу односити на тренутна мерења или су последица неке обраде, као карактеристичне појаве унутар одређеног временског периода; дан, месец и година. Сврстани у хронолошком низу по времену, овако добијени подаци представљају временску серију разматране хидролошке појаве. Чланови овако формиране временске серије су случајне величине (случајно променљиве) које се прилагођавају законима теорије вероватноће и математичке статистике. За оцену вероватноће појављивања разматране хидрометеоролошке појаве (у нашем случају велике воде) у будућности користе се временске серије регистроване у прошлости. Параметри теоријских функција расподеле оцењују се на бази расположивог низа података из прошлости, при чему се претпоставља да ће параметри разматране случајно променљиве важити и у будућности (Прохаска, С. 2003). У овом раду извршена је статистичка анализа за 13 хидролошких станица, на којима су се у последњих десет година појавиле највеће поплаве у Србији, тако што су формиране временске серије масималних годишњих протицаја и водостаја.

Пре него што се приступи прорачуну вероватноће појаве максималних протицаја и водостаја, неопходно је испитати колико је временска серија регистрованог узорка репрезентативна за представљање разматраног процеса у целини. Примена математичке статистике и теорије вероватноће подразумева да су чланови расположиве временске серије максималних протицаја и водостаја случајне величине. Због тога је неопходно да се провери да ли су чланови формиране временске серије међусобно зависни или независни (случајни). За анализу случајности серија максималних годишњих протицаја коришћени су тест узастопних разлика (тест Нејмана) и тест серијалне корелације првог реда (тест Андерсона).

Затим се приступа испитивању стационарности статистичких параметара појединих секвенци формиране временске серије, односно да ли је временска серија хомогена. Постојање вештачких интервенција у сливу има за последицу модификацију просечних протицаја, односно водостаја у односу на природно стање. Ово доводи до такозване нехомогености месечних и годишњих хидролошких серија. До нехомогености хидролошких серија може доћи и због промена у природи (шумски пожар, масовна сеча шума или пошумљавање), али и као последица систематских грешака приликом обраде података мерења (Прохаска, С. 2003). Због тога је неопходно да, пре него што се одреди просечна вредност и остали статистичких параметари, испита њихова хомогеност. У овом раду за тестирање хомогености средњих вредности коришћен је Студентов t-тест, за тестирање хомогености дисперзије Фишеров F-тест, и за функцију расподеле инверзни тест Wilcoxon.

После провере случајности и хомогености временске серије приступа се прорачуну емпиријске расподеле и параметара функције расподеле вероватноће. Затим се врши прорачун теоријских расподела, то јест одређују се вредности протицаја или водостаја задате вероватноће појаве или задатог повратног периода. У овом раду је извршен прорачун максималних протицаја и водостаја за теоријске функције расподеле вероватноће које се најчешће користе у хидролошкој пракси: Нормална, Лог-Нормална, Гумбелова, Тропараметарска гама расподела – Pearson III, Log-Pearson III расподела. Тестирање сагласности (прилагођавања) емпиријске и теоријске функције расподеле вршено је помоћу χ^2 теста, Колмогоров-Смирнов теста и теста Крамера-Мизеса. На основу резултата ових тестова врши се коначан избор меродавне теоријске функције расподеле. За усвојену расподелу рачунају се одговарајући интервали поверења.

Као пример, овде ће бити приказана прорачун вероватноћа појава великих вода реке Дунав код Земуна. Аналогно овоме, урађен је и прорачун за осталих 12 станица. Најпре су исписани максимални водостаји за период 1960-2006 г. Затим су израчунати основни статистички параметри: $X_{sr}=559\text{cm}$, $S_x=85.6\text{ cm}$, $C_v=0.153$, $C_s=0.835$. Низ се проверава на хомогеност помоћу Студентов t-тест, Фишеров F-тест, и инверзног теста Wilcoxon (U). Добијене су следеће вредности: $F = 1.586 < F_{kr.} = 2.505$, $t = 1.012 < t_{kr.} = 2.024$, $U_1 = 175.284 < U = 223 > U_2 = 353.716$, што значи да је овај узорак хомоген. Након тога се приступа израчунавању вероватноћа појава. Максимални водостаји су поређани по величини и израчуната је емпиријска функција расподеле по формули Крицки и Менкеља $P_m=m/(N+1)$. А затим су израчунате и вредности теоријских функција расподеле: Нормална (XN), Лог-Нормална (XLN), Гумбелова (XG), Пирсон III (XP3) и Лог-Пирсон III (XLP3) (табела 1.)

Табела 1. Теоријске функције расподела максималних водостаја Дунава код Земуна

P(x)	XN	XLN	XG	XP3	XLP3
[%]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
99.99	240	320	372	377	376
99.9	294	351	391	390	392
99.8	312	362	398	395	399
99.5	338	378	409	404	408
99	360	393	419	413	417
98	383	409	429	423	428
95	418	434	447	441	445
90	449	458	465	460	463
80	487	489	489	486	488
70	514	512	508	507	508
60	538	533	527	527	527
50	559	553	545	548	546
40	581	574	566	569	567
30	604	598	590	594	591
20	632	627	621	626	623
10	669	669	671	674	673
5	701	705	720	718	720
2	736	749	782	771	781
1	759	780	829	810	827
0.5	781	809	875	846	873
0.2	807	846	937	893	934
0.1	825	873	983	928	982
0.01	879	958	1138	1038	1146

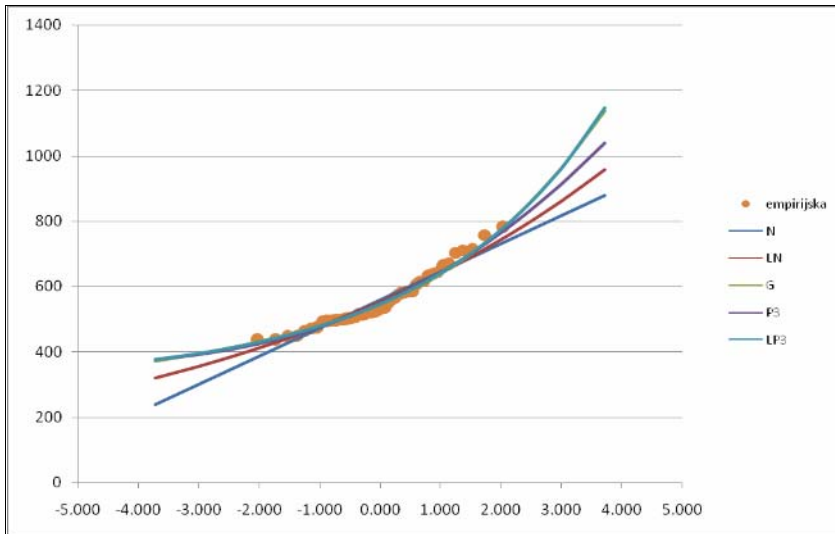
Упоредни приказ теоријских и емпиријске функције расподеле приказан је на слици 3. На апсиси су дате вредности базразмерне стандардне случајне променљиве нормалне расподеле Z, а на ординати вредности водостаја (cm). За одабир меродавне

теоријске функције расподеле неопходно је извршити тестирање сагласности теоријских и емпиријске расподеле. Сви тестови су рађени за праг значајности $\alpha=0.05$.

Вредности χ^2 теста су следеће: за Нормалну расподелу $\chi^2 > \chi^2_{\text{krit}}$, $7.45 > 5.99$ (хипотеза се не прихвата), Лог-Нормалну - $\chi^2 < \chi^2_{\text{krit}}$, $1.51 < 3.84$, Гумбелову - $\chi^2 < \chi^2_{\text{krit}}$, $4.05 < 5.99$, Пирсон III - $\chi^2 < \chi^2_{\text{krit}}$, $3.74 < 3.84$, Лог-Пирсон III - $\chi^2 < \chi^2_{\text{krit}}$, $2.47 < 3.84$. Према резултатима χ^2 теста све теоријске расподеле, осим Нормалне, су сагласне са емпиријском расподелом.

Вредности Комогоров-Смирнов теста су следеће: за Нормалну расподелу $D_{\text{max}} = 0.139$, за Лог-Нормалну $D_{\text{max}} = 0.117$, Гумбелову $D_{\text{max}} = 0.083$, Пирсон III $D_{\text{max}} = 0.089$, Лог-Пирсон III $D_{\text{max}} = 0.083$. Вредност D_{kr} за овај низ износи 0.201, што значи да све расподеле испуњавају услов $D_{\text{max}} < D_{\text{kr}}$, то јест сагласне су са емпиријском расподелом.

Вредности теста Крамер-Мизеса су следеће: за Нормалну расподелу $N\omega^2 = 0.185$, за Лог-Нормалну $N\omega^2 = 0.120$, Гумбелову $N\omega^2 = 0.062$, Пирсон III $N\omega^2 = 0.067$, Лог-Пирсон III $N\omega^2 = 0.061$. Све ове вредности су мање од $N\omega^2_{\text{kr}}$, т.ј. постоји сагласност свих теоријских и емпиријске расподеле.



Слика 4. Емпиријске и теоријске криве обезбеђености максималних годишњих водостаја реке Дунав код Земуне за период 1960-2006 г.

Судећи према вредностима тестова најбољу сагласност са емпиријском расподелом има Лог-Пирсон III расподела. Знајући која је теоријска функција расподеле меродавна, може се израчунати вероватноћа појаве поплаве из 2006. године. Максимални водостај од 783 cm према Лог-Пирсон III расподели има вероватноћу појаве $P = 1.94\%$, или повратни период од 52 године. На основу урађених анализа може се рећи да је од 13 проучаваних станица, њих 6 имало меродавну Лог-Пирсон III расподелу, 5 - Пирсон III расподелу и по једну Лог-Нормалну и Гумбелову. Ово указује да се годишњи максимални водостаји и протицаји се углавном (11 станица) померавају тропараметарској гама расподели.

