

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.  
Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia

7 ГОДИНА  
ГРАЂЕВИНСКОГ  
ФАКУЛТЕТА  
1948 - 2018

## ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet  
University of Belgrade - Faculty of Civil Engineering



Univerzitet u Nišu - Građevinsko-arhitektonski fakultet  
University of Niš - Faculty of Civil Engineering and Architecture

Srpsko društvo za hidraulička istraživanja (SDHI)  
Srpsko društvo za hidrologiju (SDH)

## **ZBORNİK RADOVA**

**18. naučnog savetovanja  
Srpskog društva za hidraulička istraživanja i  
Srpskog društva za hidrologiju**

Niš, 25-26. oktobar 2018.

Priredili:  
MARKO IVETIĆ  
RADOMIR KAPOR  
JASNA PLAVŠIĆ

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet  
Beograd

Zbornik radova 18. naučnog savetovanja  
Srpskog društva za hidraulička istraživanja i  
Srpskog društva za hidrologiju  
Niš, 25-26. oktobar 2018.

Elektronsko izdanje na CD-u

*Urednici*

Marko Ivetić, Radomir Kapor, Jasna Plavšić

*Izdavač*

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, 2019.

*Za izdavača*

Prof. dr Vladan Kuzmanović, dekan

*Produkcija CD izdanja*

Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd

*Dizajn i priprema*

Nenad Jaćimović i Jasna Plavšić

*Tiraž*

120 primeraka

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

626/628(082)(0.034.2)

532.5(082)(0.034.2)

СРПСКО друштво за хидрауличка истраживања (Београд). Научно  
саветовање (18 ; 2018 ; Ниш)

Zbornik radova 18. naučnog savetovanja Srpskog društva za hidraulička istraživanja  
i Srpskog društva za hidrologiju, Niš, 25-26. oktobar 2018. [Elektronski izvor] /  
priredili Marko Ivetić, Radomir Kapor, Jasna Plavšić. - Beograd : Univerzitet,  
Građevinski fakultet, 2019 (Beograd : Univerzitet, Građevinski fakultet). - 1 elektronski  
optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na srp.  
i engl. jeziku. - Tiraž 120. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts ; Apstrakti.

ISBN 978-86-7518-204-7

1. Српско друштво за хидрологију (Београд). Научно саветовање (18 ; 2018 ; Ниш)

a) Хидротехника -- Зборници b) Хидродинамика -- Зборници  
v) Хидраулика -- Зборници

COBISS.SR-ID 278467596

# 18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

## Sadržaj

Naučni odbor savetovanja .....	vii
Organizacioni odbor savetovanja .....	vii
Predgovor .....	ix
O numeričkom modeliranju recirkulacionog strujanja na ulazu u zaliv.....	1
<i>Miodrag Jovanović</i>	
Procena hidrauličke hrapavosti betonskih kanizacionih cevi primenom laserskog skeniranja .....	13
<i>Nikola Stanić, François H.L.R. Clemens, Jeroen G. Langeveld</i>	
Adverse-slope stilling basins: machine learning approach to estimation of hydraulic jump features.....	31
<i>Robert Ljubičić, Budo Zindović, Ljubodrag Savić</i>	
Analiza uticaja kompleksnosti 1D modela tečenja na postupak asimilacije podataka zasnovane na primeni PID regulatora – preliminarni rezultati .....	44
<i>Miloš Milašinović, Budo Zindović, Nikola Rosić, Dušan Prodanović</i>	
Preračunavanje stepena korisnosti sa testiranog modela na glavno izvođenje hidraulične turbine .....	56
<i>Miroslav Benišek</i>	
U susret monografiji „Velike vode Srbije na profilima hidroloških stanica“ .....	71
<i>Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić, Vladislava Bartoš-Divac, Milena Jelovac, Samir Čatović, Srđan Marjanović</i>	
Analiza srednjih voda u Srbiji na osnovu kartiranih klimatoloških podataka u periodu 1961-2010 .....	75
<i>Jovan Blagojević, Jasna Plavšić, Samir Čatović, Andrijana Todorović</i>	
Krive trajanja protoka kao sredstvo za kalibraciju i verifikaciju HBV-light modela neizučenog sliva.....	88
<i>Petar Praštalo, Borislava Blagojević, Žana Topalović</i>	
Analiza suše za područje leskovačke kotline .....	100
<i>Dženita Idrizović, Enika Gregorić, Vesna Počuča, Gordana Matović</i>	
Hidraulička modelska ispitivanja evakuacionih objekata HE „Riga“ .....	112
<i>Danica Starinac, Predrag Vojt, Dimitrije Mladenović, Radomir Kapor, Ljubodrag Savić</i>	
Hidraulička modelska ispitivanja složenog brzotoka brane Subela .....	125
<i>Danica Starinac, Predrag Vojt, Dimitrije Mladenović, Radomir Kapor, Ljubodrag Savić</i>	
Hidraulička modelska ispitivanja PK preliva – primer brane Tarzout .....	135
<i>Dimitrije Mladenović, Danica Starinac, Predrag Vojt, Radomir Kapor, Ljubodrag Savić</i>	
Kritički osvrt na rezultate sa fizičkih modela.....	147
<i>Božidar Batinić</i>	
Утицај комплексности модела на хидролошке симулације .....	153
<i>Андријана Тодоровић, Јасна Плавишић</i>	

# 18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Teorijski hidrogrami velikih voda – tema i dilema .....	166
<i>Stevan Prohaska, Aleksandra Ilić</i>	
Primena radarskih slika u hidrološkoj rekonstrukciji poplave na reci Bjelici marta 2016. godine.....	177
<i>Nikola Zlatanović, Vanja Damjanović, Stevan Prohaska</i>	
Disaster risk reduction management and resilience – Flood Resilience Index (FRI) as communication tool .....	185
<i>Jelena Batica, Philipe Gourbesville</i>	
Development of real-time flood forecasting and warning system for the Sava River basin .....	202
<i>Klaas-Jan van Heeringen, Hanneke Schuurmans, Mihailo Anđelić, Victor Simončić, Imra Hodzic, Sabina Hadziahmetovic</i>	
Sava-FFWS: integrisana platforma za unapređenje sistema za hidrološku prognozu na slivu reke Save, primena u RHMZ.....	215
<i>Marija Ivković, Samir Čatović, Srđan Marjanović, Predrag Živadinović, Vida Despotović</i>	
Praćenje promene saliniteta vode u nezasićenom zemljištu i stanja ekosistema kao odgovor na depolderovanje Rammegorsa .....	224
<i>Nikola Stanić, Perry G.B. de Louw</i>	
Nagnuti oštroični preliv za merenje hidrograma oticaja .....	238
<i>Lajoš Hovanj</i>	
Bezkontaktno merenje protoka u otvorenim tokovima .....	250
<i>Predrag Vojt, Dušan Prodanović, Jasna Plavšić</i>	
Laboratorijsko određivanje merne neodređenosti ravnih EM senzora.....	259
<i>Damjan Ivetić, Dušan Prodanović, Luka Stojadinović</i>	
Analiza primene akustičnih metoda za merenje suspendovanog nanosa .....	272
<i>Predrag Vojt, Nevena Cvijanović, Dimitrije Mladenović, Mladen Kostić, Nikola Rosić, Mira Ivljanin</i>	
Merenje protoka vode u tunelima pri kombinovanim uslovima tečenja: primer tunela Dabarsko Polje – Fatničko polje .....	285
<i>Damjan Ivetić, Dušan Prodanović, Mile Cvitkovic</i>	
Koicidencija velikih voda na ušću reke Tise u Dunav primenom modela PROIL i KOPULA metode .....	303
<i>Aleksandra Ilić, Stevan Prohaska, Boris Pokorni</i>	
Uticaj dužine osmotrenih nizova na stohastičko generisanje vremenskih serija na više hidroloških stanica .....	317
<i>Đurica Marković, Jasna Plavšić</i>	
Modeliranje vremenskih serija godišnjih i mesečnih protoka na reci Savi kod Sremske Mitrovice.....	331
<i>Ranka Erić, Jasna Plavšić, Vesna Đukić</i>	
Statistička analiza trajanja leda na Dunavu kod hidrološke stanice Bezdán .....	348
<i>Ognjen Gabrić, Jasna Plavšić</i>	
Laboratorijsko ispitivanje magnetnog polja ravnih elektromagnetnih senzora.....	357
<i>Luka Stojadinović, Damjan Ivetić, Dušan Prodanović</i>	
Анализа ублажавања поплавних таласа у акумулацији Мохарач .....	373
<i>Марија Миловановић, Андријана Тодоровић, Роберт Љубичић, Јасна Плавишић</i>	

