

СИСТЕМ РАНЕ НАЈАВЕ НА РЕЦИ ЋЕТИЊИ И ПРИТОКАМА НА ПОДРУЧЈУ ГРАДА УЖИЦА

Милутин Стефановић[□], Никола Златановић[†]

Абстракт: Слив реке Ћетиње, налази се на западу Србије, на подручју града Ужице, и један је од неизучених сливова на коме је током претходних деценија дошло до многих бујичних поплава. У граду Ужицу не постоје метеоролошке станице за мерење интензитета кише и није могуће пружити потребне податке за праћење појаве бујичних поплава и благовремено реаговање, што је предуслов за успешну одбрану од ових катастрофа. Последње поплаве ове врсте и урбане поплаве које су угрозиле центар града Ужица указале су на неопходност решења за такве појаве.

Кључне речи: Ужице, поплава, рана најава

EARLY WARNING SYSTEM ON THE RIVER ĐETINJA AND TRIBUTARIES IN THE CITY OF UŽICE

Abstract: The Đetinja river basin, located within Užice municipality in western Serbia, is an ungauged basin where many torrential floods have occurred over the past decades. In the city of Užice, there are no gauges for measuring rainfall intensity and it is not possible to provide necessary data for monitoring the occurrence of torrential floods and timely response, which is a precondition for the successful defense from these disasters. The latest floods of this kind and urban floods which endangered the center of the town of Užice indicated the necessity of solutions for such phenomena.

Key words: Užice, flood, early warning

1. УВОД

Бујичне поплаве настају након кратких пљускова великог интензитета и муњевито се сјуре ка ушћу где нанесу велике штете, а често и људске жртве. Синхронизовано деловање је основа за успешну одбрану од поплава, функционише једино на великим рекама, јер је цео досадашњи осматрачки систем у који су укључена ЈВП Србијаводе и РХМЗ прилагођен тој намени и брзина реаговања је прилагођена природи поплава на великим рекама.

Последње поплаве које припадају групи бујичних и урбаних поплава које су претиле угрожавањем виталних система градског језгра Ужица, указале су на потребу да се изврши јасно прецизирање активности и расподела обавеза на одбрани од ове врсте поплава, које су изразито локалне и муњевите и никако их не треба мешати са организованом одбраном од поплава на великим рекама.

Бујични токови се, најчешће означавају се као „хидролошки неизучени“. То, једноставније речено, значи да нису хидролошки осматрани. Хидролошка осматрања која су вођена на Ћетињи, на локацији Стапари су обустављена након израдње бране Врутци.

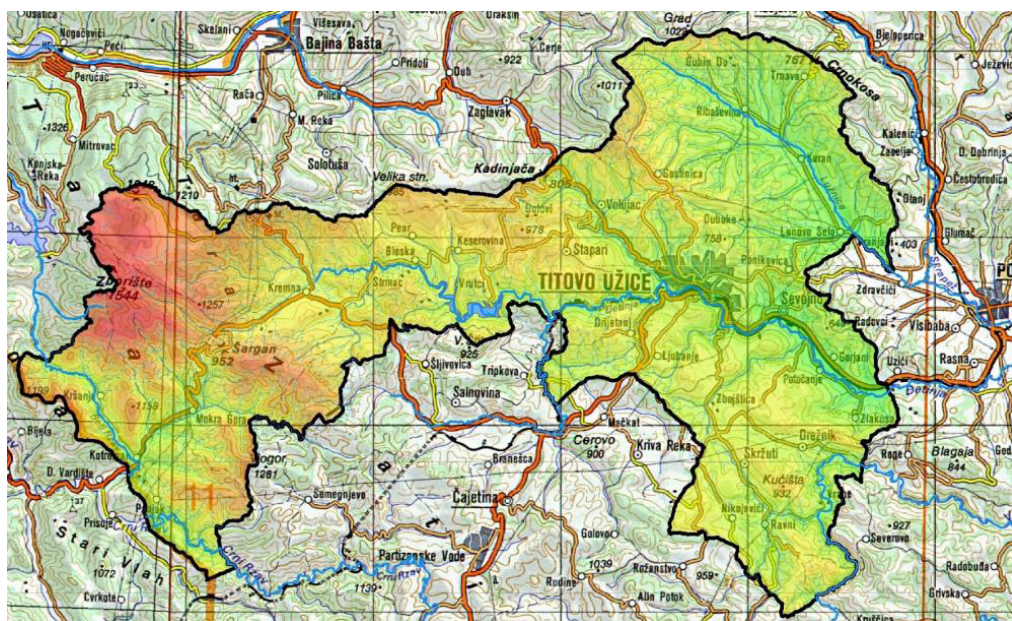
Потреба за увођењем ране најаве бујичних поплава на подручју града Ужице је ипак постала очигледна после катастрофалних поплава 2009. и 2014. године и изливања реке Ћетиње у самом Ужицу.