Нажалост, до данас подаци о измереним максималним протицајима и водостајима на Ђетињи и Великом Рзаву нису доступни, тако да се не може говорити о вероватноћама појаве ове поплаве, односно да ли су то хиљадугодишње, стогодишње, педесетогодишње воде, итд. Једини доступни подаци на сајту Републичког хидрометеоролошког завода били су подаци о водостају за станицу

Кратовска стена на Западној Морави по изласку из Пожешке котлине. За ову аутоматску станицу постоје подаци о водостају са сваки сат. Анализирајући њих, види се да је поплава овде почела 06.11.2009. у 23.00 са 293 cm, а максимални водостај од 719 cm достигла 7.11.2009 у 17.00. Ако тај водостај додамо на коту „0“ водомера од 290,44, добијамо да је терен у Пожешкој котлини био плавлѐн до 297,63 m н.в.

У табели 2. представљени су резултати прорачуна великих вода за 13 станица и одређене су вероватноће појава поплава у периоду 1999-2009. г.

Табела 2. Вероватноћа појава великих поплава у Србији у периоду 1999-2009 године

Година	Река	Станица	Q max или H max	P (%)	T(године)
1999	Јасеница	Смедеревска Паланка	385 cm	6.96	14
1999	Лепеница	Баточина	545 cm	1.23	81
2000	Тиса	Сента	3400 m ³ /s	2.73	37
2000	Тамиш	Јаша Томић	822 cm	3.09	32
2005	Тамиш	Јаша Томић	846 cm	1.97	51
2006	Дунав	Бездан	7960 m ³ /s	1.53	65
2006	Дунав	Богојево	8630 m ³ /s	1.91	52
2006	Дунав	Нови Сад	745 cm	2.20	45
2006	Дунав	Земун	783 cm	1.94	52
2006	Дунав	Смедерево	845 cm	1.50	67
2006	Дунав	Велико Градиште	960 cm	0.92	109
2006	Сава	Београд	738 cm	2.15	47
2006	Тиса	Сента	3720 m ³ /s	1.12	89
2007	Власина	Власотинце	384 cm	2.51	40
2009	З. Морава	Кратовска стена	719 cm	7.02	14

Узроци поплава и подела према узроку

Велике воде на рекама јављају се као последица бројних директних и индиректних фактора. У директне факторе убрајају се: количина излучене кише и отопљеног снега, лед, клизишта и коинциденција великих вода, а у индиректне: нагиб терена, презасићеност земљишта водом, повезаност водотока са издани, геолошки састав и педолошки покривач, неповољно лоцирање привредних објеката и инфраструктуре (Гавриловић, Љ. 1981.). Велике воде на рекама се могу јавити и услед рушења бране или насипа, услед заустављања и нагомилавања дрвета и другог крутог отпада (недовољна пропусна моћ мостова- посебно на малим водотоцима у урбаним зонама, и сл.), као и услед појаве ветра на ушћима већих река и мора (са утицајем плиме) (Прохаска С., 2003).

Анализирајући узроке настанка 10 већих поплава у Србији у протеклој деценији, може се закључити да је код свих главни фактор била интензивна количина падавина, најчешће уз топљење снега, мада ни друге узроке не треба занемарити. На основу осталих фактора, може се рећи да је од укупног броја било:

- 5 поплава изазваних кишом и наглим отапањем снега (март-април 2000 г. у сливу Тамиша и Тисе- киша и отапање снега, јун 2001 г. у сливу Јадра- интензивне кише, април 2005 г. у сливу Тамиша и Тисе,- киша и отапање снега, април 2006 г. у сливу Дунава, Саве, Тисе, Тамиша, Дрине- услед отапања снега, кише и коинциденције великих вода, јун 2009 г. у сливу Западне Мораве- интензивне кише).

- 5 бујичних поплава (јул 1999 г. у сливу Велике Мораве, јун 2002 г. у сливу Млаве и Велике Мораве, мај 2005 г. у сливу Јужне Мораве, новембар 2007 г. у сливу Јужне Мораве, новембар 2009 г. у сливу слив Ђетиње, Рзава и Западне Мораве).

Последице поплава и табела највећих према последицама

Из године у годину штете од поплава су све веће. Разлог томе је рапидно повећање вредности добара на подручјима потенцијално угроженим поплавом и техничком немогућношћу да се сва та подручја заштите грађевинским радовима.. Услови од којих зависи висина штета су: 1. хидролошко-хидраулички и топографски услови; 2. стање изграђености и коришћења поплавних површина; 3. вредност добара изложених поплавама; 4. доба године (када је у питању пољопривреда); 5. стање и организација заштите од штетног дејства поплава (Бабовић В., Брук С., 1982).

Последице поплава су вишеструке и могу се сагледати са више аспеката: физиономског, демографског, економског, социјалног, еколошког, здравственог, психолошког (Гавриловић, Љ. 2007).

Физиономске последице манифестују се кроз промене изгледа и структуре животне средине. Мења се рељеф, засипају речна корита и алувијалне равни, преграђују реке и формирају језера, настају промене у коришћењу земљишта. И током горе наведених поплава такође је дошло до извесних физиономских промена, које се пре свега огледају у засипању ораница стерилним наносима, какав је био случај током свих бујичних поплава у сливу Велике Мораве.

Демографске последице су регистроване кроз 10-так жртава током ових поплава. Осам особа је страдало током бујичних поплава у Шумадији 1999 г, по једна у околини Врњачке бање и Сјенице у јуну, односно у новембру 2009 г. С обзиром да су хиљаде кућа оштећене током поплава, у извештајима је забележено да је велики број људи привремено исељен. Најсликовитији пример за то је село Јаша Томић, одакле је свих 1000 становника евакуисано током изливања Тамиша у априлу 2005 г.

О економским и социјалним последицама посебно се може говорити, јер су оне великих размера, као што се може видети из табеле 3, која је формирана на основу свих напред наведених научних извора и медија.

Табела 3. Последице поплава у Србији у периоду 1999-2009 г.

Период	Слив	Поплављени стамбени и привредни објекти / Срушени стамбени објекти	Поплављене пољопривредне површине (ha) / Пољопривредне површине угрожене подземним водама (ha)
Април 2006 г.	Дунав, Сава, Тамиш, Тиса, Велика Морава	6 000	111 503 / 112 173
Јул 1999 г.	Велика Морава	10 000	30 000
Март-април 2000 г.	Тиса, Тамиш	5000 / 434	13 000
Април 2005 г.	Тамиш, Тиса	5 000 / 150	4 600 / 85 000
Јун 2001 г.	Јадар, Ждравија, Штира и Лесничка р.	2 400	10 000
Новембар 2007 г.	Јужна Морава, Власина, Јабланица	2 000	3000
Јун 2002 г.	Велика Морава, Млава	1 000	10 000 / 50 000
Мај 2005 г.	Јужна Морава	400	5365
Новембар 2009 г.	Западна Морава, Ђетиња, В. Рзав, Моравица	365	2000
Јун 2009 г.	Западна Морава	200	1000

Како је објавио лист Економист у јануару 2010 г, Комисија за утврђивање штета од елементарних непогода при Влади Србије објавила је да су штете од поплава 2009 г достигле 3 милијарде динара (око 30 милиона ЕУР), а да је Влада из буџета за санирање штета издвојила 105 милиона динара (1,05 милиона ЕУР). Највећа штета забележена је током поплава из 2006 г. и процењена је на 35,7 милиона ЕУР. Поплава

из априла 2005. године у централном Банату нанела је штете приватној својини, пољопривреди и јавној инфраструктури у укупном износу од око 12,6 милиона ЕУР (<http://www.odrzivi-razvoj.sr.gov.yu/lat/strategije.php#10>). Елементарне непогоде из 2006 г. су се неповољно одразиле и на пољопривредну производњу, посебно на сетву која је требала да се обави на 2,5 милиона ha, јер је због плављења и угрожености од подземних вода била одложена, према извештају Привредне коморе Србије.

Појединачно по општинама у протеклој деценији велику материјалну штету због плављења кућа, индустријских постројења, пољопривредне механизације и ораница имала је Смедеревска Паланка током поплаве Јасенице и Кубршнице у јулу 1999 г. и износила је око 20 милиона ЕУР (Варга, С. и др., 2001). Целокупни индустријски комплекс био је под водом, што је донекле последица и неадекватног просторног размештаја привредних објеката, који су у непосредној близини река. Велика материјална штета (од око 6 милиона ЕУР) настала је после бујичне поплаве Власине у општини Власотинце у новембру 2007 г, јер је однето више локалних мостова, путева и поплављен велики број домаћинстава (www.scopesserbia.org/1/12/2007). Процењена штета у општини Сечањ током поплаве Тамиша у априлу 2000 г. била је око 3,4 милиона ЕУР (Варга, С. и др. 2001).

Еколошке последице поплава манифестују се кроз нарушавање квалитета воде и земљишта. Чест је случај у градским насељима да током поплаве долази до изливања канализације, оштећења водовода и загађења воде за пиће. Услед изградње градова на брзину није редак случај да се канализациона мрежа везује за систем евакуације брдских, бујичних потока, што оптерећује отицање. Као пример за то, могу се навести поплаве из маја 2005. и новембра 2007 г. у сливу Јабланице у лесковачким приградским насељима. због изливања реке Јабланице и одводних канала. Иста места су била оба пута поплављена. Иако је након прве поплаве најављено њихово чишћење у уређење, у наредне две године ништа није учињено. Такође, и материјална штета у поплавама на Тамишу и Тиси била би далеко мања да је адекватно одржаван систем канала Д-Т-Д, јер је због вишегодишњег застоја у одржавању ове каналске мреже одвођење поплавног таласа ишло спорије од пројектованих могућности система.