# 18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

## Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Управљање акумулацијама Врба и Клиње у периоду наиласка великих вода.....	385
<i>Тамара Судар, Тина Дашић</i>	
Analiza uticaja merenja potrošnje vode za piće na specifičnu potrošnju u domaćinstvima.....	399
<i>Ognjen Govedarica, Dragan Savić, Aleksandar Đukić, Branislav Babić</i>	
U susret 60. godišnjici regionalne saradnje eksperata podunavskih zemalja u oblasti hidrologije u okviru programa IHP UNESCO .....	412
<i>Stevan Prohaska</i>	
Uvođenje „pametnih komponenti“ u instalacije vodovoda i kanalizacije „pametnih gradova budućnosti“ .....	417
<i>Denisa Đorđević, Željka Ostojić</i>	
Efekti primene savremenih sistema za smanjenje kišnog oticaja na primeru naselja Vojlovica, Pančevo .....	433
<i>Lazar Anđelić, Dušan Prodanović, Nenad Jaćimović, Damjan Ivetić</i>	
Simultaneous collection of flow, sediment, and selected water-sediment-quality field data on the Danube stretch at Belgrade .....	450
<i>Miodrag Spasojević, Mileta Bojović, Bojan Palmar, Milica Nadeždić, Miroslav Tanasković</i>	
Monitoring i modelisanje tečenja, sedimenta, morfodinamike i kvaliteta vode i sedimenta Dunava i njegovih pritoka u Srbiji.....	464
<i>Miodrag Spasojević, Zlatan Kovačević, Aleksandar Ostojić, Zoran Marinković, Dušan Krstić</i>	
Modeliranje transporta zagađujuće materije u poroznoj sredini primenom Cellular Automata principa – preliminarni rezultati .....	480
<i>Miloš Milašinović, Anja Randelović, Nenad Jaćimović, Dušan Prodanović</i>	
Analiza transporta nanosa u kanalima Dunav – Tisa – Dunav .....	489
<i>Vesna Đukić, Ranka Erić</i>	
Примена модела размене количине кретања за процену криве протока у кориту за велику воду природног водотока .....	507
<i>Дејана Ђорђевић, Марија Ивковић, Иван Стојнић</i>	
Komparativna analiza primene vodostana i sinhronih regulatora turbina u cilju zaštite hidroelektrana pri prelaznim režimima .....	517
<i>Aleksandar Petković, Ivan Božić, Jovan Ilić</i>	
Прорачун силовитог течења у тунелу са хоризонталном кружном кривином.....	530
<i>Милена Лучић, Радомир Капор, Љубодрог Савић</i>	
Хидрауличка анализа пропусне моћи колектора испод флотацијског јаловишта „Veliki Krivelj“ .....	539
<i>Nevena Anđelić, Marko Ivetić</i>	
Меродавни хидродинамички утицаји на бочне зидове слапишта .....	553
<i>Бојан Миловановић, Владан Кузмановић, Љубодрог Савић, Предраг Војт, Будо Зиндовић</i>	
Меродавни хидродинамички утицаји на дно слапишта .....	564
<i>Бојан Миловановић, Владан Кузмановић, Љубодрог Савић, Предраг Војт, Будо Зиндовић</i>	
Утицај регенерације инфилтрационих базена на нивоу подземних вода: примјер изворишта Novoselija .....	576
<i>Milan Jakšić, Nenad Jaćimović, Dragan Gligorić</i>	
Preparation of a monitoring system on the Palic and Ludas Lakes.....	588
<i>Zoltan Horvat, Mirjana Horvat, Ognjen Gabrić, Biljana Isic</i>	

# 18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Uređenje dela Rokovog potoka u Petrovaradinu.....	600
<i>Igor Radović, Srđan Kolaković, Goran Jeftenić, Andrea Salvai</i>	
Primeri analize hidrauličkog udara u vodovodnim sistemima primenom softverskog paketa AFT Impulse.....	608
<i>Danilo Stipić, Ljubomir Budinski</i>	
Crpne stanice u kanalizacionim sistemima .....	620
<i>Matija Stipić, Slobodan Tašin</i>	
Analiza uzroka pojave vode u podrumskim prostorijama objekta u Nišu.....	631
<i>Dragan Radivojević, Borislava Blagojević, Aleksandra Ilić</i>	
Hidrotehnički objekti u ekstremnim uslovima – primeri ponašanja i neke pouke kroz praksu.....	643
<i>Goran Radović</i>	
Домаћа мобилна опрема за одбрану од поплава и управљање поплавама .....	654
<i>Раде Милутиновић</i>	
Studija obezbeđenja vodnih resursa na slivu reke Cheliff (Alžir) .....	666
<i>Jovana Anđelić, Miloš Ivetić</i>	
The Nile Water, Food and Energy Nexus Model.....	682
<i>Hamdy Elsayed, Slobodan Djordjević, Dragan Savić</i>	
Експериментално одређивање хидрауличких карактеристика супстрата коришћеног за изградњу зеленог крова.....	693
<i>Филип Станић, Pierre Delage, Yu-Jun Cui</i>	
IN MEMORIAM: Vojislav Vukmirović (1933–2017) .....	713
<i>Dragutin Pavlović</i>	
Indeks autora .....	717

## **Naučni odbor savetovanja**

Prof. dr Marko Ivetić (Predsednik)  
Prof. dr Dragan Arandelović  
Doc. dr Borislava Blagojević  
Prof. dr Jovan Despotović  
Prof. dr Slobodan Đorđević  
Prof. dr Aleksandar Gajić  
Doc. dr Lajoš Hovanj  
Prof. dr Nenad Jaćimović  
Mr Dragan Janković  
Prof. dr Miodrag Jovanović  
Prof. dr Zoran Kapelan  
Prof. dr Radomir Kapor  
Prof. dr Srđan Kolaković  
Prof. dr Čedo Maksimović  
Prof. dr Ana Mijić  
Prof. dr Zorana Naunović  
Prof. dr Miloš Nedeljković  
Prof. dr Sava Petković  
Prof. dr Slobodan Petković  
Prof. dr Jasna Plavšić  
Prof. dr Dubravka Pokrajac  
Prof. dr Dušan Prodanović  
Prof. dr Stevan Prohaska  
Doc. dr Zoran Radić  
Prof. dr Ratko Ristić  
Prof. dr Dragan Savić  
Prof. dr Ljubodrag Savić  
Prof. dr Miodrag Spasojević  
Mr Slavimir Stevanović  
Dr Mladen Todorović  
Prof. dr Zoran Vojinović

## **Organizacioni odbor savetovanja**

Prof. dr Marko Ivetić  
Prof. dr Jasna Plavšić  
Prof. dr Nenad Jaćimović  
Doc. dr Borislava Blagojević  
Doc. dr Dragan Radivojević  
Doc. dr Andrijana Todorović  
Doc. dr Anja Randelović



## Управљање акумулацијама Врба и Клиње у периоду наилаaska великих вода

Тамара Судар<sup>1</sup>, Тина Дашић<sup>2</sup>

**АПСТРАКТ:** Рудници са отвореним коповима и термоелектране су енергетски системи државног нивоа значајности. Такви системи захтијевају висок степен заштите од великих вода, због неслагљивих директних и индиректних штета које плавлње таквих система може да узрокује. Њихова заштита остварује се комбинацијом активних и пасивних мјера заштите од поплава, уз обезбјеђивање одговарајућег хидролошког мониторинга. У чланку се разматра каскада од двије акумулације "Врба" и "Клиње" које чине окосницу водопривредног система ријеке Мушнице (Источна Херцеговина, БиХ). Основна намјена ових акумулација је снабдијевање технолошком водом ТЕ Гацко, заштита низводних подручја (прије свега површинских копова и објеката РиТЕ Гацко) од великих вода, као и побољшање режима малих вода. У раду је анализирана могућност повећања ефикасности водопривредног система у периодима наилаaska великих вода. Формиран је математички модел за трансформацију поплавних таласа, којим је анализиран спрегнути рад двије акумулације и испитани су ефекти претпражњења акумулација за разне прорачунске случајеве (полазне коте у акумулацијама и велике воде разних вјероватноћа појаве). На основу спроведених анализа одређена су правила управљања акумулацијама у периоду наилаaska великих вода. Правила управљања дефинисана су у виду радних дијаграма пожељних нивоа воде у акумулацијама у појединим временским пресецима. Показало се да и акумулације које контролишу мањи дио слива уз правилно управљање могу имати значајну улогу у активној одбрани од поплава низводних подручја.

**Кључне ријечи:** активна заштита од поплава, акумулације у каскади, управљање акумулацијама, ријека Мушница

## Management of the Vrba and Klinje reservoirs during flood flows

**ABSTRACT:** Open-pit mines and thermal power stations are thermal power facilities of the state-level significance. These facilities must have a high level of protection against flood flows, due to immense direct and indirect damage caused by their flooding. These facilities are protected by a combination of active and passive flood protection measures, and an appropriate hydrological monitoring. The paper deals with two adjacent reservoirs, Vrba and Klinje, which form the backbone of the Musnica River water management system in Eastern Herzegovina in B&H. The main purpose of these reservoirs is to supply Gacko TPS with process water, to protect downstream areas from flood flows (primarily open-pit mines and facilities of Gacko mine and TPS), and to improve the low flow regime. The paper analyses the possibility of increasing the efficiency of the water management system in periods of flood flows. A mathematical model for the transformation of flood waves was developed, analysing the joint operation of the two reservoirs by pre-release of water in various cases (initial levels in reservoirs and flood flows of different likelihoods). The reservoir management procedures during flood flows were determined on the basis of the analyses. Based on the operating diagram, the management procedures specify time periods and desirable water levels in the reservoirs. The analyses showed that even the reservoirs which manage a smaller part of the basin can play a significant role in active flood defence of downstream areas, if managed appropriately.