На реци Ћетињи су у прошлости бележене честе поплаве. Велика плављења забележена

су у јулу 1926. и 1959., мају 1965., априлу, јуну и јулу 1967., децембру 1968., јуну, јулу и новембру 1975. године, 1981, 1987, новембру 2009. године и мају 2014. године. Последњих година смо опет сведоци учесталих поплава на територији града Ужица.

2. МЕТОД РАДА

Територија града Ужица обухвата површину од 667 km². Главна опасност од поплава на територији града Ужица потиче од великих вода река Ђетиње, Белог и Црног Рзава и Лужнице, Волујца као и других водотока који се уливају у наведене реке. Због планинског карактера подручја, водени токови имају бујични карактер. Поплаве обично долазе изненада приликом интензивних падавина и/или наглог топљења снега, уз брзо повећање протицаја. Најважније сливно подручје је слив реке Ђетиње, која протиче кроз уже градско језгро Ужица.



Слика 5 Приказ територије града Ужице (подлога је топографска карта 1:300.000 и дигитални модел терена)

Сагледани су проблеми на целој територији Ужица, а затим је изабрано да се детаљно истраже сливови река на којима се јавља највише штета од бујица, превасходно, дуж тока као и стање на сливовима поменутих река. Из наведеног разлога су изабрани сливови Ђетиње и Лужнице.

Методолошки су дефинисане следеће активности:

- Прикупљани су и анализирани постојећи пројекти и студије од значаја;
- Прикупљени су и анализирани расположиви метеоролошко-климатолошки и хидролошки подаци;

- Прикупљене су и анализирани постојеће картографске подлоге (топографске, педолошке, геолошке) из одговарајућих фондова. На основу прикупљених података и анализа дати су утицаји на услове отицања воде са слива.
- Извршена је анализа хидрографских карата предметних сливова и на бази тога одређени су профили за хидролошке анализе и успостављање профила за осматрање;
- Претходно је извршено детаљно рекогносцирање терена и мерење јачине сигнала мобилних мрежа за потребе избора најбољих локација за осматрачки систем, тј. за локације за постављање метеоролошких и падавинских станица у сливу и локације на токовима за постављање ултразвучних или радарских сензора са пратећом комуникационом опремом;
- За изабране локације на токовима извршено је и геодетско снимање за потребе хидролошких и хидрауличких анализа;
- Извршени су прорачуни великих вода за изабране профиле, са циљем да се дефинишу карактеристике великих вода на изабраним профилима анализираних токова за вероватноће појаве од 1%, 2%, 5% и 10% (за повратне периоде од 100, 50, 20 и 10 година.);
- Извршена је анализа падавина јаког интензитета. Анализирани су падавине, као улазни параметар у моделу падавине-отицај, и коришћене су у облику зависности “максимална висина кише - трајање - вероватноћа појаве” (Х-Т-П криве) за кише јаког интензитета, а кратког трајања. Срачунати су губици кише и ефективне кише. По спроведеном поступку прорачуна приказани су резултати максималних протицаја за вероватноће појаве $p=1\%$, $p=2\%$, $p=5\%$ и $p=10\%$ (повратни периоди од 100, 50, 20 и 10 година) и рачунске хидрограме таласа великих вода;
- Извршене су хидрауличке анализе у зонама локација изабраних осматрачких профила са циљем да се дефинишу нивои водостаја за различите протицаје. Прорачуни и анализе су урађени за све потенцијалне хидрометријске профиле на којима ће да се осматрају водостаји;
- Извршен је прорачун критеријума за рану најаву, бујичних падавина и бујичних поплава. На основу изведених прорачуна и анализа приказане су вредности интензитета падавина и нивоа воде на осматрачким профилима које представљају граничне вредности за алармирање.