На површинама захваћеним поплавама увек постоји велика опасност од избијања епидемија заразних и других болести. Поплавне воде често загађују бунаре са пијаћом водом и стварају погодне услове за развој инфективних болести, па се искључују и градски водоводи. Један од примера је и водоводни систем „Рзав“ током поплава прошле године, када је био поплављен водозахват и црпна станица из кога се водом снабдевају Ариље, Пожега, Лучани, Чачак и Горњи Милановац, па су ови градови били без пијаће воде извесно време. Посебну забринутост изазвало је и то што је бујица однела мноштво дивљих депонија, па је постојала опасност од већег загађења воде и земљишта.

Заштита од поплава

Заштита од поплава представља важан сегмент комплекса радова и мера везаних за управљање речним сливом. Током досадашњег развоја ове области водопривреде, на подручју Србије је превасходно примењиван принцип *"борбе против поплава"*, који је подразумевао изградњу значајних и скувих инвестиционих објеката (броне, акумулације, насипи, регулација водотока, растеретни канали и др.), ради обезбеђења сигурности за људе и добра која се налазе у плавним зонама. Принцип *"борбе против поплава"* био је, до последњих деценија прошлог века најчешће примењиван и у свету., када је уведен нови -*"живети са поплавама"*. Овај нови концепт тежи усаглашавању захтева "хумане" компоненте (заштите добара и људских живота) и "еколошке" компоненте (очување или поновно успостављање природних функција и ресурса плавног подручја) (Варга, С. и др. 2001). У САД-у је,

на пример, 1968 г. покренут концепт да река *"треба да дише"* и да области плављене 20-годишњим водама не треба штитити, већ тек оне где се поплаве догађају ређе од тог периода. Како би спречили изградњу поред река у овим областима, Конгрес САД-а је донео Национални програм осигурања од поплава са различитим стопама осигурања у зависности од степена ризика од поплава. Агенција ФЕМА (Федерална Агенција за опасности од елементарних непогода) је урадила за САД карте зона хазарда од поплава са 100-годишњим водама. Осигурање је зависило од зоне где се објекти налазе. На тај начин је спречена и изградња објеката који би се налазили у зони 20-годишњих вода (Keller, E et al. 2008).

И поред чињенице да су за заштиту од поплава изграђени насипи дужине скоро 3500 km, да су регулисана корита бројних водотока, као и да 39 постојећих акумулација и ретензија у већој или мањој мери учествује у одбрани од поплава, садашње стање заштите од поплава у Србији није задовољавајуће. Најпре, велики део територије је још увек *реално угрожен поплавама*. И тамо где су системи заштите изграђени, *потенцијални ризик* од плављења постоји, јер често заштитни објекти нису одговарајући (димензије објеката, објекти нису повезани у затворене целине или габарити, квалитет и врста уграђеног материјала нису задовољавајући). Поред тога, вишегодишња редукација улагања у редовно одржавање заштитних објеката је довела до знатног смањења сигурности објеката, па самим тим и степена заштите у односу на раније стање. Посебно је, због неадекватног одржавања и коришћења речних корита, угрожено приобаље водотока са бујичним хидролошким режимом.

Опште стање и ниво изграђености система за одбрану од поплава је боље у приобаљу Дунава и Саве, у односу на остале делове Србије, а посебно Поморавље, које је у претходном периоду било потпуно запостављено када је у питању изградња система за заштиту од поплава и унутрашњих вода. У периоду од 1994. до 2004. г. практично је прекинута градња нових објеката, инвестиционо одржавање изграђених објеката је сведено на минимум а редовно одржавање испод 50% од прописаних стандарда. Од 2004. до 2006. г. значајно је поправљено стање у погледу редовног одржавања, али је улагање у инвестиционо одржавање и доградњу система за одбрану од поплава и даље недовољно. Актуелно стање система за одбрану од поплава на водним подручјима којима управља ЈВП „Србијаводе“ одражава чињеница да највећи градови у приобаљу Дунава и Саве и у Поморављу немају потребан степен заштите и то: Београд, Шабац, Смедерево, Велико Градиште, Голубац, затим Њуприја, Свилајнац, Лесковац и бројна друга места. Стање система за одводњавање и заштиту од унутрашњих вода је знатно неповољније. Примера ради на територији Београда око 50% црпних постројења је старије од 60 година, а неки агрегати су произведени још 1911. г. (Група аутора, 2006).

Заштита од поплава приобаља великих река и даље ће се базирати преваходно на хидрограђевинским објектима, од чијег ће стања и функционалности зависити ефикасност заштите. Овој активности треба прикључити и израду карата плавних зона (стварних и потенцијалних), како би се понашање у овим зонама прилагодило ризицима које носе поплаве. У ту сврху треба имати одговарајућу топографску подлогу приобаља, са актуелним садржајем и начином коришћења простора. На бази хидрауличких прорачуна треба уцртати линије плављења за карактеристичне протицаје, као подлогу за валоризацију потенцијалних штета и утврђивање правила понашања у детерминисаним зонама. Баш такви прорачуни су и урађени у овом раду за 13 хидролошких станица, односно израчунате су вероватноће појављивања максималних протицаја и водостаја. По резултатима ових прорачуна, могуће је конструисати карте ризика плављена угрожених подручја. У циљу ефикаснијих мера заштите Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Србије, односно Републичка дирекција за воде недавно је са Институтом за водопривреду

"Јарослав Черни" из Београда потписала уговор о изради *Прелиминарне процене ризика од поплава на територији Републике Србије*, чија ће израда бити подељена у 3 фазе у периоду 2009-2011. г. (<http://www.ekapija.com/website/sr/page/249751>).

Ова студија треба да обухвати: израду карата подручја са приказом граница речних сливова, топографије, коришћења земљишта; опис поплава које су се десиле у прошлости и које су имале значајне штетне утицаје на људско здравље, животну средину, културно наслеђе, привредну активност и сл; опис значајних историјских поплава и сл. Такође, треба да буде обухваћена и процена могућих штетних последица будућих поплава на људско здравље, животну средину, културно наслеђе, привредну активност. Притом је неопходно узети у обзир што више чињеница као што су топографија, речна мрежа, хидролошке и геоморфолошке карактеристике, објекти за заштиту од поплава, положај насеља и привредна активност

Заштита од поплава подручја у сливовима мањих водотока у Србији увек је била у другом плану. Мере заштите су биле углавном локалне природе, ограничене на већа насеља или значајније индустријске објекте. Због специфичног режима водотока (нагли надолазак и кратко трајање великих вода), није било времена ни за какве оперативне мере одбране од поплава, тако да су штете биле изузетно велике, а активности надлежних органа су се сводиле на помоћ становништву, евидентирање штета и санацију објеката након проласка поплавног таласа. Побољшању заштите од поплава на мањим водотоцима треба у наредном периоду посветити већу пажњу и због могућег погоршања режима великих вода услед климатских промена.

Закључак

На крају 20-ог и почетку 21 века, учесталост појављивања катастрофалних поплава на Дунаву и њеним притокама се повећала. У периоду 1974-2002 г, температура ваздуха и воде, као и падавине су се повећале. Упркос губицима на захватање воде и испаравање, протицаји Дунава су се повећали, па се повећала и учесталост екстремних хидролошких догађаја у сливу Дунава (значајне поплаве забележене су 1980,1981,1988,1999, 2002, 2005.и 2006 г). (Mikhailov, V. N. et al. 2008). Као пример ове претпоставке може сесматрати поплава из 2006 г, која је на станицама у средњем и доњем Подунављу превазишла историјске максимуме.

У нашој земљи поплава, која се десила у априлу 2006 г. оборила је историјске максимуме на станицама низводно од Сланкамена на Дунаву, на свим станицама на Тиси, као и на Сави у Београду. Вероватноће појаве ове поплаве су различите од станице до станице и крећу се у распону од 2,2% (Нови Сад) до 0,92% (Велико Градиште) на Дунаву, 1,2% на Тиси код Сенте и 2,15% на Сави код Београда. Поплава из априле 2005 г. оборила је историјске максимуме из 2000 г. на станицама, које се налазе на Тамишу. Вероватноћа појаве поплаве из 2000 године износи 3,09%, док је вероватноћа појаве поплаве из 2005 године једнака 1,97%. Из свега овога, може се закључити, да је период 1999-2009 г. имао највећу учесталост поплава, као и највеће величине поплава на већем делу Србије за цео инструментални период осматрања хидролошких појава. Најважнији узроци поплава, забележених у том периоду били су истовремено топлење снега и интензивне кише на већим рекама, и интензивни пљускови на бујичарским рекама.

Анализом мера заштите од поплава, може се закључити да садашње стање заштите од поплава у Србији није задовољавајуће. За картирање зона ризика од поплава, и пројектовање и изградњу насипа, потребно је слично као што је урађено у овом раду израчунати меродавне вероватноће појаве великих вода. У будућности се концепт заштите од поплава у Србији мора базирати на савременим светским трендовима, уз уважавање актуелног стања система заштите од поплава и економске

снаге друштва. Адекватна комбинација неинвестиционих и инвестиционих (хидрограђевинских) радоваи мера треба да обезбеди квалитетно решење интегралног уређења и заштите поплавних површина у Србији.