**Keywords:** active flood defence, adjacent reservoirs, reservoir management, the Musnica River.

<sup>1</sup> Тамара Судар, студент, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, sudartamaraa@gmail.com

<sup>2</sup> В. проф. др Тина Дашић, дипл. грађ. инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, mtina@grf.bg.ac.rs

## 1 Увод

У условима све нестационарнијих хидролошких режима, када су таласи великих вода све чешћи и разорнији, а маловодни периоди екстремнији и дужи, пасивне мјере одбране од поплава често нису довољне за адекватну заштиту брањеног подручја. У таквим условима акумулације и мјере активне заштите од великих вода које се њима реализују постају све значајније. То значи да акумулације морају да задовоље два важна захтјева: са једне стране морају обезбиједити потребне количине воде корисницима, док се са друге стране пред њих ставља задатак заштите од поплава низводних подручја. Ова два задатка имају различите захтјеве са становишта пуњења и пражњења акумулације. Са аспекта корисника система добро је да је акумулација што дуже пуна, како би се располагало што већом количином воде у дефицитарном периоду. Са аспекта заштите од поплава тежња је да се ослободи што већи простор за прихватање поплавног таласа. Због свега тога, а да би се могућности акумулације искористиле на најбољи начин, неопходно је управљање спроводити према унапријед дефинисаним оперативним плановима управљања.

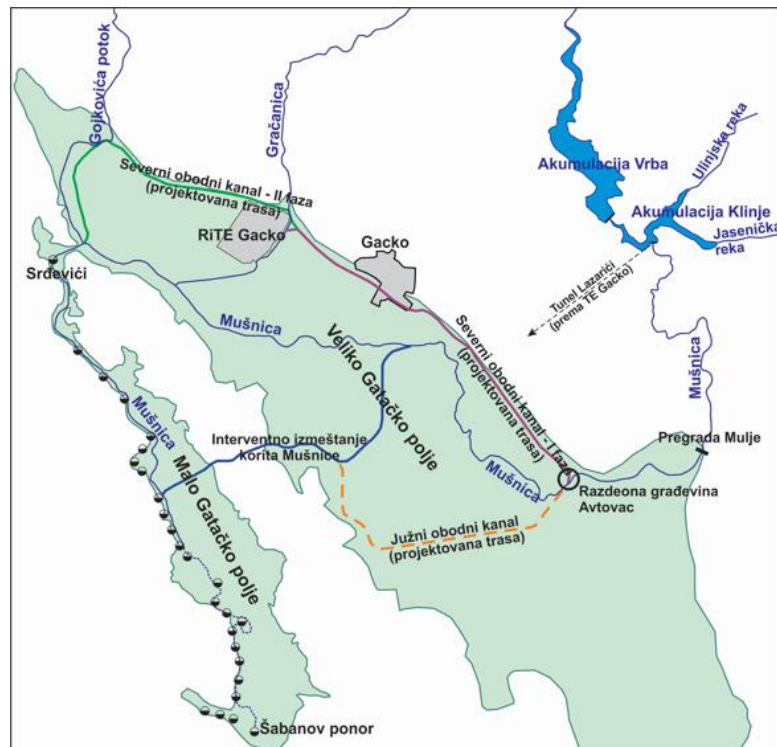
У раду се анализира систем од двије акумулације (Врба и Клиње), на ријеци Мушници, која припада сливу ријеке Требишњице, Источна Херцеговина, БиХ (слика 1). Управљање овим системом веома је деликатно јер се низводно налазе рудник и термоелектрана Гацко (РиТЕ Гацко) – важан енергетски систем за кога се захтијева висока поузданост функционисања. Због тога је неопходно обезбиједити поуздано снабдијевање водом, али и поуздану заштиту од великих вода.

## 2 Опис разматраног система

Ријеку Мушницу формирају водотоци Врба, Улињски поток и Јасенички поток, као и притоке Грачаница и Гојковића поток (слика 1). Површина слива до ВС „Срђевићи“ – кључног хидрографског чворишта у Гатачком пољу износи око 260 km<sup>2</sup>. Водни токови у Гатачком пољу (Великом и Малом), Кулском и Церничком пољу припадају подручју са значајним падавинама (просјечно око 2000 mm/god). Пошто се ради о карстном подручју, водени токови су доминантно подземни, а на површини се појављују само у подручју карстних поља. Ток Мушнице након проласка кроз Велико Гатачко поље понире у бројним понорима од понора Срђевићи до Шабановог понора и подземно тече према извориштима ријеке Требишњице, а исти подземним везама доминантно утичу на формирање таласа великих вода на изворишту ријеке Требишњице у Билећи (Билећка акумулација).

Вишенамјенско коришћење вода ријеке Мушнице отпочело је крајем XIX вијека (од 1898. године) када је изграђена брана и формирана акумулација Клиње. Водом из акумулације Клиње вршено је наводњавање дијела Гатачког поља под мелиорационим системом, како би се продужио вегетативни период и обезбиједила друга жетва. 1980. и 1982. године спроведена је анализа потреба за техничком водом ТЕ Гацко за I и II фазу изградње, на основу чега је одређена потребна запремина акумулације Врба.

Велике воде које се формирају у Гатачком пољу због ограниченог капацитета одводње преко понорских зона у Малом Гатачком пољу плаве ово поље које има улогу природне ретензије. Велике воде и нивои ових вода у Гатачком пољу су значајни због утицаја на рудник и ТЕ Гацко, па су уз ове објекте на ријекама Мушница и Гојковића поток изграђени пропратни насипи и извршене регулације водотока.



Слика 1. Шематски приказ тока ријеке Мушнице (Дашић и сарадници, 2016)

Figure 1. Schematic view of Mušnica River (Dašić et al, 2016)

## 2.1 Подаци о бранама и вишенамјенским акумулацијама

Примарни корисник воде акумулација Врба и Клиње је РИТЕ Гацко, која тренутно (у I фази изградње) користи 600 L/s. Поред тога, неопходно је испуштати воду за потребе обезбјеђивања еколошки прихватљивог протицаја низводно од бране Клиње у количини од 120 L/s у зимском периоду до 180 L/s у љетњем периоду године. Акумулације раде спрегнуто. Главну улогу у изравнавању вода има узводна акумулација Врба, која има већу запремину. Из ње се вода дириговано упушта у низводну акумулацију Клиње, одакле се водозахватом и транспортним цјевоводом одводи према РИТЕ Гацко или се испушта у природни ток ријеке Мушнице.

### 2.1.1 Брана и акумулација „Клиње“

Брана Клиње (слика 2) је најстарија лучно-гравитациона брана на Балкану. Изграђена је од клесаног камена са везивом од пуцоланског малтера, у периоду од 1892-1898. године.

Конструкција бране је изведена са слободним преливом на десном боку и два темељна испуста у десном и лијевом боку. У десни темељни испуст уграђена је челична цијев ф 1000 mm за одвод техничке воде према ТЕ Гацко.

Кота круне бране је на 1027,30 mm, а конструктивна висина 27 m. За евакуацију великих вода користи се слободни прелив који се налази у десном боку, ширине око 22 m и капацитета  $Q_{\max}=180 \text{ m}^3/\text{s}$ . Преливни праг је на коти 1024 mm. За испуштање воде из акумулације Клиње користи се десни темељни испуст капацитета  $7,65 \text{ m}^3/\text{s}$ , док лијеви темељни испуст капацитета  $36,50 \text{ m}^3/\text{s}$  тренутно није у функцији. Површина слива до бране Клиње износи око  $75 \text{ km}^2$ , а просјечни вишегодишњи проток  $Q_{\text{sr}}=3,18 \text{ m}^3/\text{s}$ . Кота нормалног успора је 1024 mm, при којој се формира запремина од  $1,43 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



