



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

КОНЦЕПТ ИЗГРАДЊЕ МХЕ У СВЕТЛУ КОНФЛИКТНИХ ИНТЕРЕСА И СИНЕРГИЈСКИХ РЕШЕЊА

СВЕТЛАНА СТЕВОВИЋ*

С а ж е т а к. – Концепт изградње малих хидроелектрана (МХЕ) је у овом раду анализиран почев од традиционалног начина складног коришћења хидропотенцијала кроз изградњу воденица, до актуелних конфликтних градњи МХЕ и савремених метода вештачке интелигенције за избор одрживих оптималних синергијских решења хидроенергетског коришћења. Потенцијал малих водотокова и изградња воденица у Србији су још од Немањића представљали фокус интересовања. Воденица у селу је одувек била симбол развоја и напретка. Данас, са дефинисаним императивом одрживог развоја мале хидроелектране (МХЕ), као савремени наследник некадашњих воденица, представљају један од могућих начина коришћења обновљивих извора енергије (ОИЕ) са најмањом емисијом гасова стаклене баште, ако се посматра комплетан животни циклус. Скорија дешавања негативне праксе и занемаривање значаја очувања квалитета животне средине су мотив за истраживање спроведено у овом раду. Предмет истраживања је изналажење адекватних научних метода за постизање синергијских решења. Циљ је холистичко сагледавање проблематике конфликтних интереса, квантификовање и рангирање одређених негативних утицаја на животну средину и тражење компромисних одрживих решења, са што је могуће мање поремећаја у животној средини. Добијање дозволе за изградњу МХЕ, у складу са законом нужно прати израда и усвајање Студије утицаја на животну средину. Студија се рецензује код надлежних органа, а иде и на јавну расправу и усвајање од стране заинтересоване локалне заједнице и шире јавности. Одбацивање урађене студије, а последично и пројекта на јавној расправи, независно од тога да ли је инвестиција приватна или друштвена, резултује обезвређивањем претходно уложених финансијских средстава у пројекат. Истовремено, ако се Студија усвоји и пројекат добије сагласност и крене у извођење, поставља се питање, да ли ће се у пракси поштовати предвиђени гарантовани еколошки проток и прописане мере заштите животне средине, какав је мониторинг и санкције за прекршаје. Циљ је да се ресурсима управља ефикасно и одрживо, да би их могле користити и будуће генерације. Да би се избегла било каква злоупотреба од

* Проф. др Светлана Стевовић, научни саветник за ОИЕ у Иновационом центру Машинског факултета у Београду, Краљице Марије 16, Београд, Србија

стране различитих интересних група, потребно је на самом почетку избора оптималног концепта изградње укључити све релевантне субјекте у процес доношења одлуке, квантификовати све циљне функције, дефинисати све потенцијалне утицаје, све услове и ограничења, изрангирати критеријуме по степену важности и проблем сагледати дугорочно и свеобухватно. Да би МХЕ повратиле значај и улогу коју су имале пре 100 година и као што су вековима уназад имале воденице, потребно је у процесу одлучивања одговарајући значај дати локалној заједници. У овом раду се за избор оптималног концепта изградње МХЕ, да ли ће да буде вишенаменско, акумулационо, проточно или деривационо постројење, предлаже методологија уз уважавање свих конфликтних интереса и тражење синергијских компромисних решења, применом вишекритеријумске оптимизације, фази логике и експертних система. Дају се и примери позитивне и негативне праксе из области хидроенергетике у Србији и свету.

Кључне речи: МХЕ, животна средина, методологија, компромис, холистички оптимум, синергија

УВОД

Данас, када принцип минимума енергије постаје цивилизацијска парадигма, коришћење потенцијала малих водотока изградњом малих хидроелектрана спада у домен коришћења обновљивих извора енергије и у функцији је одрживог развоја. Тема у овом раду је истраживање синергијских решења коришћења хидропотенцијала, анализирано кроз традицију, време и простор и у функцији данас сукобљених многобројних интереса. Дају се и актуелни примери светских искустава и кроз историју.

Обновљиви извори енергије, чија имплементација је императив савременог доба и обавеза по Кјото протоколу, Париском споразуму и другим до сада потписаним међудржавним обавезујућим уговорима, су оно што је Србија примењивала још од средњег века. За коришћење хидропотенцијала, енергије ветра, биомасе и геотермалних извора, постојали су развијени хидролошки, геолошки, хидрогеолошки, топографски и педолошки природни услови и предиспозиције, као и квалитет људских ресурса у смислу техничко технолошке подршке, знања, вештина и спремности за усвајањем и увођењем иновативности.

Повећање коришћења расположивог потенцијала обновљивих извора у Србији од само 10% (без дрвне биомасе), годишње би за 30 милиона долара смањило годишње трошкове увоза других енергената. У то нису урачунати финансијски ефекти ангажовања домаће индустрије и радне снаге, па и потпуније заштите животне средине. Обновљиви извори енергије добијају на значају и због све већег глобалног загревања, као последице повећане емисије гасова стаклене баште и климатских промена.

Србија је одувек, са развијеном хидрографском мрежом, рационално, усклађено са тадашњим степеном технолошких иновација, сврсисходно користила хидропотенцијал и у ту сврху имала изграђене бројне конструкције на водотоцима. Велики визионар и архитекта 20. века Ле Корбузије (Le Corbusier) је рекао: *Традиција је стирела чији је врх усмерен према будућности* [1]. Зато истраживање у овом раду креће од традиције коришћења хидропотенцијала.

У почетном делу текста ће анализе бити усмерене на воденице, које су еклатантан представник анонимне, традиционалне, или вернакуларне архитектуре у Србији и као један од првих објеката у историји човечанства, који користи обновљиве изворе енергије, тј. потенцијал малих и великих водотока. Ови објекти, осим што представљају материјалну тековину прошлости, чувају и део обнове културе српског народа.

Воденица је један од најважнијих цивилизацијских проналазака. У готово неизмењеном облику, у употреби је већ више од 2000 година. Она је грађевина чија је функција превазиђена, али њена морфолошка и типолошка својства могу бити очувана и ревитализована кроз реконструкцију у МХЕ.

Потреба да се поновним покретањем, тј. уређењем старих воденица приступи интензивнијем коришћењу малих водотока, потока и речица, покреће бројна питања о могућностима коришћења старих воденица за производњу електричне енергије. Ако би се старе воденице реконструисале и оспособиле за рад, оне би могле добити нову функцију.