Литература

- Анђелковић, Г. (2000). Поплава у сливу Јасенице у јулу 1999. године, *Гласник Српског географског друштва*, 80 (2), 23-34.
- Бабовић, В. и Брук, С. (1982). Економско решавање проблема поплава. *Водопривреда* 80
- Варга, С. и Бабић-Младеновић, М. (2001). Заштита од поплава у Србији – нови приступ. *Управљање водним ресурсима Србије*, Београд: Институт за водопривреду „Јарослав Черни“.
- Гавриловић, Љ. (1981). *Поплаве у СР Србији у XX веку – узроци и последице*, Посебно издање, књ. 52, Српско географско друштво, Београд
- Гавриловић, Љ. (2007). Природне непогоде као фактор угрожавања животне средине. *Зборник радова Првог конгреса српских географа, књ. I*, Српско географско друштво, 69-76.
- Група аутора (2006). *Извештај о стању система за одбрану од поплава са предлогом рада за 2007 годину*. Београд: Јавно водопривредно предузеће „Србијаводе“.
- Група аутора (2008). *Национална Стратегија одрживог развоја Републике Србије, Финални нацрт*, Београд: Група за одрживи развој при Влади Републике Србије
- Keller, E. and Blodgett. R. (2008). *Natural Hazards, USA*: Pearson Prentice Hall
- Милановић, А. (2006). Хидролошка прогноза великих вода у сливу Лепенице и заштита од поплава. *Гласник Српског географског друштва*, 85 (1), 47-54.
- Милановић, А. и Ковачевић Мајкић, Ј. (2007а). Оцена стања квалитета површинских водаи загађења у сливу реке Лепенице. *Гласник Српског географског друштва*, 86(1), 23-33.
- Милановић А. (2007б). Анализа речног режима и водног биланса у сливу Лепенице. *Зборник Географског института “Јован Цвијић”*, 56, 25-33.
- Milanović, A. and Milijašević, D. (2008). Recent floods as a factor of environment degradation in Serbia. Fourth International Conference “Global Changes and Problems Theory and Practice”, Sofia, Bulgaria: Faculty of Geology and Geography, Sofia University “St. Kliment Ohridski”, pp. 87-92.
- Милорадовић М. и Матин З. (2007). Хидролошко-хидрауличке анализе у функцији спровођења одбране и управљања поплавним водама током поплаве на Тамишу 2005 године. *Водопривреда* 39, 119-132.
- Mikhailov V. N., Morozov V. N., Cheroy N. I., Mikhailova M. V. and Zav'yalova Ye. F., (2008) Extreme Flood on the Danube River in 2006. *Russian Meteorology and Hydrology, Vol. 33, No. 1, pp. 48–54*.
- Прохаска С. (2003). Хидрологија I део. Београд: Рударско-геолошки факултет, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Републички хидрометеоролошки завод Србије.
- Урошев М. (2006). Квалитет вода у сливу Голијске Моравице. *Гласник Српског географског друштва*, 86 (1), 55 – 60.
- Урошев М. (2007а). Прорачуни унутаргодишње расподеле отицаја и минималних протицаја Великог Рзава за потребе водоводног система “Рзав”. *Гласник Српског географског друштва*, 87 (2).
- Урошев М. (2007б). *Слив Голијске Моравице – хидролошка анализа*, Посебна издања, књ. 69, Географски институт „Јован Цвијић“ САНУ, Београд.
- Урошев М., Оцокољић М. (2008). Лимитирајући фактори пловидбе на реци Тиси. *Гласник Српског географског друштва*, 88 (1), 117-124.
- *** (1950-2008) *Хидролошки годишњаци*. Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије
- *** (1999-2009) *Метеоролошки годишњаци*. Београд: Републички хидрометеоролошки завод Србије
- <http://www.vreme.com/cms/view.php?id=414042>
- <http://www.srbija-info.yu/vesti/2001-06/22/25422.html>
- <http://arhiva.glas-javnosti.rs/arhiva/2005/05/10/srpski/D05050902.shtml>
- http://arhiva.glas-javnosti.rs/arhiva/poplave_2006.htm
- <http://www.beograd.org.yu/cms/view.php?id=1230139>
- <http://www.ccmr-bg.org/cms/view.php?id=434&start=35>
- <http://www.blic.rs/Vesti/Srbija/21124/Poplave-zaustavile-saobracaj-u-Jablanickom-okrugu>
- http://bgsvetionik.com/Na_dobrom_ste_putu/POPLAVE_NA_JUGU_SRBIIJE.htm
- <http://www.rts.rs/page/stories/sr/story/125/Dru%C5%A1tvo/280831/Poplave+u+Zapadnoj+Srbiji+.html>
- <http://www.mondo.rs/v2/tekst.php?vest=138987>
- <http://emg.rs/vesti/srbija/110390.html>
- www.ac-broker.rs/arhiva/vesti/2006/5
- <http://www.scopesserbia.org/index.php/sr/successstories/preparedness-and-planning/100-us-assistance-supports-fast-reaction-to-flash-floods-in-serbia>
- <http://www.ekapija.com/website/sr/page/249751>

FLOODS IN SERBIA IN THE 1999 - 2009 PERIOD – HYDROLOGICAL ANALYSIS AND FLOOD PROTECTION MEASURES

ANA MILANOVIĆ¹, MARKO UROŠEV¹, DRAGANA MILIJAŠEVIĆ^{1*}

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

Abstract: The review on greatest floods recorded in Vojvodina and central Serbia within the period from 1999 to 2009 is given in this paper. For 13 hydrological stations, that recorded the greatest floods for the present period, probability of occurrence of these floods has been accomplished. Based on analysis of time series of discharge and water level maximum, performed by applying probability theory and mathematical statistics, and calculated theoretical probability distribution function of floods, probability of occurrence of flood has been obtained. Most often the best agreement with the empirical distribution function had a Log-Pearson III, Pearson III distribution. These results can be used for dimensioning of hydro-technical objects for flood protection. The most significant causes for floods recorded in this period were melting of snow and intensive rainfall. In this paper the current situation of flood protection and future development of flood protection measures were also presented.

Key words: floods, maximum water levels and discharges, distribution function, flood protection measures

Introduction

Statistical data shows that the most common natural disasters are floods (40%), tropical cyclones (20%), earthquakes (15%) and droughts (15%) (Gavrilović Lj. 2007). Unlike other natural disasters that suddenly occur and last shortly, floods can last for quite a long time (even for several months) and cover large areas. The damages caused by floods are very severe, because along river banks and in river valleys is the highest concentration of population and commercial buildings, the maximum infrastructure density, as well as the most fertile land.

In Serbia, 10968 km² is potentially endangered by flooding; that is 12.4% of its territory. The largest flood areas are in the basins of rivers Tisa (2800 km²), Sava (2243 km²), Velika Morava (2240 km²) and Danube (2070 km²) (Gavrilović Lj. 1981). Flooding in the Tisa river basin is caused by small stream slope, geological composition and broad alluvial plains. In the river basins of Danube and Sava, floods are predisposed by precipitation, but also by coincidental flood waves of their tributaries. The Velika Morava river basin is especially endangered by flash floods, which are formed in a very short period of time, what makes them unpredictable and destructive.

As regards the flood occurrence, anthropologic factor, which is being increased, must be taken into account. Illegal construction of residential buildings on riversides, placing floating river clubs and cafes near riverbanks (in some places embankments were damaged by drilling and placing pipelines) are only some causes that increase risk from floods or its effects. Clearing the forests in flash flood basins flows is a common phenomenon, what increases the occurrence of sudden, destructive floods.

* e-mail: a.milanovic@gi.sanu.ac.rs

Review of greatest floods within the period from 1999 to 2009

In the last decade, several large-scale floods were recorded in Serbia, and that will be the subject of analysis in this paper. It happened in 1999, 2000, 2005, 2006, 2007 and 2009. The major flood occurred in spring 2006 and one can say that it was one of the greatest floods recorded in instrumental period, because during that flood absolute water level maximum was reached on many rivers.

In **July 1999**, in the river basins of major tributaries of Velika Morava great flash floods occurred, when eight people lost their lives, dozens of thousands of houses and hundreds of commerce buildings were damaged and thirty bridges on drainage basins of Velika Morava, Jasenica, Kubršnica and Lepenica were destroyed (Milanović A., et al. 2008). Floods in July, caused by intensive rainfall, covered all left and some right tributaries of Velika Morava, and Šumadija suffered the most severe damage (Smederevska Palanka, Velika Plana, Jagodina, Batočina, Kragujevac, Arandelovac, Rekovac, Kruševac, Kraljevo and Mladenovac). The largest amount of rainfall was received on Mt Rudnik, thus, some stations recorded daily amounts of rainfall above average value. On July 7, on Lugomir near Majur, meteorological station Kragujevac recorded 87.6 mm (Milanović A., 2006), and meteorological station Smederevska Palanka 66.5 mm (Anđelković G. 2000). All these events described caused formation of flood wave with culmination of water level maximum within the period between July 10 and 14. On July 7 on Lugomir near Majur recorded water level maximum was 455 cm, on Ravanica near Čuprija 330 cm, on Jasenica near Smederevska Palanka 385 cm, and on Lepenica near Batočina 545 cm. On July 11, on Kubršnica near Smederevska Palanka the water level maximum was 344 cm, and on Belica near Jagodina the water level maximum, recorded on July 15, was 346 cm (Hydrological annual 1, 1999). In that period, the highest amplitude of water level during one year was 405 cm (Milanović A. 2007a).