Слика 2. Брана Клиње – постојеће стање

Figure 2. Klinje dam – present state

## 2.1.2 Брана и акумулација „Врба“

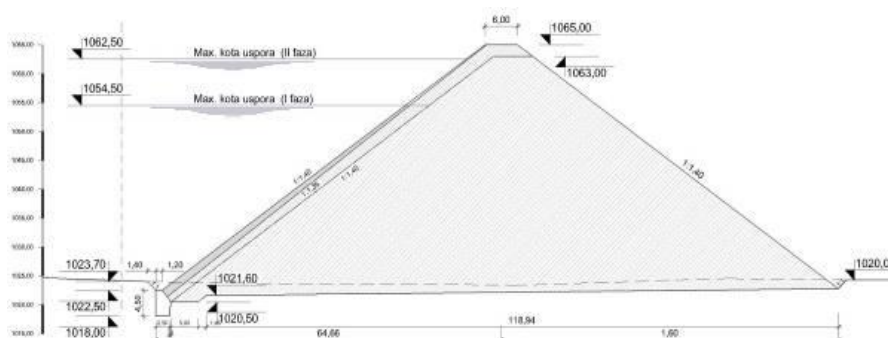
Брана Врба је насута брана од каменог набачаја са узводним армирано-бетонским екраном (слика 3). Кота круне бране је 1065 mnm, дужина у круни 221,90 m, ширина у круни је 5 m, максимална грађевинска висина 43,70 m, а кота круне прелива 1060 mnm. За испуштање и евакуацију вода користе се темељни испуст и прелив са сегментним уставама. Запремина акумулације при коти успора 1062,5 mnm износи  $14,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Поред основне намјене - диригованог упуштања воде у акумулацију Клиње, темељни испуст се може користити и у ванредним околностима, за испуштање при наиласку великих вода, када може спрегнуто да ради са слободним преливом. Капацитет темељног испуста код 100% отворености затварача је до  $27,12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

За испуштање воде темељним испустом ка акумулацији Клиње користе се табласти регулациони затварач и дисперзни затварач који је подесан за контролисано регулисање протока од максимално  $Q=2 \text{ m}^3/\text{s}$  при коти 1062,50 mnm и  $Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$  при коти у акумулацији Врба од 1030 mnm, али и за мања испуштања.

Слободни прелив са два преливна поља и сегментним затварачима димензија  $(2 \times 11 \times 2,5)$  m налази на лијевом боку, преливна ивица је на коти 1060 mnm (слика 4). Пропусни капацитет прелива са радом два преливна поља износи  $180 \text{ m}^3/\text{s}$ , што одговара рачунској великој води повратног периода од  $T=10\ 000$  година.

Површина слива акумулације Врба је око  $30 \text{ km}^2$ , а средњи годишњи протицај износи  $Q_{sr}=1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Акумулација Врба је предвиђена за допуну потреба за водом ТЕ Гацко, а за ту намјену испушта од 0 до  $808 \text{ L/s}$ . Максимални ниво у акумулацији је 1062,50 mnm, а минимални 1030 mnm.



Слика 3. Брана Врба- попречни пресјек [6]

Figure 3. Vrba dam – cross-section [6]



Слика 4. Преливни праг са уставама и брзоток прелива бране Врба

Figure 4. Spillway sill and chute of the uncontrolled spillway of the Vrba dam

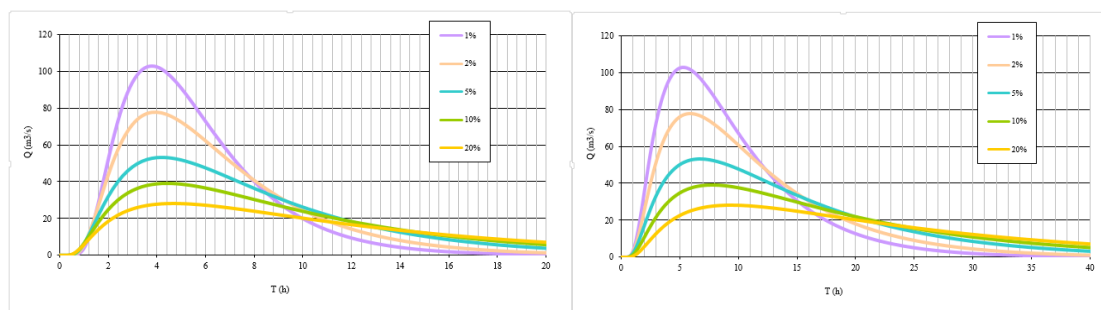
## 2.2 Подаци о великим водама на сливу

Подаци о великим водама добијени су методом прилагођавања теоријских расподијела емпиријским на бази дневних протока. Запремине хидрограма дефинисане су на бази вјероватноћа трајања кише од 3 дана (варијанта 1) и 5 дана (варијанта 2). Добијени хидрограми дају исте вриједности максималних протока (за таласе одређеног повратног периода), док се запремине таласа разликују. Коришћени су подаци за двије кључне водомјерне станице (ВС Врба и ВС Клиње). У табели 1 приказане су вриједности запремина таласа за различите водомјерне станице, различите повратне периоде и различита трајања кише. Дијаграмима су приказане вјероватноће појаве великих вода за водомјерне станице Врба и Клиње (слике 5, 6, 7).

Табела 1. Запремина поплавних таласа у функцији трајања кише, за различите водомјерне станице

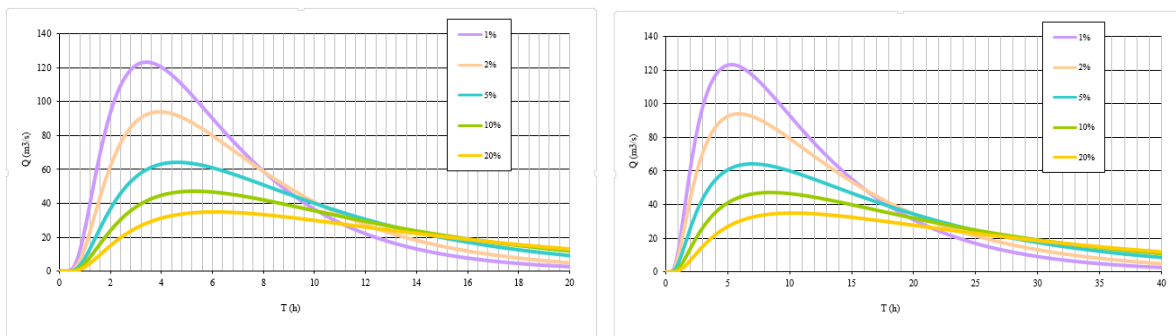
Table 1. The volume of flood waves in relation to the rainfall duration, for different gauging stations

p	T	ВС Врба		међуслив		ВС Клиње	
		3	5	3	5	3	5
0,01%	10000	3,229	5,524	5,028	9,537	8,234	13,902
0,1%	1000	2,699	4,786	4,077	7,832	6,909	12,132
1%	100	2,172	3,999	3,208	6,241	5,574	10,195
2%	50	2,010	3,744	2,957	5,774	5,160	9,559
5%	20	1,789	3,387	2,628	5,154	4,594	8,663
10%	10	1,614	3,092	2,375	4,676	4,142	7,911



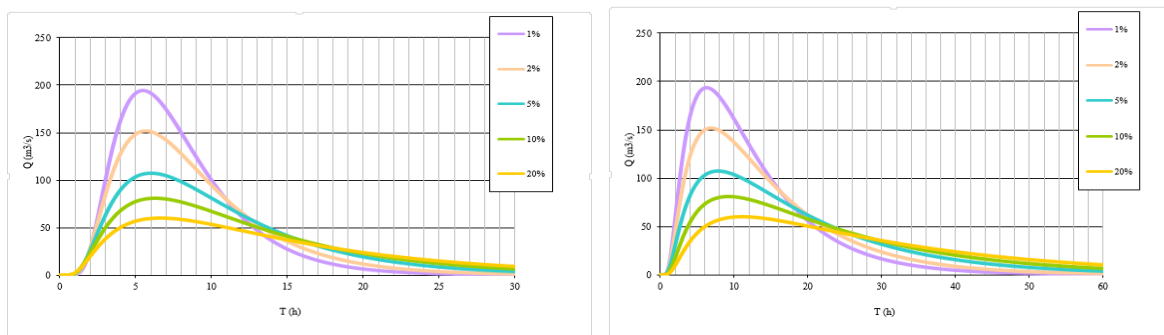
Слика 5. Таласи великих вода на ВС Врба, варијанта 1 (лијево) и варијанта 2 (десно)

Figure 5. Flood waves at the Vrba GS , variant 1 (left) and variant 2 (right)



Слика 6. Вјероватноће појаве великих вода – међуслив, варијанта 1 (лијево) и варијанта 2 (десно)

Figure 6. Probability of flood flows – drainage basin, variant 1 (left) and variant 2 (right)



Слика 7. Вјероватноће појаве великих вода на ВС Клиње, варијанта 1 (лијево) и варијанта 2 (десно)

Figure 7. Probability of flood flows at the Klinje GS, variant 1 (left) and variant 2 (right)

### 2.3 Постојеће стање и могућности побољшања управљања

Утицај акумулација и улога у активној одбрани од поплава до сада је коришћен веома скромно, јер су велике воде долазиле у пуне акумулације (без претпражњења) и преливале се преко евакуационих органа на бранама, што показују реализовани нивои у акумулацији Врба 2012-2017. година (слика 13).