2.1 Теренски истражни радови

Спроведена су теренска истраживања и одређена места за постављање мерних уређаја за осматрање метеоролошких и хидролошких појава. Обрађени су сви доступни хидролошки и метеоролошко-климатолошки подаци. Извршена су геодетска снимања на локацијама за осматрање водостаја за потребе хидрауличких прорачуна (6km Волујачког потока, 9km реке Ћетиње и 300m реке Лужнице – локација Каран).

2.2 Приказ расположивих података

За потребе овог пројекта прикупљени су подаци који су побројани у наставку.

Хидролошки подаци (подаци су добијени од РХМЗ-да Србије)

Дневни подаци са хидролошких станица:

- Стапари (Q 1961-2002; H 1958-2002)
- Шенгољ (H 1976 -2012; Q 1977-2017)
- Врутци (Q 1973; 1975-1977)
- Горобиле (Q 1951-1979)

Часовни подаци са хидролошких станица:

- Стапари – 5 хидрограма поплавних таласа
- Шенгољ– 4 хидрограма поплавних таласа

Максимални годишњи протицаји

- Стапари (1961-2002)
- Шенгољ (1977-2017)
- Горобиле (1951-1976)

Метеоролошки подаци (подаци су добијени од РХМЗ-да Србије)

Часовни подаци:

- Седам епизода падавина на ГМС Златибор (1978, 1979, 1984, 1989x2, 2009 и 2014)

Дневни подаци са станица:

- Бајина Башта – висина снега 1961-2012
- Бајина Башта – падавине 1961-2012
- Бајина Башта – температуре ваздуха 1961-2012
- Пожега – висина снега 1961-2012
- Пожега – падавине 1961-2012
- Пожега – температуре ваздуха 1961-2012
- РЦ Ужице – висина снега 1978-2012
- РЦ Ужице – падавине 1978-2012
- РЦ Ужице – температуре ваздуха 1978-2012
- Златибор – висина снега 1951-2012
- Златибор – падавине 1951-2012,

- Златибор – температуре ваздуха 1961-2012

Дневне количине падавине са станица за период 1946-2013 (постоје прекиди у мерењима):

- Чајетина, Ариље, Кремна, М.Гора, Заовине, Скржути, Семегњево, Дуб, Растиште, Гостиница и Крушчица

Метеоролошки подаци (подаци су преузети из Годишњака СХЗ Југославије и РХМЗ Србије)

Максималне годишње дневне сума падавине са станица:

- Чајетина (1941-1990)
- Златибор (1950-2017)
- Бајина Башта (1942-2015)
- Пожега (1945-2017)
- РЦ Ужице (1990-2017)
- Ариље (1946-1993)
- Кремна (1954-1985)
- Мокра Гора (1957-2009)
- Заовине (1946-2011)
- Скржути (1949-2016)
- Семегњево (1949-2014)
- Дуб (1949-1993)
- Растиште (1949-2004)
- Гостиница (1949-1993)
- Крушчица (1956-1993)
- Ужице (1945-1984)
- Севојно (1946-1987)

•

ИТП криве за ГМС Златибор и ГМС Пожега (подаци су добијени од РХМЗ-да Србије)

Дневни подаци са бране и акумулације „Врутци“ (подаци су добијени од ЈКП Водовод Ужице):

- кота воде у акумулацији (1985-2018)
- захватање за водоснабдевање (1985-2000)
- испуштање воде на темељним испустима (1985-2018)

- преливање воде на преливу (1985-2018)
- захватање воде за рад МХЕ (2010-2018)
- испуштање минималног одрживог протицаја (1985-2000)

2.3 Избор мерних места за метеоролошка и хидролошка осматрања

Детаљним обиласком терена и увидом у постојеће хидродролошке, метеоролошке и падавинске станице које се већ налазе на терену, а у оквиру су осматрачког система РХМЗ-а, као и потребом од стране града Ужица да се одбрани од бујичних поплава које сваке године представљају највећу опасност за људе и имовину, процењено је да је потребно поставити нове и заменити старе хидродролошке, метеоролошке и падавинске станице.