Smederevska Palanka experienced the most serious effects of flood, where Jasenica and Kubršnica, due to its poor streambed permeability, surged over to breach the dike on several places. During these summer rainstorms, the streams in Lepenica drainage basin caused an increased erosion, as well as source pollution (Milanović A., 2007b). Lugomir (one third of Jagodina was flooded), Resava (near Svilajnac), Ravanica (in Čuprija), Crnica (in Paraćin) and Jovanovička reka (in Čičevac) surged over. The period needed for measures of protection from flood varied: on Jasenica (regular – 7 days, emergency – 2 days), on Kubršnica (regular – 2 days), on Lepenica (regular – 6 days, emergency – 3 days), on Belica (regular – 3 days, emergency – 1 day), and on Lugomir (regular – 2 days, emergency – 1 day). All of these facts show that the flood wave appeared suddenly and quickly withdrawn, what also indicates the flash flood nature of this phenomenon. Besides natural factors, inadequate protection systems, insufficient system maintenance, as well as construction of residential and other buildings on the riverside also influenced the flood occurrence in July 1999. (Milanović A., 2006).

In **March and April 2000** floods on Tisa and Tamiš occurred, due to sudden melting of snow from the slopes of Carpathian Mountains and intensive rainfall at the same time. Precipitation levels were above average for that period of the year, and the highest value was recorded in Senta (daily rainfall maximum was 17.8 mm on April 6) and Jaša Tomić (daily rainfall maximum was 11.8 mm on April 3) (Meteorological annual, 2000). As stated in weekly papers Vojvodina on April 18, 2000, the flood wave started on Romanian border at the beginning of April (when the dike was breached on several places, and 5000 ha and four villages were flooded) and went on towards Banat. The most difficult situation was on the territory of municipality Sečanj, where three villages, Boka, Konak and Šurjan were flooded. Jaša Tomić was also endangered by flood. The depth of the water was from 70 cm at Boka and Konak, to almost 2 m in the area of Šurjan. To prevent further dissemination of

flood, the rail track bed near Boka village, which is on the line Zrejanin - Vršac, was breached and the water was directed towards Brzava river (where the water level was low at that moment), e.g. towards the Danube-Tisa-Danube canal. Evacuation of the flooded area lasted for a whole month. The recorded water level maximum on Tamiš near Jaša Tomić was 822 cm on April 8 (Hydrological annual 1, 2000).

At that time, floods on Tisa on the territory of Serbia were recorded. On April 22 the water level reached 866 cm on Tisa near Novi Kneževac (Hydrological annual 1, 2000). In that period, regular protective measures from flooding of Tisa lasted for 61 days near Novi Kneževac, 44 days near Senta, and emergency measures lasted 28 days near Novi Kneževac, e.g. 18 days near Senta. On Tamiš, these measures lasted less, and regular protective measure from flooding lasted 26 days near Jaša Tomić and Sečanj, and emergency measures lasted only one day.

During 2001 and 2002 floods of less extent occurred. The greatest floods happened in **June 2001**, in the drainage basin of rivers Jadar, Ždravija, Ljubovija, Štir and Lesnička reka, when, as the Government of Serbia stated, municipalities Loznica, Ljubovija, Mali Zvornik and Šabac were flooded, (<http://www.srbija-info.yu/vesti/2001-06/22/25422>). During the flood, several bridges and mullock dam of the mine Veliki Majdan were damaged. A major hazard threatened every moment, because dozens of toxic waste, such as cyanide, zinc-sulphate and lead, could have been surged over into the Drina River. Water level maximum on Jadar near Lešnica, recorded on June 21, was 406 cm (Hydrological annual 1, 2001)

While summer 2002 in Europe ended up with well-known long lasting rains and catastrophic floods in Germany, Czech Republic, Austria, Russia, Romania, Italy and Switzerland, no large-scale floods have been recorded in Serbia. Vojvodina had almost no damage from flooding, and the greatest flash flood occurred in **June 2002**, in Mlava river basin. As stated in daily paper "Glas Javnosti" June 13, 2002, due to intensive rainfall (during 48 hour precipitation level in Petrovac na Mlavi was 130 l/m^2) that caused flood, 800 people was evacuated and local roads were damaged. Four municipalities in Braničevo county: Petrovac na Mlavi, Malo Crniće, Žagubica and Požarevac suffered the most severe damages. Water level maximum of Mlava river near Veliko Selo recorded on June 12 was 600 cm (Hydrological annual 1, 2002). It was a major flood, because emergency measure limit is 400 cm for this station.

Daily high temperatures during the third decade of March 2005, combined with raining, caused intensive melting of snow in the area of Carpathians and sudden increase in water level. Thus at the beginning of **April 2005**, high concentration of water started to appear on Tamiš river. Official data of Republic hydro meteorological service show that in two days (April 18 and 19), precipitation level in the upper Tamiš drainage basin was 40-75mm, and in the Gornji Begej drainage basin, it was 50-75 mm. At the same time, at Jaša Tomić station water level was increasing rapidly (approximately 10 cm/h) (Miloradović M. and others, 2007.). On April 20, Tamiš surged over breaching the dike on three places, approximately 10 km from Romanian border. In Romania, 5000 houses and 40000 ha of infield were flooded. Approximately 50000 ha of area and 20000 of population in municipalities Sečanj and Žitište were potentially endangered at that time, as well as the area of approximately 35000 ha and 14000 of population in municipality Plandište (Milanović A. et al 2008). In order to evacuate water from endangered areas, dike on the right side of Tamiš was breached near Jaša Tomić on five places and on Plovni Begej near Međa. When the water level was decreased, efflux of the flooded water started towards Tamiš river. As stated in daily paper "Vreme" on April 28, 2005, the most severe damaged occurred in Jaša Tomić, where all 1000 of citizens were displaced and approximately 150 houses were ruined. The water level of 846 cm, measured near Jaša Tomić on April 20, was the highest value recorded in instrumental period on Tamiš river. The fact that regular protection measures were declared and lasted for 102 days constantly, from February to

June, and near Sečanj 21 days in March and 49 days in April and May, testify about the extent of this flood. Južnobački county was also at risk, due to the high water level on Tisa river.

Due to flash flood within the period from **May 11 to 16, 2005**, settlements in the Južna Morava river basin suffered severe damages. According to the daily paper “Glas Javnosti” on May 10, 2005, the Damage assessment commission affirmed that the most flooded areas were in Niš county (Aleksinac, Niš, Doljevac, Ražanj and Merošina), Jablanica county (Leskovac, Bojnik, Medveđa and Vlasotince), Rasina county (Kruševac, Aleksandrovac and Trstenik) and Toplica county (Žitorada). On May 9, water level maximum on Južna Morava near Mojsinje was 456 cm (emergency protection limit is 400 cm).

Intensive rainfall and melting of snow caused great floods in Germany, Slovakia, Czech republic and Austria during **March and April in 2006** (Gavrilović Lj., 2007). In that period, the greatest floods in Serbia have been recorded in the last decade (1999-2009). From April 10 to 17, throughout the entire flow of the Danube, the water level maximum were the highest in the history – in Zemun the highest water maximum was recorded 783 cm (April 16) and it exceeded the previous 757 cm record from 1981. The Absolute water level maximums were recorded on the stations Banatska Palanka, 954 cm (April 16), and Veliko Gradište, 960 cm (April 15). On Tisa near Novi Kneževac, the water level was 959 cm (April 21), and the previous maximum, recorded in 1970, was 912 cm. Water level maximum on Sava in Belgrade also exceeded the previous 718 cm record in 1981, and in 2006 it reached 738 cm (April 19) (Hydrological annual, 2006). The rainfalls in drainage basins of Danube, Sava, Velika Morava and Tisa contributed to these water level values, rainfall values in December 2005 and March 2006 were much higher than the normal ones for this months. (Mikhailov et al. 2008). In spring 2006, for instance, higher values of rainfall were recorded in Belgrade (104.4 mm in March and 97 mm in April (Meteorological annual, 2006)).

Downstream from “Đerdap II” dam, floods endangered the Negotin area, and later, catastrophic floods occurred in the entire Danube riparian zone in Romania and Bulgaria. On April 8, emergency protection measures from flooding were declared on the entire Danube flow throughout Serbia, on Tisa, Tamiš, Sava to the confluence with Drina, and Drina to Badovinci. Regular protective measures from flooding on Danube near Zemun lasted 52 days, from March to May, and emergency measures lasted 36 days, during April and May. Similar cases were on the other stations in drainage basins of these rivers. Thus, navigation on Danube and Tisa has been suspended. On Tisa near Senta, the historical water level maximum was recorded and it was 926 cm, exceeding by far the value of 630 cm. With this water level (630 cm) the navigation is being suspended (Urošev M., Očokoljić M, 2008).

Figure 1. Danube near Zemunski kej in April 2006 (photo M. Milivojević)

Flood has been registered, on territories of several municipalities: in Apatin, Sombor, Bogojevo, Zrenjanin, Beočin, Senta, Titel, Sečanj, Žabalj, Novi Sad, Bačka Palanka, Indija, Belgrade, Zemun, Grocka, Smederevo, Veliko Gradište, Golubac, Negotin etc. Dozens of villages were also flooded in the Rasina county, and land slides also occurred. Approximately 213 settlements were endangered and 1000 people were displaced (mostly in Grocka municipality), according to daily paper “Glas Javnosti” in April 2006. The most endangered area was Srednji Banat county, with Zrenjanin in its center. In Belgrade, Danube surged over at Zemun, Novi Beograd, and in Veliko Selo, and Sava at the area of quay at Novi Beograd, Sajam, Nebojša tower near Kalemegdan, in the area of Čukarica and Ostružnica. The water levels of Danube and Sava were increasing at 1 cm/h

(<http://www.beograd.org.yu>). By virtue of adequate protection measures from flood (sand sacs placed on various locations in the city), no catastrophic flooding occurred. Floods in the drainage basins of Mlava (near Kostolac and maljurevac and Bradarac) and Jadar (downstream from Loznica near Gornji Jadar).