Значајнији ефекти ретензирања у акумулацијама видљиви су само у случају када су хидролошки услови били такви да акумулација није на коти нормалног успора. У периоду јануар-јун и новембар-децембар ниво воде у акумулацији је изнад коте нормалног успора 1060 mpm, а у периодима јул-септембар изнад коте 1058 mpm (изузев 2017. године).

С обзиром да на низводном дијелу ријека Мушница протиче кроз зоне веома осјетљиве на плавлeње (рудник и ТЕ Гацко) неопходно је сачинити добру полазну основу и квалитетан и спроводљив план за постепени прелазак са пасивног на активно управљање, које је могуће остварити првенствено значајнијом улогом коју треба да испуни акумулација Врба у спрегнутом раду са акумулацијом Клиње. Да би се то могло и остварити, поред анализа које су спроведене и приједлога управљања датог у овом раду, неопходно је извршити детаљне ремонте, реконструкције и замјене кључне хидромеханичке и електромашинске опреме на објектима брана. Истовремено се мора осавременити мјерно-информациони систем на кључним хидролошким тачкама система како би се осигурала одговарајућа функционалност и поузданост информација.

### 3 Могућности ублажавања поплавних таласа у акумулацијама

У циљу сагледавања могућности прихватања таласа великих вода спрегнутим радом акумулација Врба и Клиње спроведена је анализа трансформације поплавних таласа у овим акумулацијама, за различите улазне таласе и различите почетне услове. Анализиран је наилазак таласа рачунских великих вода повратних периода 1%, 2% и 5%, за варијанте 1 и 2, што представља два реална сценарија формирања великих водних таласа на подручју Источне Херцеговине. Улазни хидрограми приказани су у дијелу 2.2. За акумулацију Врба користе се дијаграми приказани на слици 5, док се за акумулацију Клиње одређују као збир трансформисаног (излазног) таласа из акумулације Врба и таласа са међуслива.

Почетним условима дефинисана је почетна кота у акумулацијама, како би се испитали ефекти претпражњења акумулација на ублажавање (ретензирање) поплавних таласа. Разматране почетне коте у акумулацији Врба су: 1060 mnm (акумулација испуњена до коте прелива), 1058 mnm (у акумулацији се обезбјеђује слободан простор од  $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  за прихватање таласа великих вода), 1056 mnm (запремина за прихватање таласа износи око  $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Због знатно веће запремине, утицај акумулације Врба на ублажавање поплавног таласа далеко је значајнији у односу на акумулацију Клиње. Због тога су разматрана само два почетна нивоа у акумулацији Клиње: 1024 mnm (акумулација испуњена до коте круне прелива) и 1022 mnm (чиме се ослобађа запремина од  $1,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). Веће обарање коте у акумулацији Клиње је ризично јер би могло да угрози рад захвата техничке воде за ТЕ Гацко.

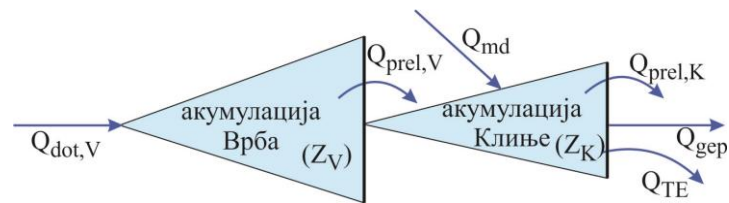
С обзиром да се могућност ретензирања поплавних таласа провјерава за различите почетне нивое воде у акумулацији, анализирано је и вријеме које је потребно да би се постигло одговарајуће претпражњење акумулације. Прорачун је спроведен на основу кривих протока темељних испуста и под претпоставком да у периоду претпражњења доток воде у акумулацију одговара вриједности  $2 \times Q_{sr}$  (што за акумулацију Врба износи  $2,48 \text{ m}^3/\text{s}$ , а за Клиње  $6,36 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

На основу резултата прорачуна закључује се да се у акумулацији Врба спуштање нивоа са коте нормалног успора 1060 mnm на коту 1058 mnm се може извршити за 22 часа, док је за спуштање до коте 1056 mnm потребан 41 час. Код акумулације Клиње обарање са коте нормалног успора 1024 mnm на коту 1022 mnm може се извршити десним темељним испустом (који је тренутно у функцији) за 47 часова. Вријеме пражњења провјерено је и за случај рада оба темељна испуста, при чему се ниво у акумулацији спусти за само 3,5 часа, што рјечито говори о значају оспособљавања за рад лијевог темељног испуста.

#### 3.1 Прорачунска шема трансформације поплавних таласа

Прорачун трансформације поплавних таласа у акумулацијама Врба и Клиње спроводи се у два корака, рачунајући прво узводну, па низводну акумулацију (слика 8):

1. Прорачун трансформације поплавног таласа у акумулацији Врба. Улазни параметри су: доток у акумулацију, који одговара улазном таласу за ВС Врба ( $Q_{dot,v}$ ) и почетни ниво воде у акумулацији ( $Z_{V0}$ ), док се као излазни подаци добијају нивои воде у акумулацији ( $Z_V$ ) и проток воде низводно – трансформисан талас ( $Q_{prel,v}$ ).
2. Прорачун трансформације таласа у акумулацији Клиње. Улазни параметри су: почетни ниво воде у акумулацији ( $Z_{K0}$ ), доток трансформисаног таласа из акумулације Врба ( $Q_{prel,v}$ ) и доток са међуслива ( $Q_{md}$ ). Као излазни подаци добијају се нивои воде у акумулацији ( $Z_K$ ) и проток воде низводно од бране – трансформисан талас ( $Q_{prel,K}$ ). Као излазни проток из акумулације урачуната је и количина воде која се захвата за потребе ТЕ Гацко  $Q_{TE}=0,60 \text{ m}^3/\text{s}$ , као и количина воде која се константно испушта низводно у виду гарантованог протока  $Q_{gep}=0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Слика 8. Прорачунска шема трансформације поплавних таласа у акумулацијама Врба и Клиње

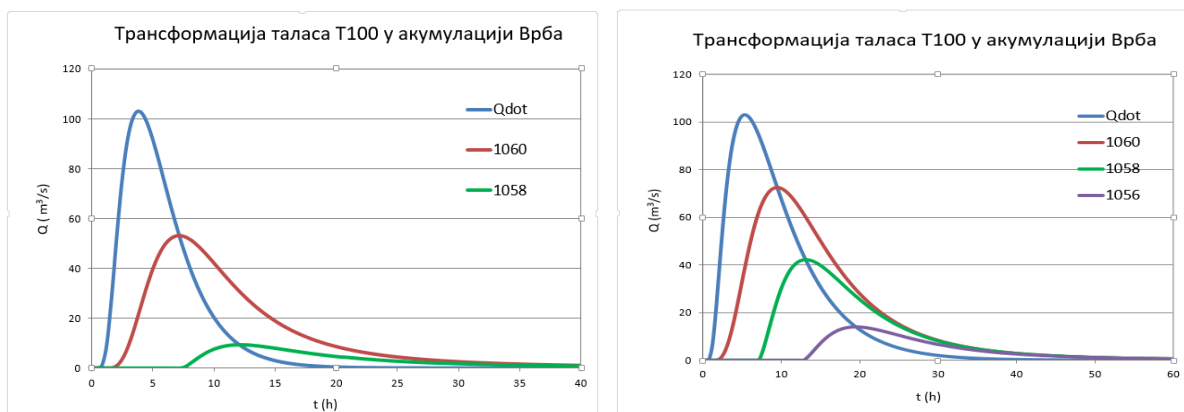
Figure 8. Calculation diagram of the flood wave transformation in the Vrba and Klinje reservoirs

За прорачун трансформације поплавног таласа у акумулацијама користи се „квази-стационарна“ метода, која се заснива на рјешавању једначине одржања масе (билансне једначине), за познати доток (поплавни талас), криву запремине акумулације, почетне и граничне услове. Као што је у претходном дијелу већ истакнуто, анализирани су различити почетни услови - почетни нивои воде у акумулацијама, а низводни гранични услов дефинишу криве протока евакуационих органа.

### 3.2 Резултати прорачуна

Резултати прорачуна указују на значајне ефекте трансформације поплавних таласа у акумулацији Врба, посебно поплавних таласа мањих запремина (варијанта 1). Максималан проток таласа стогодишње велике воде смањи се на пола (са протока од око  $105 \text{ m}^3/\text{s}$  на проток од око  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) чак и када талас наиђе на пуну акумулацију (кота  $1060 \text{ mm}$ ). Уколико би поплавни талас наишао у тренутку када је ниво воде у акумулацији на коти  $1058 \text{ mm}$  талас би се готово у потпуности ретензирао, проток низводно био би само око  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Нешто другачија ситуација је са таласима из варијанте 2 (запремине поплавних таласа између  $3,387$  и  $3,999 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). На слици 9 може се уочити да се снижењем почетног нивоа воде испод коте  $1058 \text{ mm}$  може постићи значајно ретензирање, док се снижењем коте испод  $1056 \text{ mm}$  постиже готово потпуно ретензирање таласа стогодишњих великих вода (са преливањем до само  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  у максимуму).