Однос према реконструкцији и ревитализацији обухвата сложени систем анализе, вредновања и практичних захвата, од којих ниједан није значајнији од осталих. Истраживање и прикупљање материјала о воденицама као грађевинама обухвата анализе које треба да омогуће да се јасно сагледају воденице као тип објекта, онако како је то било у прошлости, како је данас и које су могућности у будућности, у складу са захтевима одрживог развоја, у смислу изградње малих хидроелектрана.

ВОДЕНИЦЕ И МХЕ

Прво коришћење хидропотенцијала на тлу Србије

У Србији су откривене воденице и млинско камење које припада култури Лепенског Вира, која датира из 4700. године пре н. е. [2]. Традиција подизања воденица код српског народа је веома дуга и богата. Још у средњовековној Србији, постојале су воденице за млевење жита. Воденице су тада поседовали владоци, властела и цркве. Наши средњовековни

владари поклањали су манастирима многа села, а са њима и воденице. За ове воденице су постојали, у законима, особити правни прописи. Воденице се у истом контексту помињу у повељама краља Драгутина, краља Милутина, краља Стефана Дечанског, као и цара Душана. Колико су оне биле уносне и колико су значиле за свога власника, може се оценити по томе што је такса за службено уступање воденица неком властелину износила исто толико, колико и за уступање једног читавог села – 3 перпера (Душанов законик, члан 108) [3].

Воденице се помињу и после распада државе Немањића. Када су Турци завладали Србијом, они су као и све друго, присвојили и све воденице. При крају турског феудалног доба, воденице су такође представљале рентабилна предузећа, и по правилу су се налазиле у поседу имућних људи. Власници воденица пре ослобођења били су Турци – спахије као и богати варошани. После устанка, турске воденице подељене су углавном међу народним старешинама. Тек један део тих воденица, мањи и лошијег квалитета, припао је удруженим сељацима, али опет угледнијим и економски јачим сељацима. Прота Матеја Ненадовић о томе пише у својим *Мемоарима* [4].

Према попису воденица у повељама види се да су оне у наше средњовековно доба биле многобројне, најмногобројније у области где је био центар српске државе, у данашњој Јужној Србији. Аутор Боривоје Дробњаковић напомиње да су воденице, које је подизало само становништво, биле својина читавог једног села, или његовог дела. Те су се заједнице у воденицама одржале код нашег народа до XX века [5]. О воденицама у турско доба има мало података, али и када се помињу, то је у законским одредбама, или опет као средства за приход. Када су Турци 1813. поново загосподарили Србијом, један од првих потеза им је био да поново постану власници воденица.

Војводина је у 16, 17. и 18. веку била под густом мрежом воденица [6]. У актима из времена кнеза Милоша помиње се по нека воденица [7]. После II српског устанка, кнез Милош је неограничено располагао воденицама и постао власник већег броја најбољих воденица [8]. Воденице које су Турци продавали или уступали, морале су прво њему бити понуђене. Када он није био заинтересован да их прими, наређивао би коме да припадну. Додељивао је и одобрења за подизање нових воденица. Обичан човек, који није имао никакву старешинску функцију, а био је имућан, могао је имати само једну воденицу. Сељаци су се удруживали, некада је и читаво село имало своју ортачку воденицу. Цене воденица биле су прилично високе, али нису биле једнаке и зависиле су од тога од каквог је материјала и на који начин је зидана воденица, од броја њених просторија и сл. Право на један део воденичног камена могао се добити за 40 дуката [9].

Воденице су одмах по ослобађању припале народним старешинама, које су углавном, у то доба једино и располагале и влашћу и новчаним средствима, па су тако успевали да дођу не само до земље и спахијских имања, већ и свега остало што је доносило приходе, а воденице су, у том погледу имале значајну улогу. Нестанком народних старешина из Устанка, воденице су прелазиле у руке имућних трговачких и чиновничких породица, које су их постепено претварале у модерне и рентабилне млинове, што ће бити почетак млинске индустрије.

У *Гласнику српској ученој друшћива*, од пре 140 година, који се чува у Историјском архиву у Јагодини, извесни инжењерски официр А. Алексић, задужен да истражи могућности пловидбе Великом Моравом, пише да препреку пловидби „чине многобројне воденице витларе“. Алексић је записао далеке 1869. године: „Од Сталаћа до Ђуприје нема воденица на Морави, а даље до Кулича их има 96“. Према његовом извештају, сељаци су тада правили воденице „где су хтели и често их премештали, и све су биле са једним каменом“.

Према попису из 1753/54. године, Сремски Карловци су имали 14 воденица, од чега 6 на Дунаву [10]. Године 1720. код Омољице је забележено 4 воденице на Дунаву, које су млеле још од 1880. [11]. Биле су груписане на појединим местима и изгледале као мала пловећа насеља. Имале су свој живот, који је био праћен одређеним обичајима.

Иако потиснуте од парних млинова после I светског рата, „дунавке“ су наставиле свој живот, мада због мале економичности у врло малом броју. Последња је млела житарице до 60-тих година прошлог века, код Богојева. То је била Тамашкова воденица, једина преостала од већег броја воденица (у XIX веку их је било 32) код Богојева [12], која је после поплаве 1965. извучена на обалу. Стављена је под заштиту 1977. Од њених преосталих делова изгубио се сваки траг. Тако се данас о „дунавкама“ говори само на основу литературе.

Воденице у Банату су представљале важан привредни објекат [13]. О пореклу и времену настанка воденица у Банату не може се говорити са сигурношћу, зна се само да је најстарији податак из 1573. када је велики везир Мехмед Соколовић подигао у вароши Бечкерек у реци Беги, млин од 4 камена, а на Тамишу у вароши Рекашу млин са два камена [14]. Дакле, почеци датирају из XVI века, од тада се њихов број непрестано повећавао, да би достигао највећи успон половином XIX века. Највише их је било у јужном Банату, што су биле условиле повољне хидрографске прилике. Северни Банат није имао повољних текућих вода сем Тисе, где воденица није било јер се млело у сувачама и ветрењачама. Од 80-тих година XIX века, њихов број је почео да опада, неке су се одржале до краја II светског рата и врло мали број после, али и оне које су опстале, изгубиле су привредни значај

који су некада имале. За време Милошеве владавине, Србија је имала око 200 воденица [15]. Од тог броја 16 је било у Ваљеву.

Прво коришћење хидројенцијала у свету

Вековима су воденице играле значајну улогу код многих народа. У либијском делу Сахаре је откривен, млин сасвим добро обрађен, старости 14 000 година [16]. Овакав модел млина се дуго задржао у непромењеном облику. Среће се и код првих великих цивилизација, у речним долинама Блиског и Далеког истока.

