



СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

УТИЦАЈ МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

УТИЦАЈ МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА
НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

S C I E N T I F I C M E E T I N G S

Book CLXXXVII

DEPARTMENT OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL STUDIES

Book 17

ENVIRONMENTAL IMPACT OF SMALL HYDROPOWER PLANTS

Accepted at the 6th meeting of the Department of Chemical and Biological Sciences
on September 20, 2019

E d i t o r
Academician

MARKO ANDJELKOVIĆ

BELGRADE 2020

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

НАУЧНИ СКУПОВИ

Књига CLXXXVII

ОДЕЉЕЊЕ ХЕМИЈСКИХ И БИОЛОШКИХ НАУКА

Књига 17

УТИЦАЈ МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Примљено на VI скупу Одељења хемијских и биолошких наука, одржаном
20. септембра 2019. године

У р е д н и к

академик

МАРКО АНЂЕЛКОВИЋ

БЕОГРАД 2020

Издаје
Српска академија наука и уметности
Кнеза Михаила 35, Београд

Технички уредник
Никола Стевановић

Лектор и коректор
Весна Шубић

Превод резимеа
Аутори

Тираж: 400 примерака

Штампа
Colorgrafx, Београд

© Српска академија наука и уметности 2020

ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

Академик Марко Анђелковић, председник

Проф. др Александар Јововић

Проф. др Зоран Никић

Др Павле Павловић, научни саветник

Јасмина Јовић, помоћник министра за заштиту природе и климатске промене

Вера Батина, секретар

САДРЖАЈ

Предговор	9
МАРКО АНЂЕЛКОВИЋ Утицај малих хидроелектрана на животну средину	11
Излагање министра заштите животне средине др Горана Тривана	15
ВЕЉКО ДИМИТРИЈЕВИЋ Утицај малих хидроелектрана на режим и водни услови за њихово пројектовање и изградњу	21
VELJKO DIMITRIJEVIĆ The impact of mini hydropower plants on water system, design and construction requirements.....	40
ВЛАДАН КАРАМАРКОВИЋ, РАДЕ КАРАМАРКОВИЋ, МИЛОШ НИКОЛИЋ, НЕНАД СТОЈИЋ Утицај малих хидроелектрана на одрживи развој Републике Србије	43
VŁADAN KARAMARKOVIĆ, RADE KARAMARKOVIĆ, MIŁOŠ NIKOLIĆ, NENAD STOJIC The impact of small hydropower plants on the sustainable development of the Republic of Serbia.....	66
БРАНИСЛАВ В. ЂОРЂЕВИЋ Енергетско, еколошко и развојно вредновање малих хидроелектрана	67
BRANISLAV V. ĐORĐEVIĆ Assessing the energy related, environmental and economic impacts of small-scale hydroelectric power plants	90
ИВАН БОЖИЋ, АЛЕКСАНДАР ПЕТКОВИЋ Утицај појединих техничких решења на остваривање енергетских и еколошких циљева малих хидроелектрана.....	93
IVAN BOŽIĆ, ALEKSANDAR PETKOVIĆ The impact of particular technical solutions on energy related and ecology issues of small hydropower plants	106

РАТКО РИСТИЋ, ИВАН МАЛУШЕВИЋ, СЕНИША ПОЛОВИНА, ВУКАШИН МИЛЧАНОВИЋ, БОРИС РАДИЋ	
Мале хидроелектране деривационог типа: безначајна енергетска корист и немерљива еколошка штета	107
RATKO RISTIĆ, IVAN MALUŠEVIĆ, SINIŠA POLOVINA, VUKAŠIN MILČANOVIĆ, BORIS RADIĆ	
Small derivate hydropower plants: a negligible contribution to power generation and an imparable adverse environmental impact	132
СВЕТЛАНА СТЕВОВИЋ	
Концепт изградње МХЕ у светлу конфликтних интереса и синергијских решења	135
SVETLANA STEVOVIĆ	
SHPP construction concept in terms of conflict of interest and synergic solutions	167
ПРЕДРАГ СИМОНОВИЋ	
Утицај деривационих малих хидроелектрана на заједнице риба и других акватичних организама екосистема планинских река Републике Србије	169
PREDRAG SIMONOVIĆ	
The impact of small derivative hydropower plants on fish species and other aquatic organisms in the mountain river ecosystems of the Republic of Serbia.....	189
ЈЕЛКА ЦРНОБРЊА-ИСАИЛОВИЋ	
Утицај малих хидроелектрана деривационог типа на локалне популације водоземаца и гмизаваца	191
JELKA CRNOBRNJA-ISAILOVIĆ	
The impact of diversion small hydropower plants on local amphibian and reptile populations.....	207
Дискусија.....	209
Закључци Организационог одбора симпозијума.....	223
Неслагање са појединим закључцима Организационог одбора симпозијума „Утицај малих хидроелектрана на животну средину“	226

ПРЕДГОВОР

У завидно дугој традицији постојања и рада Српске академије наука и уметности увек је присутно настојање на активном праћењу и учешћу у актуелним догађањима и проналажењу решења проблема општег цивилизацијског и/или националног значаја. У том смислу је, ценећи иначе врло широку глобалну проблематику природне и животне средине изузетно битном и за наше друштво са политичког, економског и етичког аспекта, а посебно у том оквиру и са аспекта будућности нових генерација, Председништво САНУ основало 1972. године Међудодељењски одбор „Човек и животна средина“, који сада егзистира и ради као Академијски одбор „Човек и животна средина“. Рад Одбора одвијао се и одвија ради праћења актуелне проблематике у области заштите и унапређења животне средине у Републици Србији, у контексту глобалне проблематике тог аспекта, и уз активно учешће у указивању на актуелне проблеме и проналажење одговарајућих прихватљивих и рационалних решења. Сходно томе, чланови Одбора су на неколико састанака Одбора указивали на све присутнију активност у области изградње малих хидроелектрана (МХЕ) и све учесталије реакције *pro et contra*, како у круговима стручњака тако и у широј друштвеној јавности. На основу тих сазнања, Одбор је на својој седници, одржаној 17. децембра 2018. године, донео одлуку да организује симпозијум „Утицај малих хидроелектрана на животну средину“, који је одржан 6. јуна 2019. године у Свечаној сали САНУ.