Слика 9. Трансформација поплавног таласа повратног периода 1%, варијанта 1 (лијево), варијанта 2 (десно)

Figure 9. Transformation of flood wave (100-year return period), variant 1 (left) and variant 2 (right)

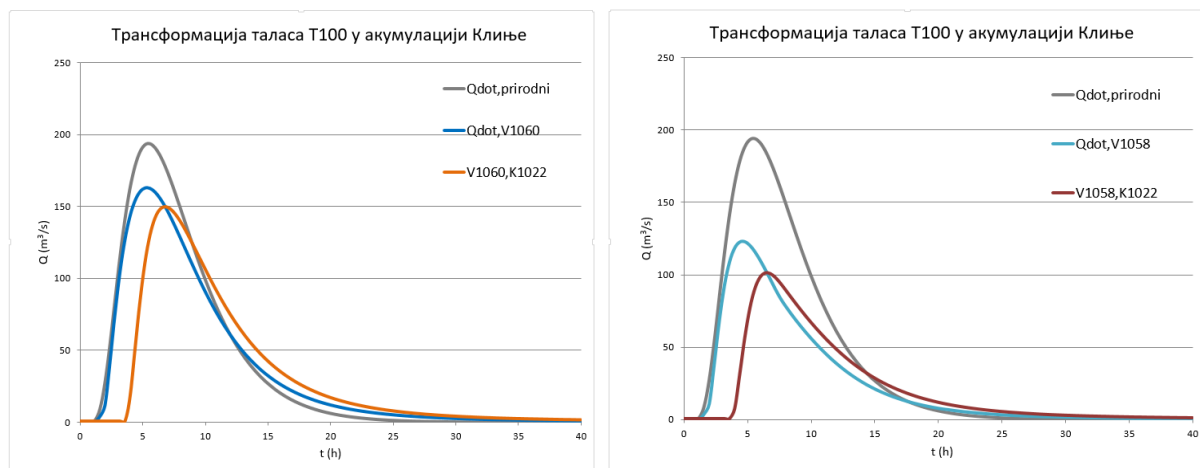
Резултати анализе трансформације поплавних таласа у акумулацији Клиње за велике воде вјероватноће појаве 1% дати су на слици 10. Да би се сагледали ефекти ублажавања таласа великих вода у акумулацијама упоређиван је поплавни талас који би се јавио у профилу ВС Клиње у природним условима  $Q_{\text{dot,природни}}$  (случај да не постоје акумулације), са



трансформисаним таласима при различитим почетним нивоима воде у акумулацијама. Анализом добијених резултата долази се до следећих закључака (варијанта 1):

- Значајно ублажавање таласа великих вода постиже се у акумулацији Врба. Без претпражњења те акумулације велике воде на профилу Клиње смањује се у пика за око 16% (са 194 на 163  $m^3/s$ ), док се у случају спуштања почетног нивоа за 2 m максималан проток смањује за око 37% (са 194 на 123  $m^3/s$ ).
- Акумулација Клиње нема значајан ефекат на трансформисање улазног таласа (пик поплавног таласа смањује се само за 10  $m^3/s$  без претпражњења те акумулације, односно за 12  $m^3/s$  ако се ниво у њој спусти за 2 m), али има утицај на помијерања времена појаве пика трансформисаног таласа (2 до 4 часа), што може да буде значајно са аспекта избјегавања суперпонирања великих вода низводно.
- У спрегнутом раду (када се прије наиласка поплавног таласа намјенски снижавају коте у акумулацијама) остварују се ефекти и на смањење пика таласа и на продужавање времена до појаве пика.

Слични ефекти трансформације поплавних таласа у спрегнутом раду двије акумулације јављају се и у случајевима наиласка великих вода вјероватноћа појаве 2% и 5%. Примјетна је значајнија трансформација пика поплавних таласа у акумулацији Врба, али се уочава сличан временски помак појаве пика трансформисаног таласа из акумулације Клиње (за коту 1024 mm – око 2 часа и 1022 mm – око 4 часа).



Слика 10. Трансформација поплавног таласа стогодишње воде (1%) у акумулацији Клиње

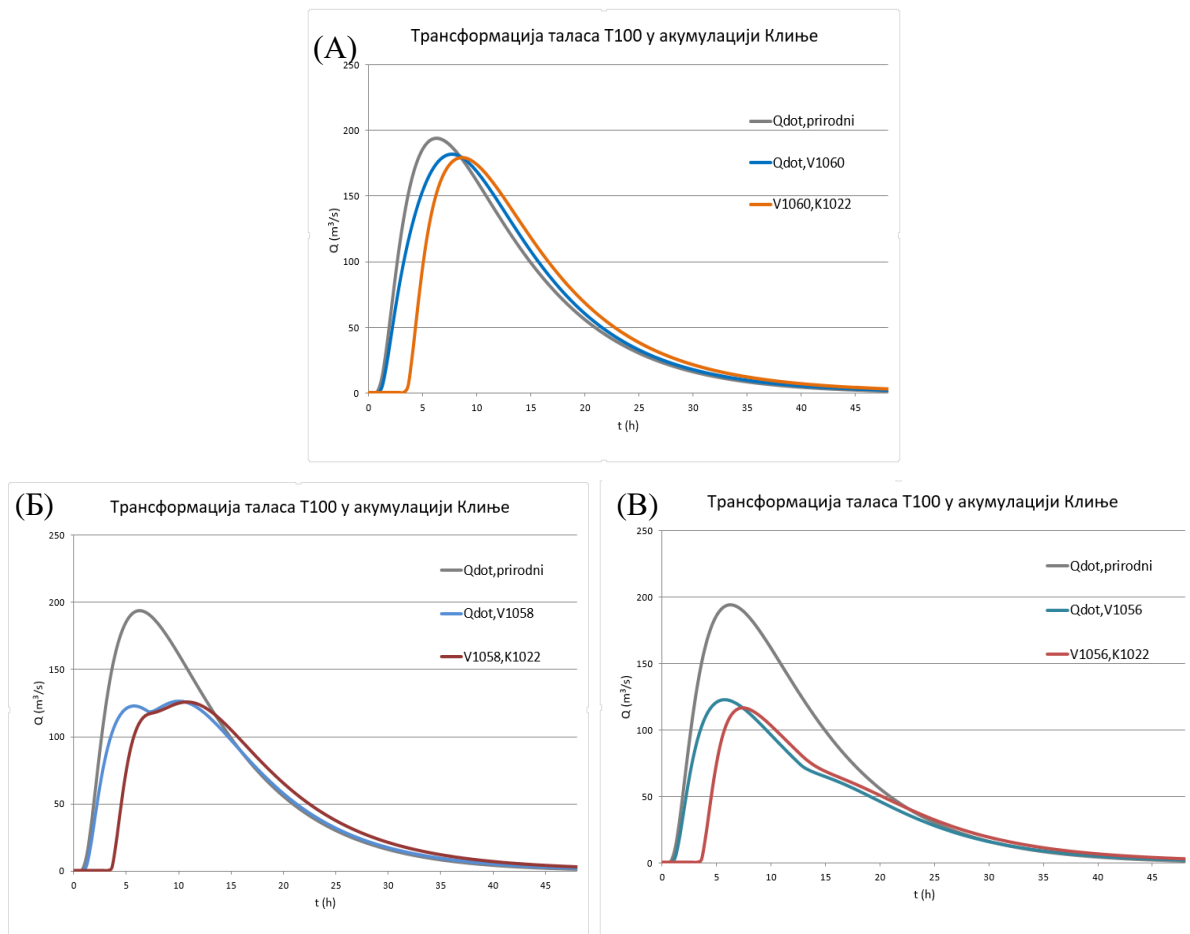
Figure 10. Transformation of a 100-year flood wave (1%) in the Klinje reservoir

У случају када се поплавних таласа из варијанте 2 (слика 11), добијају се интересантни резултати (нарочито при претпражњењу акумулације Врба), који упућују на важне закључке, који ће се примијенити код одређивања правила управљања акумулацијама. Ефекти трансформације упоређивани су са поплавним таласом који би се јавио у профилу ВС Клиње у природним условима  $Q_{dot,prirodni}$ , а анализом добијених резултата долази се до следећих закључака:

- Уколико поплавни талас наилази на пуне акумулације ефекти ублажавања таласа су мали: пик таласа се у акумулацији Врба смањује за око 7% (са 194 на 182  $m^3/s$ ), а у акумулацији Клиње само за 3  $m^3/s$ . Тако трансформисан поплавни талас излази из акумулације Клиње са пиком који је помјерен за око 1,6 часова у односу на улазни хидрограм. Претпражњењем само акумулације Клиње од 2 m (полазна кота 1022 mm) не постижу се бољи ефекти на смањење пика таласа, али се он помијера на око 3,6 часова у односу на улазни талас (слика 11-А).
- Претпражњењем акумулације Врба за 2 m (почетни ниво 1058 mm) значајно се смањује поплавни талас (за око 35%, са 194  $m^3/s$  на 127  $m^3/s$ ), преливање воде почиње

# 18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

тек око 8 часова од почетка поплаве, а његов пик се јавља након 13 часова (са око 8 часова закашњења у односу на улазни талас). Због тога укупни улазни хидрограм у акумулацију Клиње има два пика. Први је резултат наиласка поплавног таласа са међуслива, који достиже максимум након 5 часова, након чега се протоци смањују. Међутим, након 3 часа (8 часова од почетка наиласка великих вода) долази трансформисани таласа из акумулације Врба, због чега се након 13 часова јавља други пик (слика 11-Б). Трансформисани излазни хидрограм из акумулације Клиње је због ове појаве значајно развучен у пику (до 10 часова). На слици је приказан излазни талас за почетни ниво воде у акумулацији Клиње на 1022 mm.