У древној Месопотамији, системи за наводњавање су названи према вавилонским записима, али без детаља о њиховој конструкцији, наговештавајући да је водена снага била коришћена ради наводњавања. У Кини, у пустињи Гоби, пронађен је велики број углачаног млинског камења, који датира из 4000. године пре н. е. [17]. Воденица, или млин на води (*mola aquaria*, *hidromula*, *hudraletes*), била је позната у I веку пре н. е. [18]. Најстарија воденица се помиње у дворцу Митридата.

Најранији јасан доказ о употреби водене снаге за покретање воденица, датира из древног грчко-римског света. М. Ј. Т. Lewis, британски историчар технологије, показао је да делови *Philo of Byzantium* механичких расправа који су описивали водене тачкове, а који су раније сматрани за арапске интерполације, оригинално датирају из древне Грчке, 3. век п. н. е. [19]. Према античком миту, воденицу је пронашао Милет, митски краљ Лаконије, рођен од оца Лелега (Посејдоновог сина) и нимфе Клеохарије [20].

Грчки аутор Страбо, поменуо је у својој Географији, рану воденицу, лоцирану близу палате краља Митрадатес VI Еупатор (120–63 п. н. е.) у Кабири. У првом веку наше ере, грчки епиграматист Антипатер из Солуна је направио прву јасну разлику воденог тачка који је био слављен због његове употребе за млевење жита. Треба напоменути да је ова воденица већ припадала напредном вертикалном типу по карактеристикама опреме [21] и била претеча мале хидроелектране са вертикалном осовином турбине.

У III веку н. е. подигнута је прва воденица у Француској, у граду Арлу. Била је то права фабрика у сваком погледу: вода је падала са висине од 20 метара и покретала је 8 воденичних каменова, пречника 2,2 m и висине 70 cm. Брашно се млело у 16 различитих просторија (то је као хидроелектрана са 16 агрегата). Капацитет воденице је био 350 kg брашна на сат, што је био феномен тог времена [22]. После подизања воденице код Арла, воденице су се почеле ширити на све стране. Ова врста објеката је постала врло распрострањена у IV и V веку [23]. Из тог времена има неколико помена о млиновима на води [24].

У Риму је 448. године основан први воденични еснаф. У VI веку у Немачкој су се појавиле воденице на реци Мозелу. У Енглеској их је било у IX веку, у Скандинавским земљама у XII веку.

Почетком 20. века, приступачност јефтине електричне енергије учинила је да су воденице биле запостављене у развијеним земљама, мада су неке мање руралне воденице наставиле да раде и до шездесетих година прошлог века.

У неким земљама у развоју, воденице се још увек широко примењују за обраду жита. На пример, постоји намера да се обезбеди 25000 воденица за рад у Непалу и 200000 у Индији. Многе од њих су још увек у традиционалном стилу, али неке су дограђене. Замењени су им дрвени делови са добро обликованим металом, а све ради повећања ефикасности. Centre for Rural Technology, Непал доградио је 2400 воденица у периоду 2003–2007.

Воденице у Србији као њрепеча одрживе еколошке грађње

Ради увећања брзине воде, воденичари су правили спрудове, бране од коља и прућа, а преко целе ширине реке на побијене трупце наслањали дрвене плетњаче. Тиме су правили мале акумулационе бране и усмеравали воду да јаче тече испод витла, што је убрзавало мељаву и повећавало данас актуелни термин – енергетску ефикасност објекта, врло добро познат Србима у пракси кроз историју.

Воденица као објекат је грађена од природних материјала, споља и изнутра скромна, једноставна, без сложенијих просторних и конструктивних решења, апсолутно подређена функцији. Грађење воденица се не разликује од подизања било које друге зграде у селу. Чак и подизање воденица на дрвене сохе, што је веома често, није ништа посебно, јер се већи део помоћних сеоских објеката гради без темеља, па је поступак уобичајен. Тако, на већим рекама већина воденица је подигнута на сохама. Ако су то већи објекти, онда су подигнути на читавим малим шумама стубова.

Тесну и нераздвојиву везу еколошке и културне одрживости најбоље илуструје сама историја. Принципи еколошки одговорног грађевинарства у потпуности се базирају на поукама традиционалне и вернакуларне архитектуре. Истовремено, традиционална и вернакуларна архитектура су ризнице колективне меморије, ослонци континуитета сваког народа. Тек је неоправдани оптимизам двадесетог века покидао органске споне између вековних напора за физичким опстанком и најфинијих нивоа надградње. Еколошко и културно су били у прошлости, а и у будућности требало би да буду нераздвојиви полови одрживог развоја.

Заједно са другим формама традиционалне креативности, брвнара и воденица представљају културно наслеђе српске нације, а тиме и европске

културе у целини [11]. Где год је то било могуће, постављале су се својим главним лицем према југу или југоистоку, због сунца.

Ово је доказ да су се у Србији одувек примењивали принципи одрживе градње. Иако тада термини одрживи развој и одржива градња нису били дефинисани, суштински исправан приступ изградњи и примени обновљиве, чисте, хидроенергије је био примењен у пракси мада нису постојали информациони системи и вештачка интелигенција, проверена знања и свест о оправданости коришћења обновљиве енергије вековима су се преносила и опстајала.

Развој и јавни облици воденица у Србији у корелацији са МХЕ

У разним крајевима, воденица је носила различите називе, али без обзира на назив, конструкција је свуда била иста. Вероватно су најједноставније воденице *војочаре*, које су називане још и *рекавице*. Воденица са једним колом-точком, с перима која подсећају на кашике, називана је *кашичара* или *жличара*, жличарица, жличарка или лопатара. Ако им је левак био остављен под коло, називане су *подмакуше* или *ојакуше*. Један од назива је био и *кладарица*. Постојали су и други називи за воденице, или врсте воденица нпр. *воденица вијањ*, *вијо*, *водењача*, *млин*, *мелница*, *млиница*, *мучница*, ... Према механизму који се користио, воденице су се делиле на:

- воденице са вертикалном осовином (претеча Франсис турбине),
- са хоризонталном осовином (претеча Пелтон турбине) и
- као пловни објекти (претеча цевне турбине).

Према начину градње помињу се да су постојале: *ајшашица* (воденица на точку), *бадњара* (воденица поточара на бадањ), *времењаш* (воденица на времењаку, тј. повременом потоку), *далай* (мала воденица од дасака намештена на великом чамцу који је привезан за обалу), *дивјак* (воденица са природним, истесаним каменом), *жљебара* (воденица поточара где вода на воденичко коло иде жљебом) – претеча деривационе МХЕ, *керейњак* (воденица на керепу, сплаву), *кладуша* (која стоји на кладама), *комјашица* (воденица на сплаву, кампи) [12], [13].