Локације хидролошких станица

Према анализи која је заједно са РХМЗ-ом рађена, за праћење водостаје потребно је да се инсталира опрема на три водотока:

1. Река Ђетиња (локација Стапари)
2. Волујачки поток (локација Волујац)
3. Река Лужница (локација Каран)

Локације метеоролошких и падавинских станица

Такође, детаљном анализом постојећих метеоролошких и падавинских станица на подручју Града Ужице, а које су под непосредном јурисдикцијом РХМЗ, дат је предлог за постављање нових аутоматских метеоролошких, климатолошких и падавинских станица на сливовима наведених водотока. Након теренских истраживања предложене су четири потпуно нове локације:

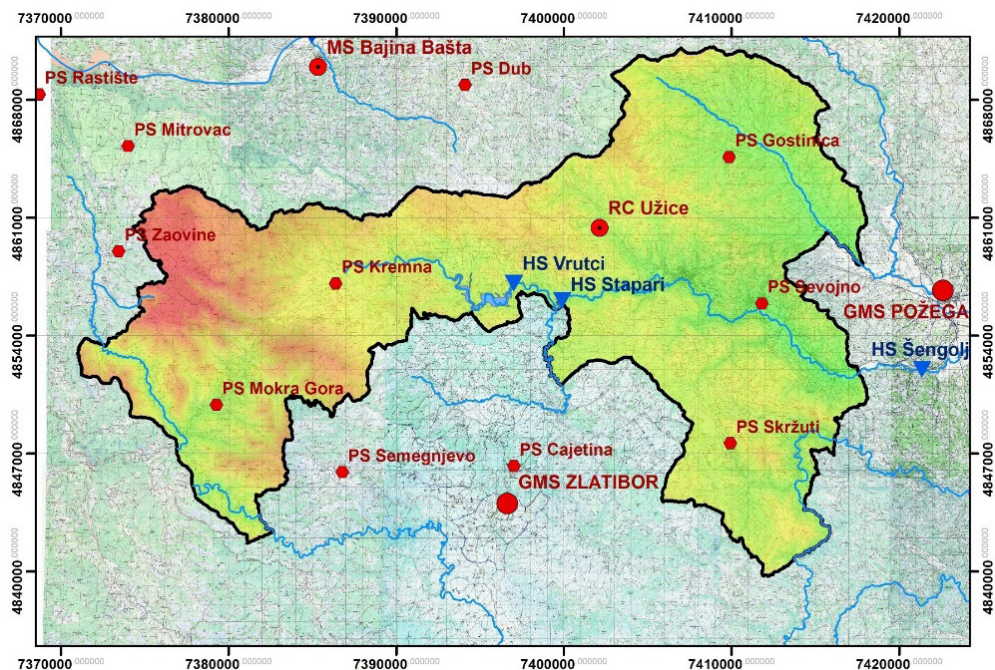
1. Трнава
2. Јелова гора
3. Златиборска ноћ
4. Кадињача

Осим наведених, нових локација аутоматских падавинских и климатолошких станица, биће замењене и новелиране старе метеоролошке и падавинске станице на којима већ РХМЗС врши осматрања падавина, да би се на тај начин унапредило осматрање. Следеће локације које ће бити замењене новим су:

1. Буар (локација код радарског центра),
2. Скржути
3. Чајетина

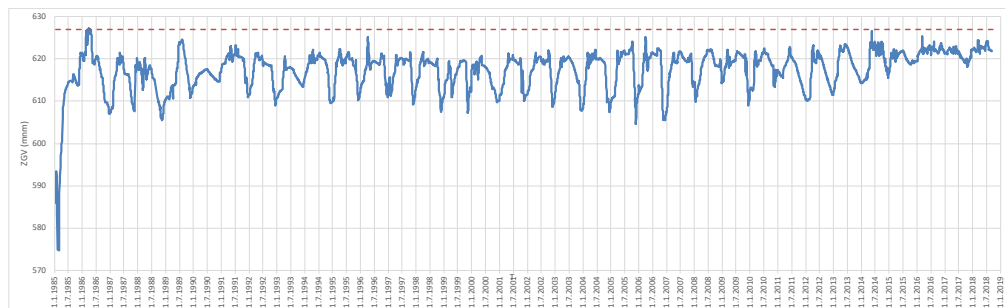
Хидро-метеоролошке анализе и прорачуни

Током израде Студије прикупљени су метеоролошки и хидролошки подаци, који су били доступни од стране РХМЗ-а, са свих околних станица које су у ближој и даљој околини Града Ужица (дневне количине падавина са станица за период 1946-2013. - постоје прекиди у мерењима). Детаљно су анализирани и часовни подаци са главних метеоролошких станица Златибор и Пожега.

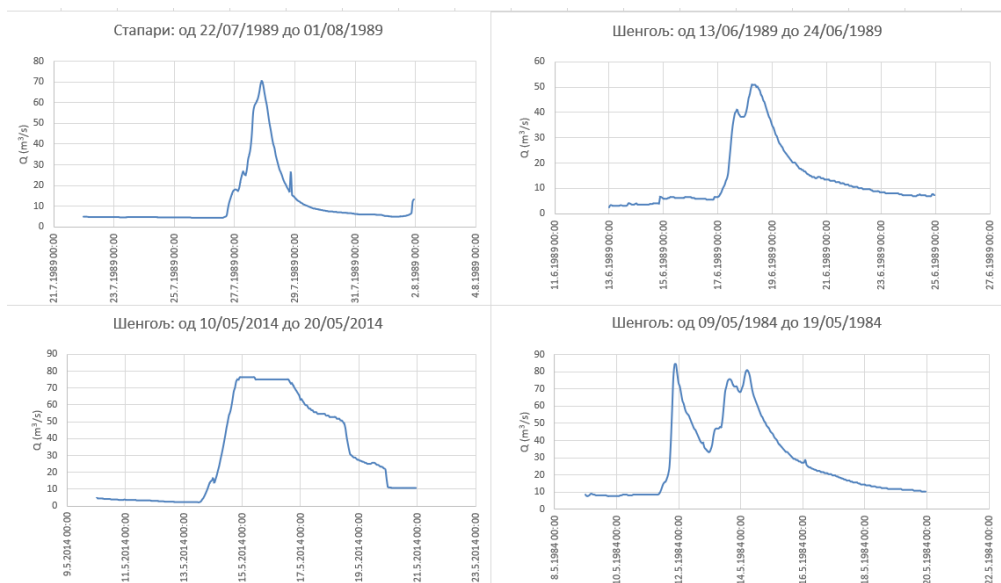


Слика 2. Ситуациони приказ сливног подручја и хидрографске мреже на територије Града Ужице са положајем постојећих хидролошких, метеоролошких, падавинских станица (подлога је топографска карта 1:25.000)

Такође су узети у анализу и добијени подаци са бране и акумулације „Врутци“ (слика 4).



Слика 3. Графички приказ кота у акумулацији „Врутци“
(КНУ=621,30мнм, КПП=627,00мнм)



Слика 4. Часовни подаци на хидролошким станицама Шенгољ и Стапари

3. РЕЗУЛТАТИ СА ДИСКУСИЈОМ

3.1 Резултати прорачуна великих вода на будућим хидролошким станицама

Што се тиче хидролошких прорачуна, израчунати су меродавни протицаји за вероватноће појаве $Q_{1\%}$, $Q_{2\%}$, $Q_{5\%}$, $Q_{10\%}$ и $Q_{20\%}$. Овако широк дијапазон протицаја прорачунат је из разлога провере купалишта на реци Ђетињи и регулације реке Ђетиње кроз Ужице.

На основу хидро-метеоролошких прорачуна и анализа, као и на основу морфометријских карактеристика сликова, дошло се до одређивања критеријума за алармирање на систему падавинских станица и хидролошких профила.

За кишомерне станице усвојено је да први критеријум за алармирање („жути“ аларм) укључује киша од 15 mm трајања до 100 минута, киша од 20 mm трајања 300 минута, одн. киша од 41 mm која падне за 24 часа.