Основни циљ скупа било је научно и стручно презентовање објективних чињеница, првенствено из одговарајућих техничких и биолошких области и дисциплина које се односе на изградњу и експлоатацију МХЕ, као и њихов краткорочни и дугорочни утицај на животну средину у ужем и ширем окружењу. У том смислу је, у складу са принципом „предавања по позиву“, пружена прилика једном броју стручњака проверене компетентности из одговарајућих дисциплина из оквира проблематике скупа да саопште своја респектабилна знања и искуства, као и да предложи могуће правце решења актуелних проблема. Скуп је био отворен за јавност, с циљем подизања нивоа обавештености о наведеној проблематици, као и омогућавања изношења индивидуалних мишљења кроз дискусију која је одржана након излагања реферата. Ова монографија садржи текстове осам ауторских радова који су, у нешто сажетијем облику, били изложени током одржавања симпозијума, а који су рецензирани од стране експерата за одговарајуће области, као и говоре др Горана Тривана, министра за заштиту животне средине у Влади Републике Србије и академика Марка Анђелковића, председника Академијског одбора „Човек и животна средина“, који су одржани у оквиру отварања Симпозијума.

У панел-дискусији одржаној након излагања реферата учествовало је једанаест дискутаната. Шест дискутаната се одазвало позиву и у предвиђеном року доставило своје дискусије у писаном облику, према утврђеним пропозицијама, тако да су и оне увршћене у ову монографију. На основу изложених реферата, Организациони одбор симпозијума „Утицај малих хидроелектрана на животну средину“ формулисао је закључке скупа који су публиковани у оквиру ове монографије.

Четири аутора која су одржала три реферата у оквиру наведеног симпозијума, из својих личних разлога, делимично су се оградиле од опште формулисаних закључака, што је такође дато у оквиру ове публикације.

У Београду, 20. новембра 2019. године

Академик Марко Анђелковић

УТИЦАЈ ПОЈЕДИНИХ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА НА ОСТВАРИВАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ И ЕКОЛОШКИХ ЦИЉЕВА МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА

ИВАН БОЖИЋ*, АЛЕКСАНДАР ПЕТКОВИЋ**

С а ж е т а к. – Циљеви које треба да остваре мале хидроелектране (МХЕ) у данашње време битно се не разликују од циљева и улога које су МХЕ одувек имале. Остваривање тих циљева подразумева изналажење компромисних решења у складу са савременим стањем науке и технике, задовољавајући енергетске и еколошке захтеве који су постављени пред различите типове МХЕ. Са еколошког становишта, примарни циљ је обезбеђивање сталног гарантованог еколошког протока низводно од бране у свим хидрометеоролошким приликама, док енергетска прерада воде у производним линијама МХЕ претендује њеном што већем искоришћењу. Наведени захтеви су често међусобно супротстављени, јер испуњење једних намеће ограничења остваривању других. Стога, једна од кључних пројектантских и извођачких активности треба да буде правилно дефинисање хидротехничких функција свих виталних делова МХЕ, посебно брана и водозахвата. Бројне хидротехничке функције и дефинисани еколошки захтеви условљени су посебним потребама конкретних хидроенергетских објеката, па се и њихово задовољење реализује одговарајућим савременим техничким решењима хидрауличних органа и хидромеханичке опреме. Истовремено се таквим калибрисаним преливима и специфичном хидромашинском опремом омогућује правилно расподељивање захватања воде у енергетске сврхе. У раду је на примеру једне МХЕ приказано истовремено задовољење и енергетских и еколошких захтева.

Кључне речи: мала хидроелектрана, техничко решење, хидротехника, хидромашинска опрема

УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Вишедеценијско коришћење малих водотокова за електроенергетске и водопривредне потребе изнедрило је бројна искуства са малим хидроелектранама (МХЕ) као обновљивим изворима енергије. Искуства су раз-

* Универзитет у Београду Машински факултет, имејл: ibozic@mas.bg.ac.rs

** Хидромашконсалтинг, Београд, имејл: azpetkovicbgd@gmail.com

личита – од потпуно погрешних техничких решења која имају негативне утицаје на животну средину до таквих да се живот у једном подручју не би ни могао замислити да МХЕ нису биле у вишедеценијској експлоатацији. Уопштено, сва пређашња искуства преточена су у четири условне категорије утицаја МХЕ на животну средину [1, 2]:

1. Позитивни утицаји (чист и обновљив извор енергије, уређење слива, туристички и рекреативни потенцијал, додатно станиште за дивљу речну фауну, уређени рибњаци, економске користи, умањење загађења ваздуха, редукција емисије гасова стаклене баште, могућност запошљавања, побољшање инфраструктуре итд.).

2. Негативни утицаји локације МХЕ (неупотребљивост и/или дуготрајна пренамена плодног земљишта, краткорочна узурпација шумског земљишта, ризици од ерозије и таложена муља, заштита од бујичних токова и др.).

3. Краткорочни негативни утицаји у току изградње МХЕ (ерозија тла на градилишту, стварање отпада, транспорт отпада и грађевинског материјала, крчење шума, квалитет воде, потенцијално девастирање културног наслеђа, загађење ваздуха и бука у периоду грађевинских радова и сл.).