Воденице и мале хидроелектране у Србији

У историји Србије је било и позитивних примера очувања традиционалних вредности, кроз реконструкцију старе воденице и њену адаптацију у мале хидроелектране. На месту старе воденице, на имању Абдурахман аге, која је касније припадала проти Ненадовићу, изграђена је електрична централа и Ваљево је прво у Србији, после Београда добило електрично осветљење [23].

Старе воденице би уз адекватан приступ, реконструкцију и адаптацију могле поново да постану „живе“, тј. да им се удахне савременост и целисходност. Као мале хидроелектране, представљале би одрживо градитељско решење примене обновљивих извора енергије и пут у будућност. Два важна аспекта представљају императив очувања оваквих објеката у постојећим околностима, тако да њена вредност дефинитивно треба да буде ревалоризована, не само као споменик културе у новом времену, већ и као путоказ како преко традиције доћи до савремених решења избора оптималног концепта коришћења обновљивих извора енергије на малим хидроелектранама.

Из аспекта повећања енергетске ефикасности оваквих објеката, у најфундаменталнијем значењу те речи, као и могућности коришћења потенцијала малих водотока, јавља се потреба да се поновним покретањем, тј. уређењем старих воденица, приступи интензивнијем коришћењу потока и речица, са циљем да се старе воденице ревитализују и евентуално реконструишу у МХЕ, а да им се, у исто време, врати њихова етнографска вредност. Истраживања локација старих воденица су показала, да су то места погодна за коришћење обновљивог ресурса, хидропотенцијала и да је, поред стандардних техноекономских метода, праћењем вековима сакупљаних народних искустава, такође могуће доћи до технички оптималног избора места за потенцијалну МХЕ. Воденице су дефинитивно доказ о могућности коришћења обновљивог ресурса водотока и савршено складно уклопљеног техничког решења у животну средину [11].

Воденице као претеча и показатељ повољности локација за МХЕ

Принципи градње, функционисања, као и избор локација старих воденица дефинитивно су у складу са принципима одрживог развоја. Употреба природних материјала из најближе околине, дефинисање концепта коришћења потенцијала малих водотока (диспозициона решења), као и начин димензионисања оптималне снаге, у односу на средњи вишегодишњи доток, представљају енергетски ефикасно коришћење обновљивог ресурса водотока и бригу о квалитету животне средине, истовремено.

Хидролошка мрежа мерних станица једне земље, ретко покрива удаљене мале водотоке, који се у том смислу најчешће називају неистражени водотоци. Сваки kWh произведен из МХЕ је kWh чисте енергије и врло је драгоцен у контексту смањења глобалних загревања и ефеката стаклене баште, па су у том контексту и профили старих воденица значајан показатељ исправности избора локације за изградњу МХЕ.

Истраживања локација старих воденица показала су да су оне увек грађене на потоцима који имају сталност и трајност протицаја и у најтоплијим деловима године не пресушују, као и да су то геолошки, топографски и у односу

на велике воде, дефинитивно локације које би и данашњи инжењери, потковани знањима из ГИС технологија, екологије, хидрогеологије, статике конструкција и машинства, енергетике и економије, изабрали као оптималну локацију за МХЕ. Праћењем вековима сакупљаних народних искустава, такође је могуће доћи до технички оптималног избора профила за потенцијалну МХЕ.

Однос према реконструкцији и ревитализацији обухвата сложени систем анализе, вредновања и практичних захвата, од којих ниједан није значајнији од осталих.

Као потврда напред изнетог става, да се преко локација старих воденица може доћи до оптималног диспозиционог решења за малу хидроелектрану, наводи се пример из прошлости: На месту старе воденице изграђена је електрична централа у Ваљеву.

Старе воденице би уз адекватан приступ – реконструкцију и адаптацију могле поново да постану „живе“, тј. да им се удахне савременост и целисходност. Као мале, мини, или микро хидроелектране, представљале би оптималан избор обновљивих извора енергије, на путу ка одрживом развоју.

На слици 1 приказане су старе воденице у сливу Млаве, за које је закључено, након обиласка терена, да их је могуће, уз релативно мала инвестициона улагања, реконструисати у мале хидроелектране и прикључити на мрежу. На слици 2 је рибњак уз воденицу – МХЕ Крупајско врело у заштићеном подручју.



Слика 1. Воденице у сливу Млаве



Слика 2. Рибњак узводно од воденице – МХЕ

ПРВЕ МХЕ У СРБИЈИ И ПЕРСПЕКТИВНОСТ

Хидроцентрала на реци Ђетињи у Ужицу направљена је 1900. године и данас је један од симбола овог града. То је прва електрична централа подигнута по Теслиним принципима полифазних струја у Србији и то свега пет година после подизања исте такве на реци Нијагари у Америци.

Пројекат трансформације воденице у хидроелектрану, смештену испод ужичког Старог града, осмислио је Ђорђе Станојевић, професор Велике школе у Београду, водећи стручњак међу тадашњим српским физичарима, да би помогао оснивачима Прве ужичке ткачнице којој је недостајао јефтин и сигуран енергетски извор. О томе колики је значај тада придаван ужичкој централа, говори то што је камен темељац за њу поставио лично краљ Србије Александар Обреновић. Њена градња била је тешка и скупа, а машине су набављене у фирми Simens Halske у Бечу. Када је централа на Илиндан 1900. завршена био је то празник за житеље мале вароши и почетак једног новог доба, које ће бити обележено свеопштом применом електричне енергије.

Пуних седам деценија електрана на Ђетињи производила је струју и њеним благодетима даровала Ужичане. Када је прављена железничка пруга Београд–Бар затрпан је њен јаз и тада је престало њено коришћење. Нове технологије потиснуле су у други план вредну старицу са Ђетиње. За прославу стогодишњице од њене изградње стара централа је потпуно обновљена и на Илиндан 2000. године опет оспособљена за рад. Старе Сименсове машине

поново производе струју, а производња у овој електрани довољна је да ради целокупна јавна расвета у Ужицу. Истовремено, овде је сада Музеј технике, који ће, како очекују Ужичани, бити права атракција за многе посетиоце.