At the same time, along with the floods, land slides occurred. Centre for Civilian-military relations in its bulletin "Odbrana" in May 2006 stated that 3069 land slides had been registered that year on the territory of Serbia, and had endangered 966 settlements. They are located in the entire drainage basins of Morava and Kolubara, and in some parts in drainage basins of tributaries of Sava and Mačva county. Land slides damaged 2300 residential buildings, 639 roads and 17 bridges in central Serbia.

Within the period from **November 25 to 27, 2007**, major floods occurred in south Serbia, especially in Vlasina drainage basin. Melting of snow, which sustained in higher mountain areas, caused saturation of soil with water and ground water level elevation. There were also intensive rainfalls for 48 hours in Južna Morava drainage basin, reaching the intensity of 47 mm per day in Dimitrovgrad, 56 mm per day in Leskovac and 24 mm per day in Niš (Meteorological annual, 2007). Water level maximum on Vlasina near Vlasotince recorded on November 26 was 384 cm, on Jablanica near Pečenjevac 379 cm – on November 27, on Toplica near Doljevac 291 cm – on November 27, on Južna Morava near Mojsinje 471 cm – on November 29. This resulted flash floods in drainage basins Južna Morava and its tributaries: Toplica, Veternica, Nišava, Vlasina, Kosanica, Jablanica and Pusta reka. Floods occurred in Babušnica, Bela Palanka, Dimitrovgrad, Doljavac, Lebane, Leskovac, Piroć and Vlasotince. According to daily paper "Blic" on November 26, flash floods destroyed 13 bridges and damaged large number of roads. In many places, sources of drinking water and water supply systems were polluted, and in Lebane, land slides occurred. Major floods and damages were registered in Vlasina drainage basin, especially in the following villages: Šišava, Sredor, Nomanica, Konopnica, Gornji Orah, Prisićan, Boljare and Kruševica. Regular and emergency protection measures lasted shortly, only a few days. As RTS stated on November 26, villages and municipalities Kosovo Polje, Vučitrn, Podujevo, some parts of Priština, and settlements in Srbica in Kosovo and Metohija were flooded.

At the beginning of **November 2009**, major floods occurred in Zlatibor and Raška region. Due to rainfall that lasted constantly for 20 hours, mountain rivers were overflowing and caused flood in Užice, Arilje, Požega, Sjenica, Novi Pazar, Prijepolje, Nova Varoš, Priboj and Raška. On November 11, meteorological station Zlatibor, recorded absolute daily precipitation level maximum for that month – it was 90.1 mm (Meteorological annual, 2009). Veliki Rzav, Đetinja, Zapadna Morava, Golijaska Moravica, Lim, Mileševka, Bistrica, Zlošnica, Kratovska reka, as well as large number of torrent streams surged over.

As the media reported on November 7, and one of them was RTS, in the night between November 6 and 7, large quantity of water along with wood, branches and other debris materials surged over the dam on Đetinja near Užice, thus, several houses and restaurants in the city near the dam were flooded, as well as suburban area Turica. Most of the flooded residential and other buildings were constructed on alluvial plains of Đetinja, Veliki Rzav and Moravica, therefore, it is not unusual they were struck by the flood. There is also a question on liability of the authorities, which didn't open the outlets on the dam promptly. The same source reported that, due to the overflow of Veliki Rzav, the regional water supply system had been flooded. The eyewitnesses from Arilje stated that the flood, by its extent, had been similar to the one from 1965, maybe even larger, when 260 m³/s maximum discharge level had been registered (by calculations, that matches the 100 year flood). When recorded data on water levels and discharges of this flood are to be unveiled, the occurrence probability could be determined.

Calculations of maximum discharges and water levels for Veliki Rzav near Arilje, as well as for three stations in Golijaska Moravica drainage basin can be found in the paper by

M. Urošev (Urošev M., 2007b). Veliki Rzav has problems with low waters, and its calculation is essential for functioning of water supply system “Rzav”. Calculations within annual runoff distribution, minimum discharges of Veliki Rzav and water quality in this drainage basin have been given in these papers (Urošev M., 2006 and Urošev M., 2007b). All these facts indicate the need for construction of a dam “Arilje” on Svračkovo profile, which would have seasonal character of regulation of Rzav discharges which would mitigate the consequences of discharge minimums and maximums and secure the undisturbed functioning of regional water supply system “Rzav”. Figures 2 and 3 shows the same river stretch of Rzav during the flood in November 2009, and during low waters.

Figure 2. Flood on Veliki Rzav river near Švelj in November 2009 (photo Otašević G.)

Figure 3. Veliki Rzav at Švelj during low water (photo Urošev M.)

Velika Morava and Goljska Moravica flooded Požega, thus villages Tatojevica and Prijanovići turned into “swamp devastation”. Due to river Lim surging over, parts of Priboj and Prijepolje were flooded and in the area of Nova Varoš 11 land slides were activated, and endangered dozens of residential and commercial buildings, several roads were cut off and the source water was mixed. Due to high rainfalls, streamlets turned into flash floods in the area around Sjenica and carried away everything before it, while one person died. Villages Lopiše, Baba and Kumanica were especially endangered.

Unfortunately this was not the only flood that year. At the end of **June 2009**, Vrnjaka Banja and settlements around it were flooded due to intensive rainfall and Goč river surging over. As press agency Mondo reported on June 26, due to flood, 20 local bridges were damaged or destroyed, and one person drowned in river Gračac. At the end of December, Crni Timok also spilled over banks, thus local authorities in Zaječar declared emergency protection measures.

Floods frequency analysis

Hydrometeorological values are the result of direct observation or measurement of some hydrological or meteorological process. These results can refer to current measurements or are the consequence of a data processing, as a characteristic occurrence within a certain time period: day, month, or year. These results, classified chronologically, represent time series of a discussed hydrological phenomenon. The members of time series, formed in this way, are random values (random variables) that are subjected to laws of probability theory and mathematical statistic. Time series of data registered in past are being used for estimating an occurrence probability of referred hydrological phenomenon (in this case, floods) in future. Parameters of theoretical distribution functions are assessed on the bases of available sequence data from the past, whereas it is assumed that the parameters of random variables shall be valid in future (Prohaska S., 2003). In this paper, statistical analysis has been accomplished for 13 hydrological stations, upon which major floods occurred during last ten years in Serbia, by forming annual maximum series of water levels and discharges.

Before calculating the probability of occurrence of maximum water levels and discharges, it is necessary to examine how the time series of registered samples are representative to present the process discussed as a whole. By applying mathematical statistics and probability theory implies that the available members of time series of maximum water levels and discharges are random values. Therefore, it is necessary to make sure if the members of time series are mutually dependent or independent (random). For analysing the randomness of series of maximum annual discharges, the successive difference test (Newman test) and first-order serial correlation (Anderson test).

The next step is examining statistical parameters stationary of some sequences of the time series, e.g. if the time series is homogenous. Artificial interventions in the river basin can cause modifications in average discharges, e.g. water levels with regards to natural conditions. This brings to non-homogeneity of monthly and annual hydrological series. Non-homogeneity of hydrological series can be caused natural changes (forest fire, mass deforestation or afforestation), but also as a result of system errors during the data processing (Prohaska S., 2003). Therefore, it is necessary to explore the homogeneity of data before determination of average values and other statistical data. For testing the homogeneity of average values Student t-test was used, for dispersion homogeneity testing fisher F-test was applied, and for distribution function it was Wilcoxon inverse test.

Besides randomness and homogeneity of time series testing, empiric distribution and parameters of probability distribution function have been determined. Then, theoretical distribution calculation have been accomplished, e.g. values of water levels and discharges for the given probability of occurrence or given return period have been determined. In this paper, maximum discharges and maximum water levels have been calculated for theoretical probability distribution functions, mostly applied in hydrological practise: Normal distribution, Log-normal distribution, Gumbel distribution, Three parameters gamma distribution – Pearson III, Log-Pearson III distribution. Concurrence test of empiric and theoretical distribution functions has been performed by χ^2 test, Kolmogorov-Smirnov test and Cramer-Mizes test. Based on results of these tests, the final selection of competent theoretical distribution function has been accomplished. For selected distribution, a specified confidence interval is being calculated.

For instance, calculation of probability of occurrence of floods on Danube River near Zemun will be presented in this paper. Analogous to that, calculations for other twelve stations have been accomplished. Primarily, maximum water levels for period from 1960 to 2006 have been noted. Secondly, basic statistical parameters have been calculated: $X_{sr}=559$ cm, $S_x=85.6$ cm, $C_v=0.153$, $C_s=0.835$. Student t-test, Fisher F-test and Wilcoxon inverse test (U) has been used for testing the homogeneity of the time series. The following values have been obtained: $F = 1.586 < F_{kr.} = 2.505$, $t = 1.012 < t_{kr.} = 2.024$, $U_1 = 175.284 < U = 223 < U_2 = 353.716$, that means that the sample is homogeneous. Then, the occurrence probability has been calculated. Maximum water levels have been aligned by it values, and empiric distribution function has been calculated according Kricki-Menkel formula $P_m=m/(n+1)$. Finally, values of theoretical distribution functions have been calculated: Normal distribution (XN), Log-normal distribution (XLN), Gumbel distribution (XG), Pearson III (XP3) and Log-Pearson III (LXP3) distribution (table 1.).