4. Утицаји услед експлоатације МХЕ (дуготрајно оштећење шума, промена речне флоре и фауне услед неадекватно прописане вредности гарантованог еколошког протока, управљање водним ресурсима, наводњавање итд.).

Сви претходно наведени утицаји подразумевају изналажење компромисних решења у складу са савременим стањем науке и технике, задовољавајући енергетске и еколошке захтеве који су постављени пред различите типове МХЕ. Са еколошког становишта, примарни циљ је обезбеђивање сталног гарантованог еколошког протока (ГЕП) низводно од бране у свим хидрометеоролошким приликама, док енергетска прерада воде у производним линијама МХЕ претендује њеном што већем искоришћењу. Улога хидромашинства је од великог значаја у решавању наведених, међусобно супротстављених захтева, те би такве активности требало да буду неизоставне при пројектовању, изградњи и експлоатацији свих малих хидроелектрана, како је и прописано у припадајућим пројектним нормативима [3]. Управо ће у наставку рада бити изложене последице које МХЕ имају на животну средину услед неадекватних пројектних решења, али и изабрана позитивна искуства осликана конкретним инжењерским решењима која истовремено задовољавају и енергетске и еколошке захтеве.

УЛОГА ХИДРОМАШИНСТВА У МАЛОЈ ХИДРОЕНЕРГЕТИЦИ

Хидромашинство као једна од специјалистичких области даје свој велики допринос у свим фазама развоја и експлоатације једне МХЕ: од анализе подлога за њено пројектовање, преко пројектовања, избора и кон-

струисања хидромашинске опреме (ХМО), изградње, па до испитивања и експлоатације, као и реконструкције (за потребе евентуалног проширења обима предвиђених функција МХЕ) и ревитализације (за потребе обезбеђења наредног експлоатационог циклуса).

Пројектовање МХЕ, избор одговарајуће ХМО и оптималних решења хидроагрегата треба да се заснива на релевантним и поузданим подлогама. Непостојање дугорочних и систематски мерених података о водостајима и протоцима мањих река и потока, као и неажурирање постојећих, има за последицу формирање недовољно утемељених подлога. На тај начин је могуће значајно преценити, али и изузетно потценити и инсталисане енергетске параметре и гарантовани еколошки проток.

Једно од кључних планерских активности је управо јасно дефинисање ГЕП [4] за сваку реку посебно који је у већини случајева процењена константна вредност. Чак ако би се разматрала сезонски варијабилна вредност ГЕП, за машинског инжењера хидроенергетике је то неприкосновени захтев који се без обзира на пројектантска варијантна решења мора остваривати. Такви захтеви су оствариви стручном применом савремених техничких решења хидрауличних органа, правилним избором хидроагрегата и одговарајуће ХМО и мерно-регулационе опреме.

Прецизно испуштање прописане вредности ГЕП [5], уз максимално могуће искоришћење протока који преостаје за енергетску прераду у МХЕ постиже се водозахватима код којих се безусловно обезбеђује функција регулисаног захватања воде. Водно-енергетска специфичност сваке реке представља се поузданом кривом трајања протока. За малу хидроенергетику су од значаја криве трајања протока само на дневним и евентуално седмичним нивоима, али и подаци о екстремно великим и малим протоцима. Постизање оптималне експлоатације МХЕ у свим хидролошким приликама представља инжењерски изазов када је у питању избор броја, типа и димензија хидрауличних турбина. Проблем је једино решив применом вишекритеријумске анализе различитих варијантних решења. Правилно димензионисање органа деривације (цевовод или тунел са водостаном и цевоводом) до машинске зграде МХЕ са аспекта испуњења строгих еколошких стандарда никада не представља опасност по животну средину.

Савремена наука и техника омогућују, поред пројектантских решења, примену различитих конструктивних достигнућа [6, 7] у домену тзв. еколошких хидрауличних турбина (*fish-friendly* турбине, лежајеви без уља и др.). Наравно, испуњење еколошких захтева одражава се на ограничења у остваривању енергетских параметара, али јасно дефинисани приоритетни захтеви су са инжењерског аспекта итекако оствариви.

Стручност при пројектовању, одговарајуће спровођење техничке контроле, правилна изградња уз стриктни надзор, независна примопредајна и гаранцијска испитивања изграђених објеката и уграђених агрегата и инспек-

цијски надзор у току експлоатације, имају за последицу добијање квалитетне и функционалне МХЕ која ће имати занемарљив негативан утицај на животну средину. У свакој од претходно наведене активности стручан и искусан машински инжењер хидроенергетике треба да буде ангажован како би се испоштовали сви законски и стандардима дефинисани захтеви. У том смислу, стварна примена хидромашинског инжењерства требало би да представља незаобилазан део у пројектовању, изградњи и експлоатацији малих хидроелектрана.

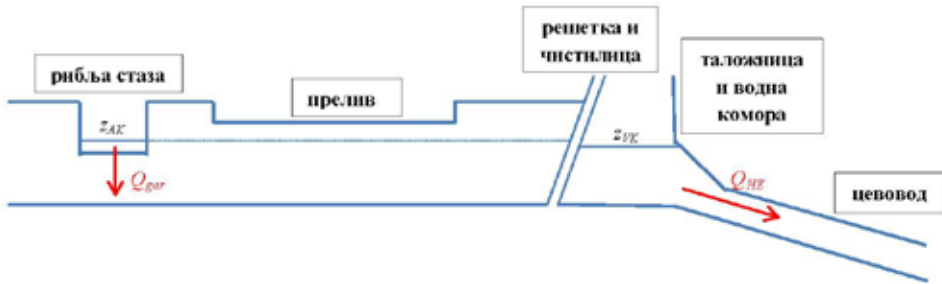
Пошто је једна од најбитнијих пројектантских и извођачких активности правилно дефинисање хидротехничких функција брана и водозахвата, у наставку рада биће приказани примери калибрисаних прелива и специфичне хидромашинске опреме којом се омогућује правилно расподељивање дотока реке на тракт за гарантовани проток и линију за енергетску прераду.