МХЕ на реци Ђетињи није најстарија хидроелектрана у Србији: три месеца пре ове, пуштена је у рад хидроцентрала на реци Градац у Ваљевоу, али она је производила једносмерну струју. Међу првима у Србији је била и мала хидроелектрана „Света Петка“, изграђена на реци Нишави, која је карактеристична по томе што ради и данас. Слични објекти постоје на још око 60 локација, али, према евиденцији Агенције за енергетску ефикасност Србије, данас ради свега десетак који су укључени у електроенергетски систем земље.

После Београда који је међу првим престоницама у Европи добио електрично осветљење, електрифицирано је Ваљево давне 1899. године са мале хидроелектране на реци Градац снаге 12 kW, са генераторима на једносмерном напону који су се убрзо показали технички неадекватним. Зато као прва индустријска хидроелектрана у Србији, у савременом смислу речи, остаје хидроелектрана на реци Ђетињи, која је изграђена 1900. године, снаге 64 kW, ради снабдевања Ужица електричном енергијом.

Хидрогенератори су били трофазне наизменичне машине, мрежа и потрошња су такође реализоване као трофазне, наизменичне, тако да се на овом примеру може говорити о почецима хидроенергетике код нас. Хидроелектрана на Вучјанки (Лесковац) изграђена је 1903. године, а 1909. граде се хидроелектрана на Нишави и хидроелектрана Гамзиград код Зајечара [24].

Позитивна актуелна пракса МХЕ у Србији

Данас стара воденица Крупајско врело функционише као воденица, а има и уграђен мини агрегат за локално снабдевање домаћинства, удаљеног 20 m. Ова МХЕ се налази у заштићеном подручју.

МХЕ Крупајско врело има, након реконструкције, просечну годишњу производњу од 125 MWh/god. Према горе напред изнетој, а у свету примењиваној методологији, вредност коју би МХЕ Крупајско врело могла да реализује на берзи, је 1250 € на нивоу године дана. Овај је износ резултат вредности 1 t неемитованог угљен-диоксида, на дан 3. марта 2009. године, која је износила 9.97 €/t неемитованог угљен-диоксида. Може се рећи да је на берзи цена 1t неемитованог угљен-диоксида пала, у односу нпр. на вредности из претходног периода, која је била 25 €/t неемитованог угљен-диоксида. За неке мале хидроелектране, код којих инсталисана снага иде до 10 MW, са незанемарљивом производњом, вредности зелених сертификата иду годишње и до 500000 €.

МХЕ Крупајско врело, имајући у виду принципе поштоване при реконструкцији и ревитализацији, задржала је сву аутентичност старе воденице. Употребљавани су материјали који се налазе у непосредној близини воденице. Њена фасада је урађена у дрвету, кров је покривен шиндром, а доњи ниво и темељи су у камену.

У доводном каналу за малу хидроелектрану, узводно од решетке, узгаја се рибља салмонидна млађ, док је одводна вада хидроелектране такође осмишљена као рибњак.

МХЕ Крупајско врело се идеално уклапа у животну средину, јер је основни критеријум, при дефинисању захвата реконструкције и ревитализације, био да се не наруши аутентичност тог културног добра, нити животна средина. Тако МХЕ Крупајско врело складно функционише у заштићеном подручју.

Критеријуми савремене теорије и праксе коришћења чисте, обновљиве хидроенергије, уочавају се у принципима градње старих воденица. Употреба природних материјала из најближе околине, коришћење потенцијала малих водотока, као и начин дефинисања оптималне снаге, у односу на средњи вишегодишњи доток, представљају принципе градње малих хидроелектрана, у духу одрживог развоја. Брига о животној средини кроз коришћење обновљивих извора енергије, мотив је за истраживања у домену анализа могућности реконструкција и ревитализација старих воденица.

Обновљиви и необновљиви извори енергије у Србији

Познато је да се извори електричне енергије деле на необновљиве и обновљиве. У енергетске објекте који користе необновљиве изворе спадају велике, скупе термоелектране које су опасни загађивачи животне средине. Обновљиви извори енергије не зависе од залиха угља (кога у Србији има за још само 50-ак година) и нафте, производе чисту енергију, практично су непотрошиви и Србија их је одувек имала, користила и на бази тог потенцијала градила објекте чисте енергије.

У Србији су одувек постојали услови за коришћење више видова обновљивих ресурса, као што су: енергија ветра, соларна енергија, биомаса, геотермални извори и снага малих водених токова. Од свих напред наведених обновљивих енергетских ресурса, у Србији је најзначајнији хидропотенцијал, који се процењује на 17.000 GWh на годишњем нивоу, од чега је до сада искоришћено 10.000 GWh на великим речним токовима, док на мале хидроелектране долази неискоришћених 1600 GWh годишње, што је енергија која је еквивалентна сагоревању 400.000 тона нафте. Уколико би се искористио комплетан хидропотенцијал малих водотока, годишње би се могло произвести 1.600 GWh електричне енергије, односно уштедети

и спречити загађење животне средине од око 400.000 тона еквивалентне сагореле нафте. Процена је да је за изградњу једне мале хидроелектране потребно у просеку око 1.000 €/kW инсталисане снаге, тако да би градња оваквих објеката могла да привуче инвестиције од скоро пола милијарде евра. Изградња МХЕ, као облика коришћења обновљивих ресурса, има важну улогу у смањењу глобалних загревања и одрживом развоју. Велики број земаља придружио се међународном споразуму о климатским променама (the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). На тај начин, земље потписнице почеле су да разматрају шта се може учинити, како би се смањило глобално загревање. Потписан је и анекс горенаведеном споразуму, тзв. Kyoto Protocol – Кјото протокол, који у себи садржи јаче и правно ваљаније мере. Споразум је ступио на снагу 16. фебруара 2005. године. Земље потписнице Кјото протокола, међу њима и Србија, обавезале су се да смање емисију гасова (изазивача ефекта стаклене баште) и да, спроводећи различите мере, достигну сопствене циљеве очувања квалитета животне средине. Србија је још од Немањића била усмерена ка обновљивим изворима енергије.

Расположиви хидропојенцијал у Србији и свету данас

Имајући у виду геоморфолошке и хидролошке услове у Србији, може се рећи да укупни расположиви водни потенцијал није занемарив. У Европи се искоришћеност водног потенцијала креће просечно око 65%, док на пример у Африци износи 1,2%. Неке Европске земље имају врло висок ниво хидроенергетског искоришћења, као на пример:

- Норвешка – 100%
- Француска и Италија – 87%
- Шпанија и Швајцарска – 86%
- Шведска – 65%.

Нажалост, у Србији и поред врло повољних природних услова, проценат технички и економски искоришћеног хидропотенцијала је релативно низак и не прелази 46%.