Table 1. Theoretical distribution functions of maximum water levels on Danube near Zemun

Comparative view of theoretical and empirical distribution functions is shown on figure 4. On X-axis are values of no-scale standard random variable of normal distribution Z, and on Y-axis are water level values (cm). For selection of competent theoretical distribution function, it is necessary to test concurrence of theoretical and empiric distributions. All tests have been preformed with significance level $\alpha=0.05$.

Values for χ^2 test are as follows: for normal distribution $\chi^2 > \chi^2_{krit}$, $7.45 > 5.99$ (hypothesis has not been adopted), for Log-normal distribution - $\chi^2 < \chi^2_{krit}$, $1.51 < 3.84$, for Gumbel distribution - $\chi^2 < \chi^2_{krit}$, $4.05 < 5.99$, for Pearson III distribution - $\chi^2 < \chi^2_{krit}$, $3.74 < 3.84$, for Log-Pearson III distribution - $\chi^2 < \chi^2_{krit}$, $2.47 < 3.84$. According to the results of χ^2 test all theoretical distributions are in compliance with empiric distribution, except normal distribution.

Values of Komogorov-Smirnov test are as follows: for normal distribution $D_{max} = 0.139$, for Log-normal distribution $D_{max} = 0.117$, for Gumbel distribution $D_{max} = 0.083$, for Pearson III distribution $D_{max} = 0.089$, for Log-Pearson III distribution $D_{max} = 0.083$. D_{kr}

value for this series is 0.201; that means that the requirement $D_{\max} < D_{kr}$ is fulfilled, e.g. concurred with the empiric distribution.

Values of Cramer-Mizes test are as follows: for normal distribution $N\omega^2=0.185$, for Log-normal distribution $N\omega^2=0.120$, for Gumbel distribution $N\omega^2=0.062$, for Pearson III distribution $N\omega^2=0.067$, for Log-Pearson III distribution $N\omega^2=0.061$. All these values are less than $N\omega_{kr}^2$, e.g. there is a compliance of theoretical and empiric distribution.

Figure 4. Empirical and theoretical frequency curves of maximum water levels on Danube near Zemun within the period from 1960 to 2006.

According to values of these tests, Log-Pearson III distribution shows best compliance with empirical distribution. Knowing that theoretical function is competent, it is possible to calculate the flood occurrence probability from 2006. Maximum water level of 783 cm shows occurrence probability $P = 1.94\%$ or 52 years return period, according to Log-Pearson III distribution. Based on analysis of data, it can be said that of 13 stations, 6 of them had competent Log-Pearson III distribution, 5 of them had Pearson III distribution, and one of them had Log-normal and Gumbel distribution. This indicates that annual maximum water levels and discharges follow three parameter gamma distributions.

Unfortunately, data on measured maximum discharges and water levels on Đetinje and Rzav are not available; therefore we can't say if these phenomena occur once in thousand, hundred, fifty years etc. Only data available on the web site of Republic hydro-meteorological service of Serbia are about water levels for the Kratovska stena station on Zapadna Morava, after the exit from Požega valley. For this automatic station, there are data on water levels per hour. Analysing them, it can be seen that flood started on November 6, 2009 at 23.00 with water level of 293 cm, the maximum water level of 719 cm was reached on November the 7 at 17.00. If we add this water level value to elevation "0" of water meter to 290.44, we can conclude that the terrain in Požega valley was flooded at 297.63 m above sea level.

Table 2 represents the results of calculations of high flows for 13 stations and flood occurrence probability have been determined within the period from 1999 to 2009.

Table 2. Flood occurrence probability in Serbia in the 1999 – 2009 period

Year	River	Station	Q _{max} или H _{max}	P (%)	T(years)
1999	Jasenica	Smederevska Palanka	385 cm	6.96	14
1999	Lepenica	Batocina	545 cm	1.23	81
2000	Tisa	Senta	3400 m ³ /s	2.73	37
2000	Tamiš	Jaša Tomić	822 cm	3.09	32
2005	Tamiš	Jaša Tomić	846 cm	1.97	51
2006	Danube	Bezdan	7960 m ³ /s	1.53	65
2006	Danube	Bogojevo	8630 m ³ /s	1.91	52
2006	Danube	Novi Sad	745 cm	2.20	45
2006	Danube	Zemun	783 cm	1.94	52
2006	Danube	Smederevo	845 cm	1.50	67
2006	Danube	Veliko Gradište	960 cm	0.92	109
2006	Sava	Belgrade	738 cm	2.15	47
2006	Tisa	Senta	3720 m ³ /s	1.12	89
2007	Vlasina	Vlasotince	384 cm	2.51	40
2009	Z. Morava	Kratovska stena	719 cm	7.02	14

The causes of flooding and their division

High flows on rivers occur as a result of various direct and indirect factors. Direct factors are: amount of rainfall and melted snow, ice, land slides and coincidental high flows, and indirect factors are: slope of the terrain, saturation of soil with water, water flow –

aquifer connection, geological composition and soil cover, inadequate location of commerce buildings and infrastructure (Gavrilović Lj., 1981). High flows on rivers can occur due to dam or dike demolition, halting and accumulation of wood and other debris material (inadequate bridge permeability – especially on small streams in urban zones, etc.), as well as wind appearance on large confluences of bigger rivers and sea (along with influence of tide) (Prohaska S., 2003).

Analysing causes for occurrence of ten major floods in Serbia in the last decade, it can bring to conclusion that the main factor was intensive precipitation, mostly with melting of snow, although other factors shouldn't be ignored. Based on other factors, it can be said that of all floods:

- 5 of them were floods caused by rainfall and sudden melting of snow (March-April 2000, in drainage basins of Tamiš and Tisa – rainfall and melting of snow, June 2001, in the drainage basin of Jadar – intensive rainfall, April 2006, in drainage basins of Danube, Sava, Tisa, Tamiš, Drina – due to melting of snow, rainfall and coincidental high flows, June 2009, in the drainage basin of Zapadna Morava – intensive rainfall)

- 5 of them were flash floods (June 1999, in the drainage basin of Velika Morava, June 2002, in drainage basins of Velika Morava and Mlava, May 2005, in the drainage basin of Južna Morava, November 2007, in the drainage basin of Južna Morava, November 2009, in drainage basins of Đetinja, Rzav and Zapadna Morava)

Effects of floods and table of major floods by its effect

As years pass by, damages caused by flood are getting larger. The reason is rapid increase of values of goods in the areas that are potentially endangered by flood and technical inadequacy to protect all areas with construction works. The conditions upon which the amount of damage depends are: 1. Hydrological-hydraulic and topographic conditions; 2. State of development and land use of flooded area; 3. Value of goods exposed to floods; 4. Time of the year (as regards the agriculture); 5. Conditions and organisation of flood protection system (Babović B., Bruk S., 1982).

The consequences from floods are multiple and can be perceived from more aspects: physiological, demographic, economic, social, environmental, health, psychological (Gavrilović Lj., 2007).

Physiognomic effects manifest throughout changes of appearance and structure of environment. The terrain is changed, streambeds and alluvial plains are banked, rivers are dammed and lakes are created, changes in using the land appear. During above mentioned floods, some physiognomic changes occurred, which mostly reflect in land accumulation with sterile deposit, as was the case with all flash floods in drainage basin of Velika Morava.

Demographic changes were registered through dozen of victims during these floods. Eight people were killed due to flash floods in Šumadija in 1999, one person in the area of Vrnjačka Banja in June 2009 and one in the area of Sjenica in November 2009. Given that thousands of houses were damaged during floods, in reports was noted that large number of people were temporally displaced. The most picturesque example was Jaša Tomić, from where all thousand citizens were evacuated during Tamiš flood in April 2005.

Economic and social effects can be discussed in particular, because of its large extent, as shown in table 3, created on bases of all above mentioned scientific sources and media.

As reported in the paper "Ekonomist" in January 2010, Commission for natural disasters damage assessment of the Government of Serbia, unveiled that damages from floods in 2009 reached 30 billion dinars (approximately 30 million EUR), and the Government extracted from the budget for restoration of damages 105 million dinars (approximately 1.05 million EUR). The largest damage from flood registered in 2006 was

estimated at 35.7 million EUR. Flood in April 2005 in central Banat damaged private properties, agriculture, and public infrastructure with 12.6 million EUR estimated (<http://www.odrzivi-razvoj.sr.gov.yu/lat/strategije.php#10>). According to the reports of Commerce chamber of Serbia, natural disasters reflected adversely to agriculture, especially to sowing which ought to be done on 2.5 million ha, and because of flooding and risks of groundwater, it was delayed.

Table 3. Flood effects in Serbia within the period from 1999 to 2009

Period	Basin	Flooded homes and commercial buildings / Collapsed buildings	Flooded agricultural areas(ha) / Agricultural areas endangered by groundwater (ha)
April 2006 г.	Danube, Sava, Tamiš, Tisa, Velika Morava	6 000	111 503 / 112 173
July 1999 г.	Velika Morava	10 000	30 000
March-April 2000 г.	Tisa, Tamiš	5000 / 434	13 000
April 2005 г.	Tamiš, Tisa	5 000 / 150	4 600 / 85 000
June 2001 г.	Jadar, Ždravija, Štira и Lesnička г.	2 400	10 000
November 2007 г.	Južna Morava, Vlasina, Jablanica	2 000	3000
June 2002 г.	Velika Morava, Mlava	1 000	10 000 / 50 000
May 2005 г.	Južna Morava	400	5365
November 2009 г.	Zapadna Morava, Đetinja, V. Rzav, Moravica	365	2000
June 2009 г.	Zapadna Morava	200	1000

Individually, in the last decade the municipality that suffered severe material damage was Smederevska Palanka, due to Jasenica and Kubršnica flood in June 1999, causing flooding of houses, industrial facilities, agricultural machinery and lands, and it was assessed at approximately 20 million EUR (Varga S. and others, 2001). Entire industrial area was flooded, partially as the consequence of inadequate arrangement of commerce buildings, located directly by the river.