Непостојање функције регулисања нивоа горње воде (радне коте воде у акумулацији МХЕ), односно постојање такве функције која се недовољно прецизно остварује, има за последицу обезбеђивање неадекватног протока преливне воде преко тракта за испуштање ГЕП (код МХЕ је то најчешће рибља стаза). Такав проток је или суфицитан у односу на прописану вредност (када мање воде преостаје расположиво за енергетску прераду кроз МХЕ – уштрб по енергетику) или је дефицитан (када се недовољно воде испушта према речном кориту низводно од бране – штета по екологију).

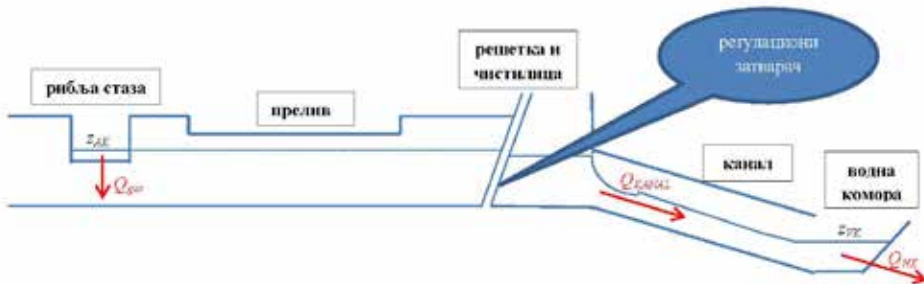
ХИДРОТЕХНИЧКЕ ФУНКЦИЈЕ МХЕ И ОДГОВАРАЈУЋА ТЕХНИЧКА РЕШЕЊА

У планско-пројектној фази потребно је идентификовати све потребне хидротехничке функције које треба да буду обезбеђене на предвиђеној брани/прегради МХЕ и техничким решењима хидротехничких објеката и хидромеханичке опреме обезбедити дужно испуњење истих.

Треба истаћи да у групу основних хидротехничких функција бране/преграде МХЕ спадају: обезбеђење испуштања прописане вредности ГЕП низводно од бране и захватање потребног протока за рад МХЕ (најбоље путем имплементације система за аутоматску регулацију нивоа горње воде, односно регулацију протока МХЕ према дотоку), као и пропуштање великих вода. С друге стране, зависно од конкретних услова за анализирана постројења, додатне хидротехничке функције брана/преграда које се могу појавити су: испирање наноса наталоженог у акумулацији, спречавање продора наплавина у деривациони систем МХЕ, исталоживање и испирање суспендованог наноса пре енергетске прераде воде кроз МХЕ, зимски испуст за гарантовани проток и рад МХЕ, захватање вода међудотока, захватање вода енергетски већ прерађених кроз узводну МХЕ, захватање воде из оформљене акумулације за потребе појединих водокорисника или водопотрошача и др. При томе, по-



а) фронтални водозахват, са таложницом и деривацијом под притиском (дугачки цевовод или тунел-водостан-цевовод) или са каналском деривацијом типа саморегулационог канала (са водном комором и цевоводом) – регулабилност z_{AK} и Q_{gar} може се остварити турбинама ХЕ, при вредностима дотока реке до $Q_{dotok} = Q_{HE} + Q_{gar}$



б) фронтални водозахват, са каналском деривацијом типа несаморегулационог канала (са водном комором и цевоводом) – регулабилност z_{AK} и Q_{gar} не може се само по себи остварити конструктивним решењем рибље стазе, већ искључиво уградњом додатне ХМО



в) „тиролски“ водозахват, са таложницом и деривацијом под притиском (дугачки цевовод или тунел-водостан-цевовод) – регулабилност z_{AK} и Q_{gar} не може се само по себи остварити конструктивним решењем тракта рибље стазе и тиролског захвата, већ искључиво уградњом додатне ХМО

Слика 1. Разни концепти преграда и водозахвата МХЕ – могућност регулације нивоа горње воде (радне коте воде у акумулацији) и гарантованог протока преко рибље стазе

требна ХМО може бити изолационе или регулационе намене, када је потребно додатно предвидети и мерне, односно управљачко-регулационе уређаје.

У наставку рада је дат пример реконструкције МХЕ постројења, на којем је илустровано испуњење потребних хидротехничких функција одговарајућим пројектним решењима хидротехничких објеката и ХМО.

СИСТЕМИ РЕГУЛАЦИЈЕ НИВОА ГОРЊЕ ВОДЕ

Системи аутоматске регулације (САР) нивоа горње воде осмишљене су тако да одговоре на захтеве које постављају хидрауличко-хидротехничке специфичности и свеукупна диспозиција МХЕ. Постоје различити блок-дијаграми САР [8, 9], од којих је један вид (за деривацију типа несаморегулационог канала, који је применљив за изабрани пример МХЕ из праксе) приказан у раду.

Имајући у виду да се код оваквих канала, услед релативно велике дужине и проистичуће денивелације дна на узводном и низводном крају, радним нивоом у водној комори (ВК) не може утицати на успор, односно радни ниво у акумулацији (АК) – потребна је додатна регулациона ХМО на узводном крају канала. То доводи до потребе за имплементацијом два аутономна система – једног за АК (регулациони затварач – за регулацију нивоа у АК, на узводном крају канала, сл. 2) и другог за ВК (групни регулатор активне снаге турбина и саме турбине – за регулацију нивоа у ВК, на низводном крају канала, сл. 3).