Усвојено је да други критеријум за алармирање („наранџасти“ аларм) укључује киша од 21 mm трајања до 100 минута, киша од 29 mm трајања 300 минута, одн. киша од 67 mm која падне за 24 часа.

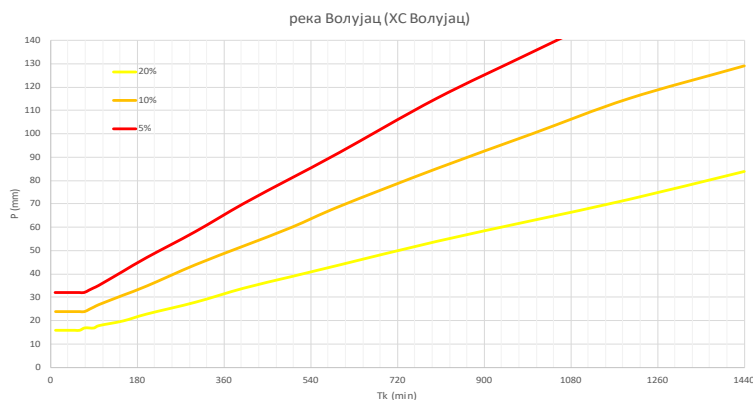
Усвојено је да трећи критеријум за алармирање („црвени“ аларм) укључује киша од 28 mm трајања до 80 минута, киша од 40 mm трајања 300 минута, одн. киша од 95 mm која падне за 24 часа.

Коришћењем методе синтетичког јединичног хидрограма прорачуна великих вода за све комбинације трајања кише ($T_k=10, 11, 12, \dots, 1440$ минута) и вредности бруто кише

на сливу ($P=10,11,12,\dots,200$ mm) дефинисане су вредности протицаја великих вода на профилима, затим су за карактеристичне вредности протицаја великих вода ($p=5\%$, $p=10\%$ и $p=20\%$) дефинисане криве $T_k - P$. Ове криве приказане су са три боје: жута ($p=20\%$), наранџаста ($p=10\%$) и црвена ($p=5\%$).

3.1.1 Анализе нивоа алармирања на сливу Вољујац

На реци Вољујац, на профили планиране ХС Вољујац су дефинисани критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на овом сливу. Као што је речено анализирани су трајање кишне епизоде ($T_k - \text{min}$) и количина падавина ($P - \text{mm}$). Генерално, поплавне таласе стварају интензивне кише одређеног трајања.

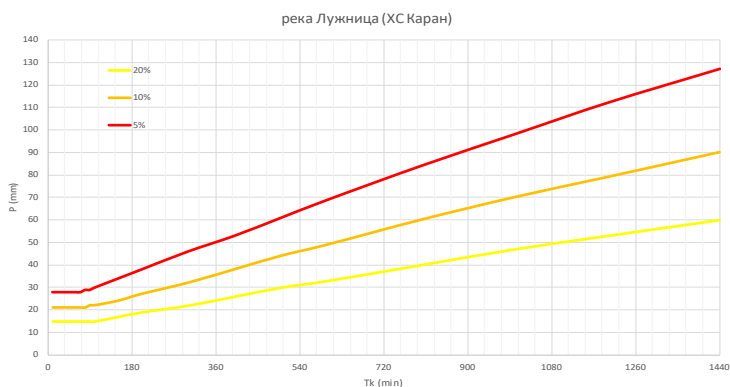


Слика 5. Критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на сливу Вољујац (до профила ХС Вољујац)

Са претходног графикона се може видети које су то граничне вредности за алармирање. Нпр. ако за 720 минута (12 сати) падне 50 mm кише то је гранична вредност за укључивање „жутог“ аларма. Ако за исто време падне 63 mm кише то је гранична вредност за укључивање „наранџастог“ аларма. Ако пак за 12 сати падне 105 mm кише то је гранична вредност за укључивање „црвеног“ аларма.

3.1.2 Анализе нивоа алармирања на сливу Лужнице

На исти начин као и на Вољујцу и на реци Лужници, на профили планиране ХС Каран су дефинисани критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на овом сливу. Опет су анализирани трајање кишне епизоде ($T_k - \text{min}$) и количина падавина ($P - \text{mm}$). Приказ добијених резултата је дат на следећој слици.