Хидроенергетски потенцијал у Србији [25] просторно је ограничен и лимитиран. Као обновљиви вид енергије, еколошки најприхватљивији и најјефтинији облик енергије, хидропотенцијал Србије свакако представља природан извор, тј. добро од јавног интереса и приметан економски потенцијал у развојној стратегији једне земље. Он такође одиграва важну улогу у електроенергетским билансима земље, у садашњости и будућности, која је означена великим недостатком електричне енергије у односу на пораст броја становника и императивом преласка на ОИЕ [26].

Поређења ради, довољно је да се подвуче, да нпр. у Аустрији функционише преко 4000 малих хидроелектрана и да је у краткорочном плану изградња још неколико стотина МХЕ. Државни циљ Аустрије је да се до 2030. 100% енергије производи из ОИЕ [27]. У Немачкој функционише више од 70000 МХЕ [28]. У Норвешкој се нпр. на малим хидроелектранама произведе више од 6000 GWh/god [29].

Изградњом великог броја МХЕ, свакако се не може решити проблем пораста потрошње и захтева за енергијом, али се вода може употребити вишенаменски и много ефикасније. Вода у сваком случају тече, јефтин је и обновљив ресурс, увек доступан. Поред тога, извођењем МХЕ смањује се пропорционално употреба необновљивог, еколошки много мање чистог вида ресурса, као што је нпр. фосилно гориво.

Могућности изградње малих хидроелектрана

Имајући у виду чињеницу да МХЕ користе воду, која је обновљив природни ресурс, да готово немају негативних утицаја на животну средину, да повољно утичу на развој домаће електро и машинске индустрије, целе водопривреде и мале привреде неразвијених региона, да учествују у електрификацији терена и зона удаљених од путева и главних саобраћајних траса, да доприносе уштеди у изградњи опште дистрибутивне мреже, јасно је зашто се разним мерама и у развијеним и у неразвијеним земљама покушава убрзати коришћење хидропотенцијала на малим хидроелектранама.

На пример, Норвешка влада, која има скоро 100% искоришћен хидропотенцијал, обезбеђује неповратну финансијску помоћ за изградњу малих хидроелектрана обезбеђујући и до 80% од укупних трошкова изградње. Тако велике субвенције имају свог стратешког и економског оправдања, јер се првенствено односе на мале хидроелектране, које се обично изводе ван дистрибутивне мреже, као независан енергетски објекат, намењен за снабдевање и задовољење потреба за енергијом малог броја удаљених потрошача.

У нашој земљи, захваљујући свом положају, топографским и хидролошким условима, постоје сви предуслови за изградњу малих хидроелектрана, али још увек није довољно пажње и потребних активности усмерено у ову област.

Данас се, имајући у виду број већ изведених малих хидроелектрана и потребу разматрања масовне изградње таквих објеката, могућности изградње ипак повећавају. У Србији, у домену изградње малих хидроелектрана [24], могу се спроводити следеће активности:

- реконструкција и ревитализација постојећих малих хидроелектрана,
- аутоматизација малих хидроелектрана које су у функцији,
- адаптација постојећих млинова у мале хидроелектране,
- додатна уградња нових агрегата инсталисане снаге до 10 MW, у оквиру постојећих брана и хидроелектрана, са наменом потпуног коришћења постојећег хидропотенцијала и
- изградња нових малих хидроелектрана као независних објеката, на до сада неискоришћеним локацијама.

Са циљем да се постојећи хидропотенцијал што пре претвори у искоришћени на малим хидроелектранама, у Србији треба да се ради на стандардизацији пројеката и опреме за мале хидроелектране.

Извођење типских грађевинских радова и објеката је први корак, који претходи неопходној стандардизацији електро-механичке опреме, што омогућава бржу и лакшу инсталацију аутоматског система контроле и управљања малим хидроелектранама, без посаде. У исто време, та стандардизација представља прави потез који производњу опреме за мале хидроелектране чини финансијски атрактивном и рентабилном за целокупну индустријску производњу наше земље.

Друга могућност лежи у претраживању свих напуштених објеката и млинова у којима би се у кратком временском интервалу и уз релативно ниске инвестиције и минималне грађевинске радове, могла обезбедити производња електричне енергије, врло потребне и важне за локалног потрошача. Неопходно је да се анализирају све могућности изградње и реконструкције малих хидроелектрана да би се решило питање снабдевања разних малих потрошача.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСА КОРИШЋЕЊА МАЛИХ ВОДНИХ ТОКОВА

Вода је ресурс од општег интереса и непроцењиве важности за опстанак човека и екосистема на земаљској кугли. Зато нико нема право да воде угрожава, загађује, ни присваја. Проблеми настају имајући у виду:

- Ограниченост, неравномерност и недовољност водних ресурса
- Конфликтне интересе (економију, енергију, риболов и рибогојство, водоснабдевање, наводњавање, туризам, рекреацију ...)

Главна тема овог истраживања су МХЕ и њихов утицај на животну средину, са циљем одређивања синергијских решења као компромиса између низа конфликтних интереса.

МХЕ и мале акумулације у односу на велике, узрокују минорне и занемарљиве поремећаје у животној средини. Мале хидроелектране се користе за производњу електричне енергије, а могу да буду уграђене и у системима за водоснабдевање насеља и индустрије или наводњавање.

МХЕ учествују у изравнавањима природних нерегулисаних вода и спречавању и смањењу ерозије, чиме успоравају засипање великих акумулација, продужавају им век трајања, повећавају употребљивост и профитабилност. Својим постојањем и производњом помажу развој пољопривреде и мале привреде (дрвна индустрија, каменоломи, млинови), као и сточарства, рибогојства, спорта, рекреације и туризма. Обезбеђују гарантовани биолошки минимум и смањују миграције становништва из неразвијених подручја у густо насељене индустријске зоне. У Србији је инсталисано много мање МХЕ у односу на природне могућности.

Бројни економски чиниоци, као и формално правни и законски оквир у једној земљи, значајно утичу на изградњу и развој производње електричне енергије на малим хидроелектранама. Тако у Србији, одмах после Другог светског рата, практично није било изградње малих хидроелектрана, јер је цена електричне енергије била екстремно ниска. У исто време и ложуље и мазут за термоелектране су били јефтине, што је изградњу малих хидроелектрана чинило још непрофитабилнијим. И не само то, већина изведених малих хидроелектрана престајала је са радом. Све ово делимично је било узроковано недостатком законске подршке.