Слика 2. Диспозиција МХЕ са каналском деривацијом типа несаморегулационог канала. Регулација нивоа воде у акумулацији



Слика 3. Диспозиција МХЕ са каналском деривацијом типа несаморегулационог канала. Регулација нивоа воде у водној комори

У наставку је дат пример МХЕ (каналска деривација, са несаморегулационим каналом), на којем је илустрована примена анализа регулације нивоа у ВК ради избора типа и параметара подешавања контролера (контролер PI-дејства).

ПРИМЕР ИЗ ПРАКСЕ

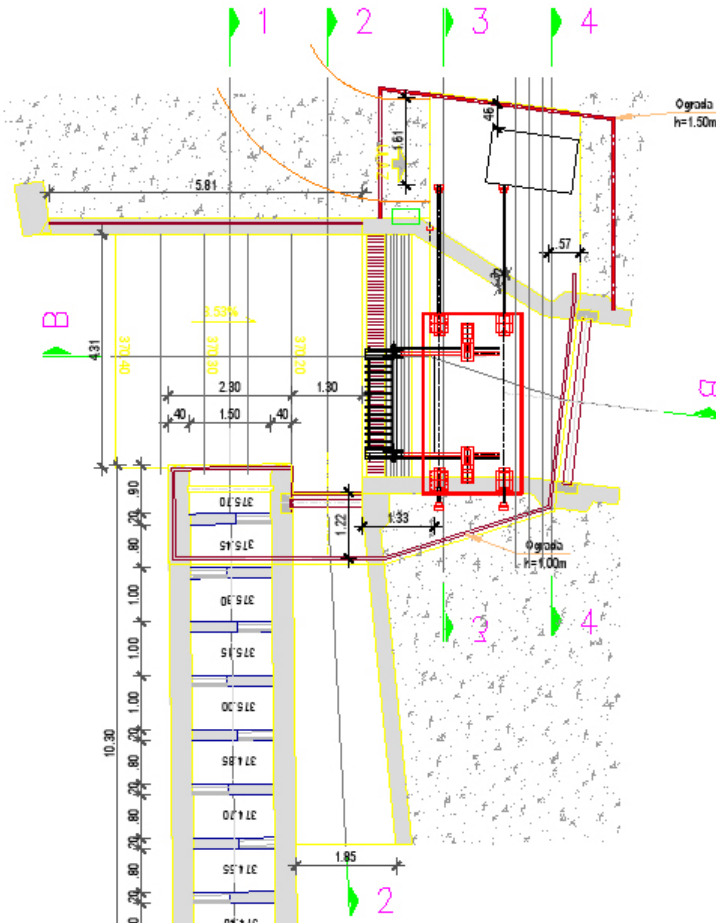
Основни подаци о МХЕ су: тип бране – ниска бетонска преграда, просечни годишњи протицај реке на месту преграде – $3,95 \text{ m}^3/\text{s}$, гарантовани проток – $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$, тип деривације – канал (дужине 4945 m) и цевовод (дужине 70 m), година иницијалне изградње – 1948. (инсталисани проток МХЕ – $2,13 \text{ m}^3/\text{s}$, инсталисана снага МХЕ – $0,350 \text{ MW}$), година реконструкције – 2019. (инсталисани проток МХЕ – $5 \text{ m}^3/\text{s}$, инсталисана снага МХЕ – 1 MW), просечна годишња производња енергије – $3,68 \text{ GWh}/\text{god}$ [10].

Предвиђене хидротехничке функције бране и водозахвата, као и начини реализације дати су у табели 1.

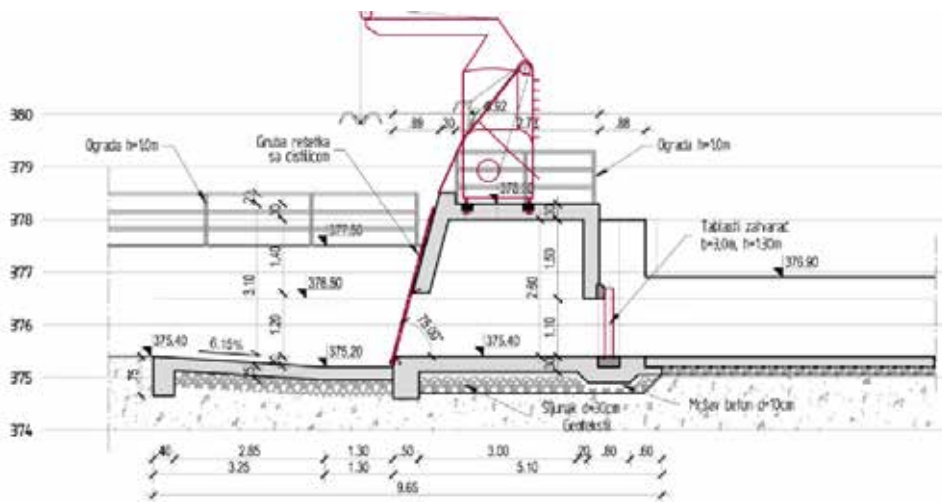
Табела 1. Хидротехничке функције брана и водозахвата