Слика 11. Трансформација поплавног таласа стогодишње воде (1%) у акумулацији Клиње

Figure 11. Transformation of a one-hundred-year flood wave (1%) in the Klinje reservoir

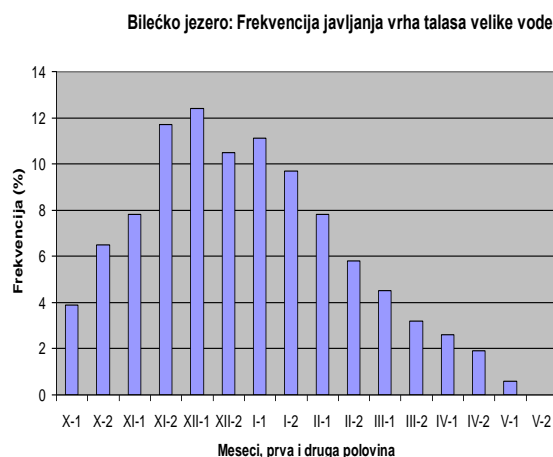
- Претпражњењем акумулације Врба за 4 m (почетни ниво 1056 mm) пик таласа смањује се за око 37% (са 194 на 123 m<sup>3</sup>/s), али се појава пика помијера за око 15 часова у односу на улазни талас. На збирном улазном и трансформисаном излазном хидрограму из акумулације Клиње видљиво је спорије умањење протицаја на силазном дијелу хидрограма (слика 11-В), што је последица дотока трансформисаног таласа из акумулације Врба. Пик поплавног таласа није много мањи него код полазне коте 1058 mm у акумулацији Врба, али је вријеме трајања пика поплавног таласа значајно краће и износи око 5 часова.

Слични ефекти трансформације поплавних таласа у спрегнутом раду двије акумулације су и у случају наиласка великих вода вјероватноће појаве 2% и 5%. Примјетна је значајнија

трансформација пика поплавних таласа у акумулацији Врба, али се уочава слично временско помијерање пика трансформисаног таласа из акумулације Клиње.

#### 4 Дефинисање правила управљања акумулацијама у условима наиласка великих вода

Да би се могла дефинисати правила управљања акумулацијама у условима наиласка великих вода потребно је прије свега анализирати периоде у којима долази до таквих догађаја. Пошто за разматрано подручје нису били доступни подаци о учесталости поплавних таласа искоришћени су подаци детаљнијих истраживања која су спроведена на сливу Требишњице (Ђорђевић и сар., 2012). Подаци са слива ријеке Требишњице могли су бити искоришћени и за слив Мушнице, јер средоземни циклони истовремено захватају читав јужни масив Динарида, на коме се излучују падавине великих интензитета. На слици 12 приказана је фреквенција појаве поплавних таласа на улазу у Билећку акумулацију. Видљиво је да се поводњи најучесталије јављају у хладном дијелу године, од почетка октобра до прве половине маја, али са различитим учесталостима. Највећа учесталост појаве таласа великих вода јавља се у периоду од друге половине новембра до краја јануара. Високе учесталости настајања поводња су од друге половине октобра закључно са првом половином марта.



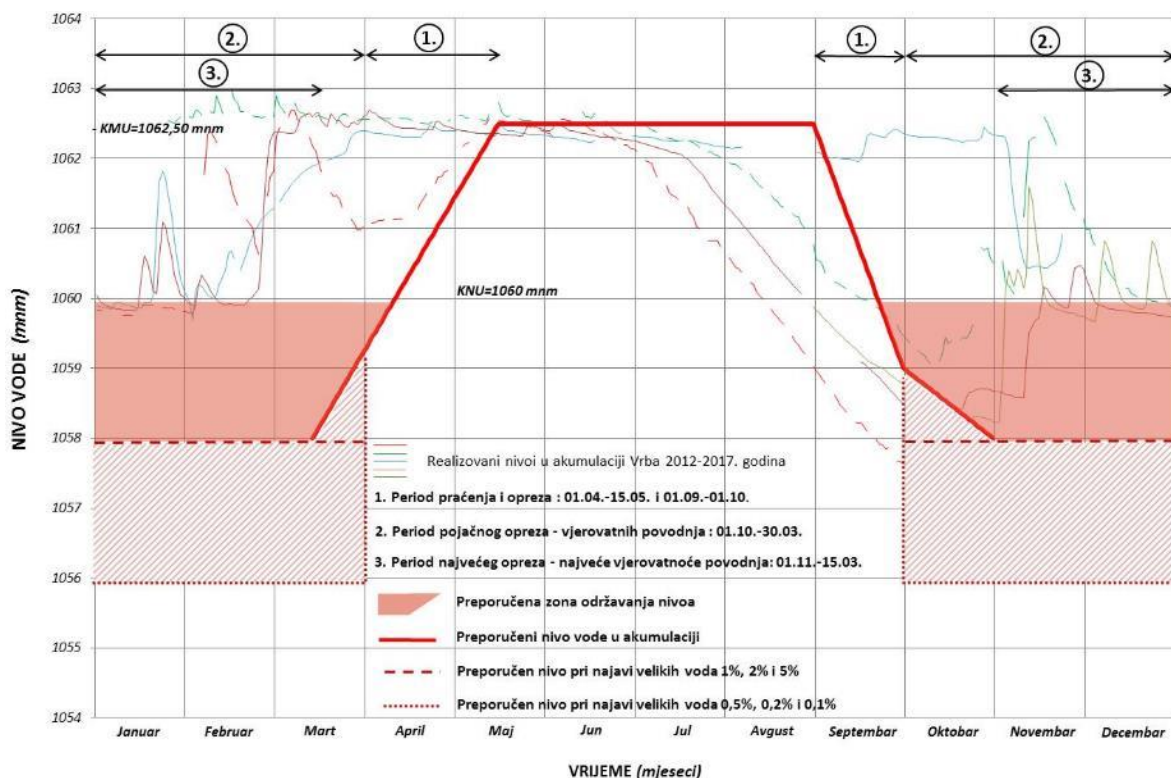
Слика 12. Фреквенција појаве таласа велике воде на уласку у Билећку акумулацију (Ђорђевић и сар., 2012)

Figure 12. Frequency of flood waves for Bileća Reservoir (Ђорђевић et al, 2012)

У општем случају, правила управљања треба дефинисати тако да се омогући поуздана испорука воде корисницима, али и поуздана заштита у случају наиласка великих вода, посебно у случајевима када је једна од намјена акумулације и заштита од поплава. У нормалним условима акумулацијом се управља тако да се задовоље сви корисници, односно да се максимизира добит од испоручене воде. Међутим, у условима наиласка великих вода управљање се веома често подређује управо захтјеву максималне заштите низводног подручја. С обзиром да низводно од разматраних акумулација Врба и Клиње ријека Мушница протиче кроз комплекс рудника и ТЕ Гацко, проблем заштите од поплава, односно ублажавања таласа великих вода веома је значајан.

Након спроведених анализа и прорачуна могуће је дефинисати начелна правила управљања акумулацијама у условима наиласка великих вода. Полазна кота 1058 mm у акумулацији Врба се показала као оптимална за прихватање и трансформацију поплавних таласа приказаних у варијантама 1 и 2, вјероватноће појаве 1%, 2% и 5% и та кота се може предложити као доње ограничење - доња анвелоба у периодима наиласка великих водних таласа. За рјеђе вјероватноће појаве великих вода (0,2%, 0,5% и 0,1 %) нису спроведене

анализе, али сагледавајући запремину тих рјеђих таласа, резултате трансформације поплавних таласа и времена пражњења акумулације, препоручује се спуштање нивоа воде у акумулацији Врба на коту 1056 mm (као доњу анвелопу) у периодима када се најави могућност таквог догађаја.



Слика 13. Приједлог радног дијаграма за управљање акумулацијом Врба

Figure 13. Proposal of the operating diagram for the management of the Vrba reservoir

На основу свих наведених разматрања дефинисан је приједлог оперативно-радног дијаграма у коме су дефинисане препоручене минималне коте нивоа у акумулацији Врба и зоне у оквиру којих би се морао одржавати ниво воде (слика 13).