Пре Другог светског рата у Србији је било изведено око 60 углавном проточних малих хидроелектрана, инсталисане снаге мање од 10 MW. Временом су се променили глобални услови. Нафтни деривати су поскупели и свест о ограниченим резервама угља за термоелектране, вратила је статус и великим и малим хидроелектранама, као виду чисте, обновљене енергије, а посебно малим хидроелектранама због минималног утицаја на животну средину. Брдско-планински предели, као и бројни потоци и речице представљају повољне природне услове за изградњу малих хидроелектрана у Србији.

Економско вредновање и ојшће карактеристике МХЕ

За хидроелектране се генерално може рећи да користе воду која је обновљиви вид енергије. Вода употребљена за производњу електричне енергије остаје и даље употребљива и на располагању за остале кориснике, у разним водопривредним гранама.

Мале хидроелектране су у апсолутној предности у односу на остале видове објеката за производњу електричне енергије, укључујући и хидроелектране инсталисаних снага већих од 10 MW. Хармонично се уклапају у околину, евентуално изазивајући практично занемарљиве поремећаје животне

средине. То су обично конструкције и објекти мањих габарита, најчешће са малим резервоарима, изазивајући тако мања или никаква плављења околног подручја. Некада нема уопште акумулације и цео процес скретања и захватања воде се одвија у кориту реке, или су у питању проточне турбине.

Коришћење водног потенцијала представља најважнију алтернативу у односу на енергију добијену из фосилних горива, јер вода је обновљиви ресурс, она протиче и њен је потенцијал неповратно изгубљен у периоду у коме нисмо ништа изградили. Она је непресушан извор и са аспекта утицаја на животну средину представља најчистији начин коришћења. Зато се енергија добијена из воде и назива чиста енергија. У случају коришћења хидропотенцијала штедимемо коначне резерве угља и нафте, као и финансијска средства за увоз скупог течног горива за термоелектране.

Један од битних чинилаца рентабилности малих хидроелектрана је кратак период изградње. Он се углавном односи на извођење грађевинских радова. Коштање материјала, радне снаге и опреме стално се мења. Највећи ефекат кратког периода изградње одражава се кроз почетак производње, односно кратак период повраћаја уложеног капитала.

У последње време врло је битан фактор да се изградњом малих хидроелектрана повећава коришћење јефтине и обновљиве – чисте енергије, чиме се смањује потреба за изградњом термоелектрана, које су велики загађивачи. Оне угрожавају атмосферу, хидросферу и литосферу.

Просечна цена производње 1 KWh, односно инсталације 1 KW (ако се изражавамо преко снаге), обично је виша код малих хидроелектрана, него код великих. Али, ако се мале хидроелектране третирају као вишенаменска постројења, може се очекивати да инвестиције по јединици инсталације постану ниже код малих, него код великих хидроелектрана. Снижење цене малих хидроелектрана може се тражити и у различитим видовима субвенција.

Обим грађевинских радова значајно утиче на цену изградње малих хидроелектрана, а тиме и на цену произведене електричне енергије. Зато, посебно у почетку, локације за изградњу малих хидроелектрана треба тражити на местима где су грађевински радови изведени у целости или делимично. У Србији има таквих локација. На пример, само у сливном подручју реке Млаве има низ млинова, који се могу реорганизовати и доградити тако да послуже као мале хидроелектране.

Адаптација старих постојећих млинова и напуштених локација малих хидроелектрана, захваљујући постојању дела потребних грађевинских објеката, значајно редукује цену инсталисаног kW.

Грађевински и хидротехнички објекти, односно делови млинова, обично су у добром стању и уз мале реконструкције могу се прилагодити да буду корисне и адекватне конструкције за мале хидроелектране. За обнову и реконструкцију су такође интересантне напуштене мале хидроелек-

тране из периода пре Другог светског рата. Оне се уз нешто додатних радова, модификација и уз инсталацију одговарајуће опреме, могу брзо трансформисати у мале хидроелектране, које би производиле електричну енергију. Неке од напуштених малих хидроелектрана, код којих објекат није значајно разрушен, би се уз ревитализацију опреме и реконструкцију, могле уз ниске инвестиције, поново увести у производњу.

Извођење малих хидроелектрана у непосредној близини потрошача са ексклузивном наменом задовољења потреба за електричном енергијом баш тих потрошача, чини евидентно ниже трошкове производње јединичног kWh електричне енергије, него што би они били код великих хидроелектрана, где постоје и трошкови изградње далековода, као и губици енергије при транспорту. Предност малих хидроелектрана, у поређењу са великим, лежи у једноставном извођењу и коришћењу, ниским трошковима одржавања, немању потребе за сталним особљем на објекту, као и могућности функционисања како у друштвеном, тако и у приватном сектору.

Улога малих хидроелектрана и малих акумулација

(а) Вишенаменско коришћење хидропотенцијала малих водених токова представља оптималан концепт изградње, рентабилности и коришћења МХЕ:

- Главна намена МХЕ је производња електричне енергије. Она може да буде намењена локалним потрошачима, као што су стругаре, дрвно-индустријски објекти, каменоломи и слично.
- Коришћење МХЕ и малих резервоара могло би да обезбеди врло јефтину електричну енергију, када би се уважиле, квантификовале и вредновале све предности МХЕ. Сваки kWh произведене електричне енергије у малим хидроелектранама, представља уштеду 1,6 kg до 2,2 kg угља (зависно од врсте и квалитета) или 0,25 kg мазута [24].

(б) Мали резервоари, тј. акумулације, поред тога што акумулишу воду потребну за малу хидроелектрану, могу се користити и за наводњавање околних пољопривредних површина. Посебно је важно да су они најчешће изграђени у неразвијеним брдско-планинским крајевима, где је вода врло потребна за развој пољопривреде (земљорадње и сточарства). То има индиректан, али врло позитиван утицај на општи привредни развој тих неразвијених региона. У исто време смањује се миграција становништва у високоразвијене, пренасељене зоне.

(в) Ако уз малу хидроелектрану постоји оформљена и једна мања акумулација, она такође може да се користи за снабдевање становништва и локалне индустрије водом, чиме се побољшава стандард локалног становништва, раст пољопривреде и сходно томе, смањују се миграције из села у град.

(г) Мале акумулације обезбеђују и задржавање поплавног таласа, чиме се штите материјална добра и људски животи који могу бити угрожени поплавама. Изградња МХЕ у оквиру регулације и управљања потенцијалом водних токова, има посебан значај када је у питању изградња објеката за регулацију вода у једном сливном подручју.

(д) Мале акумулације имају свој допринос и учешће у заштити земљишта од ерозије. Исто тако, оне спречавају засипање постојећих, низводних, већих акумулација и тиме продужавају њихов век трајања.