Ред. бр.	Функција	Реализација
1.	омогућење кретања ихтиофауне	рибља стаза, адекватних конструктивних карактеристика (ширина тракта и денivelације кампада)
2.	пропуштање гарантованог еколошког протока низводно од преграде	рибља стаза и водозахватна грађевина канала у току маловодних периода и периода трајања дотицаја до вредности инсталисаног протока МХЕ; у циљу остварења прописане расподеле расположивог дотока на рибљу стазу и канал, преливни праг рибље стазе је реализован као калибрисани прелив (егзактна карактеристика преливног протока са надслојем воде изнад круне прага), при чему је
3.	захватање воде ка каналу (за потребе рада производног агрегата МХЕ)	фино регулисање нивоа омогућено радом система регулације нивоа (мерац нивоа, електронски контролер и затварач размештен иза водозахватне решетке, са регулационим електромоторним погоном као извршни уређај). Електронски контролер је једноставног (PI-) дејства и ради према сигналу одступања радне вредности нивоа од задате вредности. Регулисање нивоа остварује се предметним затварачем, будући да услед конфигурације деривације на успор на узводном крају канала није могуће утицати нивоом на низводном крају канала, односно радом турбине. При томе је задовољен и услов да затварач као регулациони уређај не буде размештен на рибљој стази;
4.	регулисано одржавање нивоа у оформљеном резервоару	преливни праг бране у периоду већих дотицаја (суфицит дотока, преливање излишних вода); Напомена: Регулација нивоа вода у АК (z_{AK}) и ВК (z_{VK}) је према схемама на сликама 2 и 3.

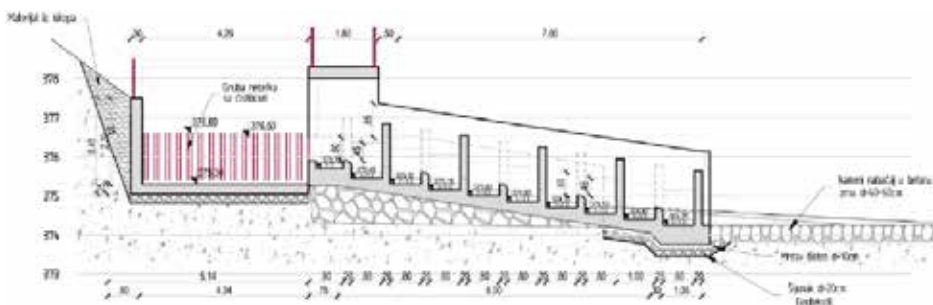
5.	испирање наталоженог наноса у зони водозахватне решетке	изолациони затварач на ручни погон на тракту темељног испуста преграде
6.	чишћење и евакуација наплавина са водозахватне решетке	одговарајућа чистилица опремљена контејнером
7.	изоловање деривационог канала од дотока реке током периода ревизије и одржавања канала	затварач (дефинисано за четврту функцију)
8.	преливање великих вода преко преграде	преливни праг и слапиште



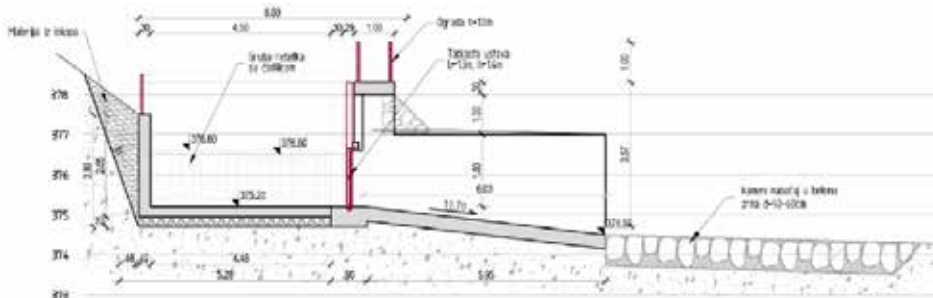
Слика 4. Стање након реконструкције МХЕ са повећањем инсталисаног протока – основа бране са пратећим органима и опремом



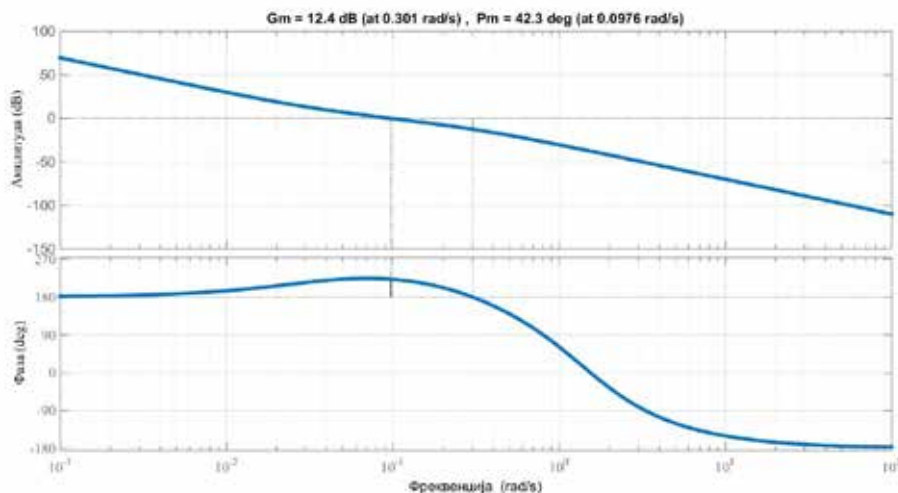
Слика 5. Стање након реконструкције МХЕ са повећањем инсталисаног протока – водозахват