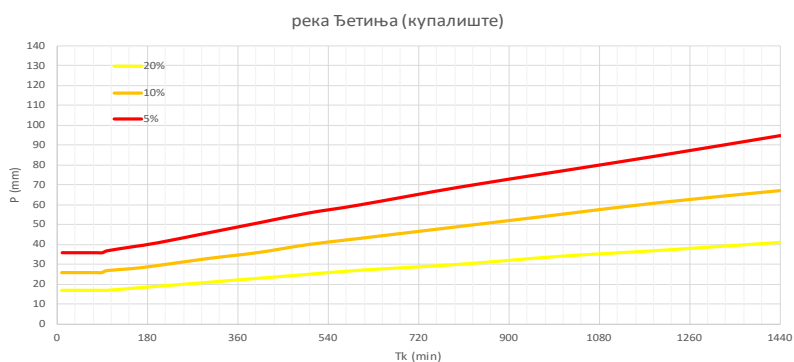


Слика 6. Критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на сливу Лужнице (до профила ХС Каран)

Са претходног графика се може видети које су то граничне вредности за алармирање. Нпр. ако за 360 минута (6 сати) падне 23 mm кише то је гранична вредност за укључивање „жутог“ аларма. Ако за исто време падне 35 mm кише то је гранична вредност за укључивање „наранџастог“ аларма. Ако пак за 6 сати падне 50 mm кише то је гранична вредност за укључивање „црвеног“ аларма.

3.1.3 Анализе нивоа алармирања на сливу Ђетиње

На исти начин као и на Волујцу и Лужници, и на профилу купалишта на Ђетињи су дефинисани критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на овом сливу. Опет су анализирани трајање кише епизоде (T_k – min) и количина падавина (P – mm). Приказ добијених резултата је дат на следећој слици.



Слика 7. Критеријуми за алармирање на систему репрезентативних кишомерних станица на сливу Ђетиње (до профила купалишта) без дела слива који контролише брана Врутци

Са претходног графика се може видети које су то граничне вредности за алармирање. Нпр. ако за 1440 минута (24 сата) падне 40 mm кише то је гранична вредност за укључивање „жутог“ аларма. Ако за исто време падне 68 mm кише то је гранична вредност за укључивање „наранџастог“ аларма. Ако пак за 24 сата падне 95 mm кише то је гранична вредност за укључивање „црвеног“ аларма.

На основу историјских поплава и падавина које су пратиле те поплаве (1984, 1978.), детаљном анализом установљено је да је време појаве пика хидрограма поплавног таласа, 1978. године, на раци Ђетињи, путовало од ХС Страгари до Ужица за 5,5h. Што се тиче поплаве из 1984. године, време појаве пика хидрограма поплавног таласа који је путовао од ХС Стапари до Ужица је био 8,5h.

Коришћењем хидролошких метода дефинисане су вредности протицаја великих вода на профилима који су обрађени, за карактеристичне вредности протицаја великих вода ($p=1\%$, $p=2\%$, $p=5\%$, $p=10\%$ и $p=20\%$). На бази овако дефинисаних вредности протицаја дефинисане су вредности критеријума за алармирање на систему хидролошких станица. Ови критеријуми су приказани са три боје: жута ($p=20\%$), наранџаста ($p=10\%$) и црвена ($p=5\%$), на профилима ХС Вољујац, Каран, Стапари и купалишта на Ђетињи.

Табеларно то би изгледало:

На профили ХС Вољујац

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	48,8	69,00	558,19
наранџасти аларм	10	10	35,6	55,00	558,05
жути аларм	20	5	23,2	39,00	557,89

На профили ХС Каран

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	88,8	213	389,13
наранџасти аларм	10	10	63,6	169	388,69
жути аларм	20	5	42,0	125	388,25

На профили ХС Стапари

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	104	159	515,09
наранџасти аларм	10	10	77	133	514,83
жути аларм	20	5	55	108	514,58

И на профилу купалишта на реци Ћетињи

	p	T	Qmax	H*	Z*
	(%)	(год)	(m ³ /s)	(cm)	(mm)
црвени аларм	5	20	133,3	72	407,22
наранџасти аларм	10	10	93,4	53	407,03
жути аларм	20	5	56,9	32	406,82

4. ЗАКЉУЧАК

Град Ужице је доживело историјске поплаве (1926, 1959, 1967, 1968, 1975, 1981) али у последњих 10-так година (2009, 2011, 2014, 2016, 2018.) претрпело велике штете од бујичних падавина и поплава. Ова Студија је тачно показала колике су то поплаве биле (вероватноће појаве) и које су слабости у систему одбране од поплава на подручју Града.