Great damage (approximately 6 million EUR) appeared after the flash flood in Vlasotince on November 2007, because several bridges and roads were destroyed, and large number of households was flooded (www.scopesserbia.org/1/12/2007). Damages caused by Tamiš flood in municipality Sečanj in April 2000, was 3.4 million EUR (Varga S. and others, 2001).

Environmental flood effects manifest through water and soil quality corruption. Spilling of sewage is a common case in towns during flood, as well as water supply damages and pollution of drinking water. Due to express city development, it is not unusual to connect sewage with evacuation systems of mountain, flash flood streams, which makes the effluence more difficult. An example of that, floods in May 2005 and November 2007, in the drainage basin of Jablanica in the area of Leskovac, caused by surging over of Jablanica and drain canals, can be pointed out. Same places were flooded both times. Although after the first flood, cleaning and regulation was announced, nothing had been done for two years. Likewise, material damage caused by flooding of Tisa and Tamiš would be far less if Danube-Tisa-Danube canal was maintained adequately; because of long-term delay in the maintenance of the canal, drainage of flood wave is much slower than the expected abilities of the system.

On the flooded areas, there are always hazards of epidemics and other illnesses. Flood water often pollute the drinking water wells and create suitable conditions for development of infections, thus, water supply is shut down. One of the examples is water supply system "Rzav", during the last year flood, when water intake and pumping station

that supplied Arilje, Požega, Lučani, Čačak and Gornji Milanovac were flooded, and these cities lacked drinking water for some time. Special concern was caused by the fact that flash flood carried away wild dumps, thus the danger of greater water and soil pollution was created.

Flood defence system

Flood defence system is an important part of the complex activities and measures related to the river basin management. During the previous developments in this field of water management, on the territory of Serbia has primarily been applied the principle of "fighting against floods", which included the construction of important and expensive investment facilities (dams, reservoirs, embankments, regulation of rivers, canals etc), as to provide security for people and goods that are in flood risk zones. The principle of "fighting against the flood" was the most often applied in the world, until the last decades of the last century when a new one has been introduced: "living with floods". This new concept aims to reconcile the necessities of "humane" component (protection of property and human life) and those of "environmental" component (the preservation or restoration of natural features and resources of flooded area) (Varga, S. a.o. 2001). In the U.S.A, for example, in 1968 has been launched the concept that the river "should breath" and that the areas flooded at least once in a 20 years should not be protected, but only those where the floods take place less frequently. In order to prevent the construction near the rivers in these areas, the U.S.A. Congress passed a National flood insurance program with different insurance rates depending on the degree of risk of flooding. The Federal Emergency Management Agency (FEMA) has mapped the U.S.A zones with a flood risk with return period of 100 years. Insurance depends on the zone where the constructions are to be located. In this way the building in the areas flooded at least once in a 20 years was prevented (Keller, E et al. 2008).

Despite the fact that the length of constructed flood protection embankments amounts to nearly 3500 km, that numerous river beds are regulated, and that 39 existing reservoirs and retentions to a greater or lesser extent contribute to the defence against floods, the current state of flood protection in Serbia is not satisfactory. First of all, much of the area is still actually threatened by floods. Even where the protection system has been built, the potential risk of flooding exists, since the protection facilities are often not appropriate (dimensions of objects; objects are not connected in compact units; quality and type of applied material are not satisfactory). In addition, a multi-year reduction of investments in regular maintenance of protective structures has led to a significant reduction of the facilities safety, and hence, to the reduction of the degree of protection in relation to the earlier situation. Due to an inadequate maintenance and use of river beds, the banks of the rivers with flash flood regime are particularly threatened.

General conditions and level of development of the flood defence systems is better in the areas near the Danube and Sava rivers, in comparison to the other parts of Serbia, and especially to the valley of Morava, which has previously been completely neglected when it comes to the construction of flood defence system and inner waters system. In the period from 1994 to 2004 the construction of new facilities was actually interrupted, the investment maintenance of constructed facilities was reduced to a minimum and the regular maintenance below 50% of the prescribed standards. From 2004 to 2006 significantly improved the situation regarding regular maintenance, but the investment in maintenance and upgrading of flood defence systems is still insufficient. Current conditions of the flood defence system in areas where the water management is controlled by JVP Srbijavode are reflected by the fact that the largest cities and towns on the banks of the Danube and Sava river and in the Morava basin – such as Belgrade, Šabac, Smederevo, Veliko Gradište, Golubac, then Čuprija, Svilajnac, Leskovac and many other places - do not have the proper

degree of protection. The conditions of the system for drainage and protection from internal waters are much worse. In Belgrade, for example, about 50% of pumping equipment is older than 60 years, and some units have been produced back in 1911 (Group of authors, 2006).

The protection from flooding on the banks of major rivers will continue to be based primarily on the hydro facilities, on which conditions and functionality will depend on the effectiveness of defence. This activity should be combined with the mapping of flood risk zones (actual and potential), as to adapt the land use in these areas to the hazards of flooding. For that purpose should be realized an adequate topographic surface of the banks, with the current content and usage of space. On the basis of hydraulic calculations, the lines of flooding for specific discharges should be designed, as the groundwork for evaluation of potential damages and for establishing of the rules of procedures in determined zones. Ante these are just the calculations which have been done in this paper for 13 hydrological stations, that is the probabilities of occurrence of the maximum discharges and water levels have been calculated. According to the results of these calculations, it is possible to create a flood risk maps of vulnerable areas. In order of providing more effective measures of defence, the Ministry of Agriculture, Forestry and Water Management of Republic of Serbia, that is the Republic Directorate for Water, has recently signed the contract with the Institute for Water Resources "Jaroslav Černi" from Belgrade on the realization of a *Preliminary evaluation of flood risks on the territory of the Republic of Serbia*, the actualization of which will be divided in 3 phases during the period from 2009 to 2011 (<http://www.ekapija.com/website/sr/page/249751>).

This study should include: realization of area maps depicting boundaries of river basins, topography, land usage; description of the floods that occurred in the past and which had had significant adverse effects on human health, environment, cultural heritage, economic activity etc; description of significant historical floods etc. There should also be included the evaluation of possible harmful consequences of future floods on human health, environment, cultural heritage, economic activity. It is by the way necessary to take in consideration as much facts as possible, such as topography, river network, hydrological and geomorphologic features, facilities for flood defence, position of populated locations and economic activity.

The flood protection of areas in the basins of small rivers in Serbia has always been in the background. Protection measures were mostly of local character, limited to towns or important industrial facilities. Because of the specific river flow regimes (sudden overflows and short duration of high water), there was no time for any operational measures of flood defence, so the damages were extremely high, and the activities of the competent authorities used to be limited to helping the population, logging of damages and repairing of buildings after the passage of flooding waves. In the following period, a major attention should be dedicated to the improvement of the flood defence system on the smaller river flows, considering as well that the deterioration of the regime of high waters is possible due to climate changes.

Conclusion

At the end of the 20th and beginning of the 21st century, the frequency of catastrophic floods on Danube and its tributaries has increased. In the period between 1974 and 2002, the temperature of water and air, as well as precipitations has increased too. Despite the losses caused by usage and evaporation of water, the flow of Danube has increased and so has the frequency of extreme hydrological phenomena in its basin (devastating floods have been recorded in 1980,1981,1988,1999, 2002, 2005 and 2006) (Mikhailov, V. N. et al. 2008). As the example for these assumptions, the flood from 2006 may be taken in consideration, since it exceeded historical peaks at the stations in the middle and lower Danube basin.

In our country, the flood that took place on April 2006 exceeded the historical peaks at the stations downstream of Slinkamen on Danube, at all the stations on Tisa river, and on Sava river in Belgrade. The probability of occurrence of this flood differs at various stations and oscillates on Danube from 2.2 % (Novi Sad) to 0.92% (Veliko Gradiste), and amounts to 1.2 % in Senta on Tisa and to 2.15 % in Belgrade on Sava. The flood of April 2005 exceeded the historical peak from 2000 at the stations situated on Tamis. The probability of occurrence of the flood of 2000 is 3.09 %, while the probability of occurrence of the 2005 flood equals 1.97 %. From all this, it is possible to conclude that the interval from 1999 to 2009 was the one with the highest frequency of floods, as well as with the most extensive dimensions of floods in Serbia, during the entire instrumental period of the observation of hydrological phenomena. The most important causes of the floods recorded in that period were the simultaneous snow melting and intensive rainfalls over the bigger rivers and intense rainstorms on the flash flood streams.

Analysing the flood defence system measures, it can be concluded that their present conditions in Serbia are not satisfying. To proceed with mapping of the flood risk areas, and with projection and construction of embankments, it is necessary to estimate the applicable probabilities of occurrence of floods, as it has been done in this paper. In the future, the concept of the flood defence system will have to be based on modern world trends, which are to be introduced respecting the current conditions of this system and economic possibilities of the society. An adequate combination of investment (hydro-technical) and non-investment projects and measures, should provide a quality solution for an integrated regulation and protection of flood risk areas in Serbia.

References

See References on page 107