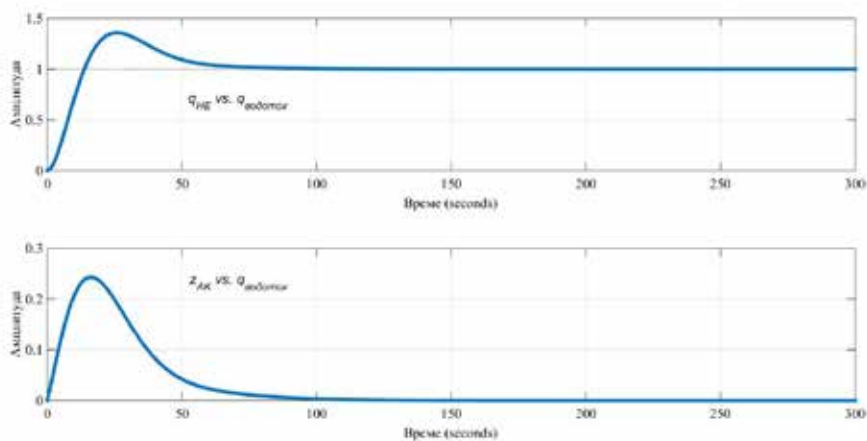
Слика 6. Стање након реконструкције МХЕ са повећањем инсталисаног протока – тракт рибе стазе



Слика 7. Стање након реконструкције МХЕ са повећањем инсталисаног протока – тракт темељног испуста



Слика 8. Логаритамска амплитудна – и фазна – фреквентна карактеристика (Бодев дијаграм) целокупног отвореног кола САР нивоа воде у водној комори



Слика 9. Временски одзив система на јединични одскочни поремећај дотока из канала у водној комори

ЗАКЉУЧЦИ

Пројектовање мале хидроелектране, избор одговарајуће хидромашинске опреме и оптималних решења хидроагрегата треба да се заснива на релевантним и поузданим подлогама. Непостојање дугорочних и систематски мерених података о водостајима и протоцима мањих река и потока, као

и неажурирање постојећих, има за последицу формирање недовољно утемељених подлога. На тај начин се значајно прецењују, али и изузетно потцењују, инсталирани параметри и гарантовани еколошки протоци малих хидроелектрана. Једно од кључних планерских активности је управо јасно дефинисање гарантованог еколошког протока за сваку реку посебно, која је у већини случајева процењена и константна вредност. Потребно је размотрити концепт сезонски варијабилне вредности еколошког прихватљивог протока којим би се остваривало усаглашавање енергетских и еколошких експлоатационих захтева. Истовремено, непостојање стриктне обавезе да се врши мониторинг протока низводно од водозавхвата након изградње МХЕ, односно да се ради обезбеђивања јасних еколошких услова проток реке континуално мери и контролише, може имати за последицу по животну средину штетну експлоатацију МХЕ, која се при томе ни на који начин не пеналише. Једино се перманентном контролом протока, уградњом калибрисаних инструмената за прикупљање, али и даљинско читавање водостаја (протока), могу у фази претпројектовања добити валидни улазни подаци, а у експлоатационом периоду, стварна контрола правилног управљања МХЕ са сврхом задовољења приоритетних и строгих еколошких захтева. Ово је потребно како би се скинула „анатема“ са мале хидроенергетике.

Уз претпоставку да су подлоге за пројектовање поуздане, недовољна стручност при пројектовању, неодговарајуће спровођење техничке контроле и непостојање механизма избора извршилаца техничке контроле независно од инвеститора, одступања и импровизације приликом изградње, немарни надзор при изградњи, непостојање обавезе за независним испитивањима изграђених објеката у циљу провере инсталираних и гарантованих параметара, као и различите злоупотребе при експлоатацији, имају за последицу немерљив негативан утицај како на животну средину тако и на енергетско искоришћење МХЕ.

Једна од кључних пројектантских и извођачких активности је правилно дефинисање потребних хидротехничких функција свих виталних делова МХЕ. Бројне хидротехничке функције, оптимална енергетска експлоатација и дефинисани строги еколошки захтеви морају се задовољити интегрално, што се може постићи стручном применом савремених техничких решења хидрауличних органа, правилним избором хидроагрегата и одговарајуће хидромеханичке и мерно-регулационе опреме.

Код МХЕ, за све типове водозавхвата потребно је обезбедити функцију регулисаног захватања воде ка машинској згради и регулисаног одржавања нивоа у акумулацији. Код диспозиција МХЕ са фронталним водозавхватам са таложницом и деривацијом под притиском или каналском деривацијом са саморегулационим каналом јесте могуће директно регулисање нивоа горње воде (протоком кроз турбину), за шта је потребна имплементација

одговарајућег система регулације нивоа горње воде. Међутим, код диспозиција МХЕ са тзв. „тиролским“ водозахватом (без обзира на концепт даљег деривационог система) и фронталним водозахватом са каналском деривацијом са несаморегулационим каналом то није могуће без додатне регулационе ХМО (будући да се код таквих водозахвата на ниво воде у акумулацији не може утицати регулацијом протока кроз турбину). На тај начин се омогућује прецизно одржавање нивоа воде у акумулацији, а тиме прецизно испуштање прописане вредности еколошки гарантованог протока преко рибље стазе, уз последично максимално могуће искоришћење расположивог дотока за енергетску прераду у МХЕ.