Иако није наведен као значајан, период од 02.05.÷30.09. у условима екстремних падавина се треба третирати на одговарајући начин и примјенити мјере активне заштите од поплава.

Помоћу наведеног дијаграма могуће је дефинисати правила управљања акумулацијама на годишњем нивоу са аспекта заштите од поплава, према исказаним периодима ризика од поплавних таласа:

- у периоду праћења и опреза од [1.04.÷15.5.] и [01.09.÷01.10.] приоритет је рад у условима задовољења примарног корисника техничком водом (РиТЕ Гацко) и испуштање гарантованог еколошког протицаја. Уколико се појаве већи водни таласи, они су мањих запремина и могуће их је успјешно трансформисати у акумулацијама. У овом периоду кота на почетку периода треба да што више тежи коти максималног успора  $Z_{KMU}=1062,50$  mm. Ово је уједно и горња анвелоба коју је пожељно одржавати у што дужем периоду. Испуштање воде из акумулације Врба обавља се темељним испустом са дисперзионим затварачем из кога се испушта гарантовани еколошки протицај и техничка вода за РиТЕ Гацко  $Q_{TE}=600$  L/s, а на брани Клиње се такође дисперзионим затварачем на десном темељном испусту испушта гарантовани еколошки протицај у износу од 120 L/s. Кота у акумулацији Клиње треба да тежи коти нормалног успора  $Z_{KNU}=1024$  mm.
- у периоду појачаног опреза – вјероватних поводња од [01.10.÷30.03.] могу се очекивати поплавни таласи, а приоритет је и даље испорука воде примарном кориснику. Акумулација

Врба треба да је на око 1,5 m испод коте максималног успора, односно пожељно на коти 1061 mm са спуштеним сегментним уставама на слободном преливу, док је кота у акумулацији Клиње на коти нормалног успора 1024 mm. Резерва у акумулацији Врба од 1,5 m до коте максималног успора омогућава прихватање поплавних таласа мањих запремина, док је код наиласка таласа великих вода запремина до  $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , потребно постепено отворити уставе на слободном преливу и коту у акумулацији спустити на коту нормалног успора  $Z_{\text{KNU}}=1060 \text{ mm}$ . Манипулација хидромеханичком опремом на бранама се обавља на исти начин као у претходном случају.

- у периоду највећег опреза – највеће вјероватноће поводња од [01.11÷15.03.] се очекују велики поплавни таласи (у неким случајевима и најнеповољнији сценарио, суперпонирање наглог топљења снијега и наилазак „Ђеновског циклона“). У појединим интервалима овог периода испоруке воде примарном кориснику су на истом нивоу важности као и активна одбрана од поплава. Коте у акумулацијама су на котама нормалних успора: у акумулацији Врба  $Z_{\text{KNU}}=1060 \text{ mm}$  (обавезно подигнуте сегментне уставе на слободном преливу), а у акумулацији Клиње  $Z_{\text{KNU}}=1024 \text{ mm}$ . Када се на основу поузданих временских прогноза очекују већи и значајни поплавни таласи, потребно је оборити ниво воде у акумулацијама и припремити их за активну улогу заштите од поплава. У тим хидролошким ситуацијама врши се селективно претпражњење акумулација темељним испустима на бранама и то:

- акумулације Врба до коте 1058 mm – анvelope одбране од поплава (слика 13) када се очекују велики водни таласи вјероватноћа појаве 1%, 2% и 5% (запремина поплавних таласа од  $2 \div 4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). У акумулацији Клиње претпражњењем је пожељно доћи до коте акумулације на 1022 mm.
- акумулације Врба до коте 1056 mm – анvelope одбране од поплава (слика 13) када се очекују екстремно велики водни таласи настали од више везаних таласа или суперпонирања наглог топљења снијега и наиласка „Ђеновског циклона“, вјероватноћа појаве 0,5%, 0,2% и 0,1% (запремина поплавних таласа од  $4,5 \div 6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ). У акумулацији Клиње претпражњењем је пожељно доћи до коте 1022 mm.

Претпражњења се обављају темељним испустима на бранама. За акумулацију Врба потребна времена спуштања до коте 1058 mm су 22 часа а до коте 1056 mm 41 час, а за акумулацију Клиње са десним испустом до коте 1022 је потребно 47 часова, а са оба испуста за 3,5 часова. У току претпражњења се у више наврата провјеравају прогнозе и хидролошка ситуација на ширем подручју и по потреби се преиспитују претпражњења (са јачањем циклона се појачавају, а са слабљењем циклона се по потреби и обуставља претпражњење).

У периоду када престану са радом темељни испусти, активирају се затварачи за испуштање гарантованог еколошког протицаја на обје бране, а снабдијевање водом ТЕ Гацко се обавља без прекида.

Услов за спровођење правила управљања акумулацијама у условима наиласка великих вода је оперативност опреме на евакуационим органима (темељним испустима и преливима), као и одговарајући (развијен и поуздан) систем мониторинга хидролошких величина, укључујући поузданост временских прогноза о падавинским ситуацијама на сливу.

## 5 Закључак

У овом раду размотрене су постојеће карактеристике вишенамјенског система Мушнице, са посебним освртом и детаљном анализом улоге акумулација Врба и Клиње у активної заштити од поплава. Сагледавајући преузете техничке карактеристике и податке о бранама са евакуационим органима, акумулацијама и улазне хидролошке подлоге, додатном анализом и прорачуном трансформације поплавних таласа у више претпостављених реалних хидролошких сценарија показано је да ове акумулације могу имати значајнију улогу у активної одбрани од поплава, нарочито у спрегнутом раду.

Код спрегнутог рада ових акумулација у периоду наиласка великих поплавних таласа примјетна су значајна умањења пикова на профилу ВС Клиње, која се постижу трансформацијом таласа у акумулацији Врба, посебно уколико се изврше претпражњења. Уочава се и одређени допринос акумулације Клиње, пре свега у продуженом времену до појаве пика поплавног таласа када се изврши претпражњење.

Правила управљања акумулацијама дефинисана су након спроведених прорачуна трансформације поплавних таласа у акумулацијама, са сљедећим кључним закључцима:

- мали, средњи и велики поплавни таласи успјешно се трансформишу у акумулацији Врба од коте нормалног до коте максималног успора;
- у периодима године када се очекују поплавни таласи већих и екстремних запремина, неопходно је на основу поузданих показатеља извршити дириговано претпражњење:
  - акумулације Врба до коте 1058 mmm, када се очекују велики водни таласи вјероватноћа појаве 1%, 2% и 5%, запремина  $2\div 4 \times 10^6 \text{ m}^3$  (варијанте 1 и 2), акумулација Клиње је на пожељној коти 1022 mmm
  - акумулације Врба до коте 1056 mmm, када се очекују екстремно велики водни таласи настали од више везаних таласа или супрепонирања наглог топљења снијега и наиласка „Ђеновског циклона“, вјероватноћа појаве 0,5%, 0,2% и 0,1% (запремина поплавних таласа од  $4,5\div 6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), акумулација Клиње је на пожељној коти 1022 mmm.

Да би се активна улога акумулација Врба и Клиње у трансформацији поплавних таласа и остварила, неопходно је успоставити одговарајућу оперативност и поузданост хидромеханичке опреме на бранама, обезбиједити веома квалитетан, аутоматски хидролошки мониторинг и one-line прикупљање података на сливу ријеке Мушнице (кључна је кишомјерна станица „Чемерно“ уз мјерење висине сњежног покривача, формирати нову кишомјерну станицу уз акумулације, обезбиједити аутоматско прикупљање података на ВС Врба, Клиње и Автовац), аутоматско мјерење нивоа воде у акумулацијама, те обезбиједити приступ и коришћење поузданих временских прогноза укључујући одговарајућу хардверску и софтверску подршку са математичким моделима у управној згради, која је смјештена уз брану Врба.

## Литература

1. Дашић Т., Ђорђевић Б., Милановић П., Станић М., Јаћимовић Н., Судар Н. (2016) Развој метода за управљање водама и уређење територије у зони система осетљивих на поплаве – на примеру рудника и термоелектране Гацко, *Водопривреда*, 48 (282-284): 137-146.
2. Ђорђевић Б. (1990) *Водопривредни системи*, Научна књига, Београд, ИСБН 86-23-41056-4
3. Ђорђевић Б., Дашић Т., Судар Н. (2012) Повећање ефикасности управљања акумулацијама у периоду одбране од поплава – на примеру хидроенергетског система на Требишњици, *Водопривреда*, 44 (255-257): 43-58
4. Савић Љ. (2009) *Увод у хидротехничке грађевине*, Грађевински факултет Београд
5. Судар Т. (2018) *Управљање акумулацијама Врба и Клиње на реци Мушници (слив Требишњице)*, Дипломски рад
6. Завод за водопривреду Бијељина & Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд (2016) *Управљање водним ресурсом у сливу ријеке Мушнице – I Фаза*