Студијом су јасно дефинисани сливови који представљају директну опасност за Град Ужице (сливови Ћетиње и Сушице и слив Волујачког потока) и слив Лужничке реке, који ће у неком даљем развоју система ране најаве бити неопходан да се разматра, гледајући целокупан слив Скрапежа и одбране од поплава Пожеге и других градова низводно на реци Западној Морави.

За прогнозу и најаву бујичних таласа потребно је располагати подацима о интензитету и количини падавина као и подацима о нивоу воде у токовима. Потребно је да се сви осмотрени подаци тренутно прослеђују осматрачком центру и одговорним људима у Граду Ужицу. За то је потребна опрема која ће својим перформансама да задовољи захтеве Осматрачког центра.

Калибрација система ране најаве

Калибрација система мора да се изврши у периоду после 2 године, након инсталације опреме и пуштања у рад система. Тада треба да се уради детаљна анализа прикупљених и осмотрених података и дају нови критеријуми за аларме који најављују обилне падавине и поплавне таласе.

Људство, који ће учествовати у имплементацији система ране најаве бујичних поплава за Град Ужице мора бити оспособљено за рад на метео станицама и софтверу за осматрање. Поред упознавања са хардвером, испоручилац опреме је дужан и да обучи људство за коришћење софтвера, а такође и упозна са практичном применом и руковањем WEB портала и системом алармирања.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. Хидролошки годишњаци СФР Југославије и РХМЗ Србије, Београд
2. Климатолошки годишњаци СФР Југославије и РХМЗ Србије, Београд
3. Прохаска С., Петковић Т. Методе за прорачун великих вода, Део 2 - Проблеми вода на хидролошки неизученим профилима, Грађевински календар, Београд, 1990. године
4. Водопривредна основа Србије, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2001. год.
5. Плавшић Јасна., Увод у хидрологију, Грађевински Факултет, Београд, 2001. год.
6. Прохаска С., Ристић В., Хидрологија кроз теорију и праксу, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2002. год.
7. Анализа оправданости изградње ХЕ “Врутци”, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2002. године
8. Прохаска С., Хидрологија - I Део, Београд, 2003. год.
9. Студија одржавања, управљања и осматрања 8 високих брана “Врутци на Ћетињи”, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2005. године
10. Прохаска С., Хидрологија - II Део, 2008. год.
11. Водопривредна основа Србије, Хидрометеоролошке подлоге, РХМЗ и Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд, 2009. године
12. Драгана Милијашевић, Вероватноћа појаве великих вода на реци Ћетињи, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Београд, Србија, 2010. године
13. Генерални пројекат 8 МХЕ на водопривредним објектима (Бован, Барје, Златибор, Ровни, Врутци, Парменац, Врутци и Врутци), Институт за водопривреду Јарослав Черни, 2011. године,
14. Интезитети јаких киша у Србији, Стеван П., Владислава Бартош Дивац, Институт „Јарослав Черни“, Београд, 2014. године
15. Студија за постављање мерно-регулационе станице и кишомера у сливу реке Ћетиње и система раног упозорења» - Институт за водопривреду “Јарослав Черни”, Београд, 2014. године,
16. Прохаска С., Хидрологија - III Део, Београд, 2017. год.
17. Хидролошки годишњаци РХМЗ Србије, Београд
18. Климатолошки годишњаци РХМЗ Србије, Београд
19. Подаци о раду бране Врутци и захватањима/испуштањима воде из акумулације Врутци, ЈП Водовод Ужице,
20. Хидролошки и климатолошки подаци, РХМЗ Србије