Не постоје негативне последице МХЕ по животну средину у домену машинског инжењерства ако су испоштовани сви законски, стручни и стандардима дефинисани захтеви. У том смислу, хидромашинско инжењерство требало би да представља незаобилазан део у пројектовању и изградњи малих хидроелектрана. Међутим, у домаћој пракси пројектовање хидромашинског постројења, избор одговарајућих турбина и хидромашинске опреме, као и спровођење неопходних енергетско-економских анализа се често своди на формалну испуњеност стручних квалификација (поседовање одговарајуће лиценце, али без стварне стручности). Нажалост, бројни су и примери да већину претходно наведених активности обављају извршиоци из других области машинства (понекад и из сасвим других инжењерских струка), често без довољно искуства. У таквим случајевима се хидромашинство своди на некритичку примену смерница које се могу наћи на интернет страницама или каталозима произвођача опреме, што наноси несагледиве негативне последице по карактеристике целокупне МХЕ. С друге стране, ангажовање веома малог броја референтних машинских стручњака из области хидроенергетике обично представља „непотребан“ издатак за инвеститора. Тада се у пројектантско-извођачким активностима читава једна инжењерска експертска област или девалвира или још чешће заобилази. Решење наведеног проблема налази се у институционалној едукацији, суштинском ангажовању и запошљавању већег броја машинских инжењера хидроенергетике на свим нивоима одлучивања када су мале хидроелектране у питању.

Према досадашњој пракси и легислативним решењима – пројектовање и техничка контрола су активности које спроводи инвеститор МХЕ. У циљу елиминисања проблема који проистичу из недовољне стручности, потребно је да техничку контролу обављају независни експерти по принципу случајног равномерног избора и делимичне тајности (до завршетка поступка ревизије) и та се активност мора изместити у делокруг надлежних државних институција, чак и за пројекте који не потпадају под надлежност Републичке ревизионе комисије. Ревиденти свих струка морају добити не-

зависност од инвеститора, одговарајућу надокнаду и носити кривично-материјалну одговорност.

Потребно је пооштри критеријуме и захтеве у локацијским условима. Без обзира на позитивне ефекте са енергетско-економског аспекта, мале хидроелектране не треба градити у зонама еколошки заштићених подручја.

Потребно је, такође, позитивну регионалну праксу да се при изградњи МХЕ у руралним подручјима мора остварити шири друштвени контекст (обезбеђивање нових радних места за локално становништво и задовољење њихових различитих егзистенцијалних потреба, нпр. водоводно-канализациони системи, путна инфраструктура, изградња рибњака и остало) применити и у Републици Србији. Претходно наведено подразумева увођење посебних допунских услова у тендерске документације за концесиону изградњу МХЕ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] АНЕС-ИИТР, *1.9 General – Environment Impact Assessment*, standard/guideline with support from Ministry of New and Renewable Energy, Roorkee, December 2012.
- [2] Zelaňáková, M.; Fijko, R.; Diaconu, D. C.; Remeňáková, I. *Environmental Impact of Small Hydro Power Plant – A Case Study*. *Environments* 2018, 5, 12.
- [3] Енергопројект-Хидроинжењеринг, Садржај и коментар садржаја пројеката хидроелектрана мањих од 10 MW, Београд, 1988.
- [4] Ђорђевић, В., Т. Дашић, *Одређивање потребних протока низводно од брана и речних водозахвата*, *Vodoprivreda*, 43 (2011), 252–254, pp. 151–164.
- [5] SISTEM-MNE, *Monitoring ekološko prihvatljivog protoka na malim hidrocentralama*, Podgorica, 2015, публикација доступна на <http://www.greenhome.co.me>
- [6] EPRI, „Fish Friendly“ *Hydropower Turbine Development and Deployment: Alden Turbine Preliminary Engineering and Model Testing*, Technical report 1019890, October 2011, публикација доступна на <https://www.osti.gov/servlets/purl/1050066>
- [7] Deng, Z. D.; Duncan, J. P.; Arnold, J. L.; Fu, T.; Martinez, J. J.; Lu, J.; Titzler, P. S.; Zhou, D.; Mueller, P. P. *Evaluation of Boundary Dam spillway using an autonomous sensor fish device*. *J. Hydro-Environ. Res.* 2016, 14, 85–92.
- [8] Г. С. Киселев, *Автоматическое регулирование мощности гидроэлектро-станций по водотоку*, Энергия, Москва, 1973.
- [9] АНЕС-ИИТР, *3.4 E&M Works – Selection of Control, Automation, Protection and Monitoring System*, standard/manual/guideline with support from Ministry of New and Renewable Energy, Roorkee, July 2012.
- [10] <https://ceop.apr.gov.rs/eregistrationportal/public/home>

Ivan Božić and Aleksandar Petković

IMPACT OF PARTICULAR TECHNICAL SOLUTIONS ONTO ENERGY AND ECOLOGY ISSUES OF SMALL HYDROPOWER PLANTS

S u m m a r y

Aims to be achieved by small hydropower plants (SHPP) nowadays do not significantly differ from the goals and roles of SHPP ever before. Achieving of such goals assumes finding compromise solutions that are to be in line with state-of-the-art science and technology, with fulfillment of energy and ecologic constraints attributable to various types of SHPPs. From the ecological stand-point, the primary objective is to enable undisturbed release of ecologic flow towards the riverbed downstream of the weir under any hydro-meteorological circumstances, whereas from the energy stand-point, the tendency is to utilize available water flow through SHPP power-generating line as much as possible. In most circumstances, these targets are contradictory, because fulfillment of one binds constraints onto implementation of the other. Therefore, proper defining of hydro-technical functions of all the technological parts of SHPPs, especially weirs and water intakes, is of the utmost importance during the campaigns of SHPP designing and implementation. The entire variety of hydro-technical functions and ecological requirements is to be tailor-made for each particular SHPP, whereas their implementation is to be provided by state-of-the-art solutions of hydraulic waterways and hydro-mechanical equipment. Such calibrated spillways and specifically embraced hydro-mechanical equipment allow for proper distribution of water for the energy-generation purposes. The paper presents one case-study of SHPP, for which combined implementation of energy and ecological issues are achieved successfully.

Keywords: small hydropower plant, technical solutions, hydro-technics, hydro-mechanical equipment