(ђ) Мале акумулације и МХЕ обезбеђују воду за обогаћивање малих протицаја у сушном периоду године, низводно од бране. Обезбеђујући гарантовани еколошки протицај, оне учествују у регулацији водног режима и тиме значајно подижу квалитет животне средине.

(е) Рибогојство и производња рибље млађи је врло заступљено и погодно у малим рекама, потоцима, или малим акумулацијама, где је вода много чистија него у низводном делу реке. Интересантан је пример старе воденице на Крупајском врелу, претворене у МХЕ, са рибњаком у узводној акумулацији.

(ж) Мале акумулације доприносе развоју туризма, спорта и рекреације. У последње време се људи, бежећи од градске гужве и загађености пренасељених градова, све више враћају природи и сеоском туризму, који је у експанзији.

ПРИМЕРИ НЕГАТИВНЕ ПРАКСЕ И ТРАЖЕЊЕ МЕТОДОЛОШКИХ РЕШЕЊА

Мале хидроелектране са најсавременијим стандардизованим решењима за извођење и опремање, врло се брзо и лако конструишу, функционишу и одржавају. Са стандардном електромеханичком опремом и типизираним грађевинским радовима, мале хидроелектране захтевају минималне техничке и организационе услове за управљање, имају смањене цене коштања извођења и одржавања, а самим тим и брз повраћај инвестираног капитала. Данас мале хидроелектране имају своје значајно учешће у стратегији повећања производње електричне енергије из ОИЕ, у контексту смањења глобалних загревања и хуманитарне политике „Energy for all“ (Енергија за све) [30].

Изградња малих хидроелектрана се у Србији ослања на природно богатство у планинским потоцима. Велику улогу у убрзању развоја и давању припадајућег значаја малим хидроелектранама има позитивна правна регулатива и стимулишући облици финансирања. Исти ефекат имала би и производња електромеханичке и хидромашинске опреме у земљи. Постојање што већег броја малих хидроелектрана ублажава енергетску кризу, помаже стабилизацији и економском развоју и што је најважније, практично не угрожава животну средину [31].

Имајући у виду негативну праксу у Србији, посебно на Старој планини, где се налази на разне злоупотребе водних ресурса малих потока, као општег добра, на преграђене рибље стазе, на ситуације са непримењеним задатим гарантованим еколошким протицајем, на цевоводе провучене кроз антиерозионе преграде, може се закључити да је потребно спровести темељна истраживања са циљем да се утврди где су и одакле потичу грешке. Шта се дешава у пракси? Мала хидроенергетика као област је перспективна и има своје у теорији доказано оправдање [32]. За решење низа насталих проблема, синергијско решење може се тражити у формирању експертског система са релевантних улазних варијабли које могу бити:

- Техничке
- Економске
- Финансијске
- Енергетске
- Еколошке
- Културно-историјске
- Политичке
- Регулаторне...

За сваку појединачну ситуацију у пракси се партикуларно формирају релевантне улазне варијабле, тј. фактори од утицаја за доношење одлука.

Формирање експертског система за решење конфликтних интереса

У светлу данас заоштрених конфликтних интереса, за решење оптималног концепта изградње МХЕ, за избор да ли ће да буде вишенаменско, акумулационо, проточно или деривационо постројење, предлаже се методологија која уважава све супротстављене актере и тражи синергијска компромисна решења, применом вишекритеријумске оптимизације, фази логике и експертних система. Полазећи од основне чињенице да је експертски систем програм који има понашање експерта за одређени домен проблема, усваја се класична структура експертског система, приказаног на слици 3 и користи се за доношење одлуке о компромисном синергијском решењу [26].



Слика 3. Структура система за одлучивање

Основне функције експертског система су могућности коришћења знања из одређене области и друга важна функција је могућност интеракције са корисником. База знања која је уграђена у овај експертски систем, а која се односи на евалуацију хидроенергетских система, није укључена само у интерференцијску машину и базу фази правила, већ и у саму структуру фазификатора и дефазификатора, избора улазних и излазних варијабли и избора одговарајућих функција припадности.

У раду је предложен експертски систем који има пет улазних варијабли $x_i, i=1, \dots, 5$. Систем је обучаван на примеру 11 МХЕ на Дрини. Идеја је била да се укључе три техно-економска параметра: вршност постројења изражена кроз GWh/god , чија је нормирана вредност означена као (x_1) , количник В/С изражен као бездимензионална величина означен са нормираном вредношћу x_2 и нормирани инвестициони количник $\$/kWh$ означен као x_3 . Четврта улазна варијабла x_4 представља утицај изабраног хидроенергетског решења на животну средину и ова се варијабла срачунава на основу објективних оцена и урађене Студије утицаја на животну средину. Последња, пета варијабла x_5 названа је политичко-историјски фактор, а може да обухвати све социолошке и друге за локалну заједницу важне аспекте.

У жељи да ниједна од поменутих варијабли не буде фаворизована, свака од њих је нормализована у опсег $[0,1]$ сходно максималним и минималним вредностима појединих параметара за разматрана хидроенергетска решења. Стога је формирана табела 1 која експлицитно дефинише процес нормализације.

Свакој од улазних варијабли придружене су лингвистичке варијабле са одговарајућим функцијама припадности. Одлучено је да се за сваку од улазних променљивих $x_i, i=1, \dots, 5$ дефинишу по две лингвистичке варијабле, при чему су параметри функција припадности изабрани тако да заиста осликавају експертску процену изражености посматране особине. За улазну варијаблу вршности дефинисане су две лингвистичке варијабле: осредња и висока вршност.

Табела 1. Табела нормализационих фактора за улазне варијабле

Улазна величина	Минимална вредност	Максимална вредност	Нормализована варијабла
V = Вршност постројења (kWh/god)	41.3	308.3	$x_1 = \frac{V - 41.3}{308.3 - 41.3}$
B/C количник	0.74	1.73	$x_2 = \frac{B/C - 0.74}{1.73 - 0.74}$
IK = Инвестициони количник (\$/kWh)	0.47	1.084	$x_3 = \frac{IK - 0.47}{1.084 - 0.47}$
UE – утицај на животну средину (објективна оцена)	1	5	$x_4 = \frac{UE - 1}{5 - 1}$
PI – политичко историјски фактор (објективна оцена од 1 до 5)	1	5	$x_5 = \frac{PI - 1}{5 - 1}$

Функције припадности за лингвистичку варијаблу осредња и висока вршност гласе:

$$\mu_1^1(x) = \exp\left(-0.5 \frac{x^2}{0.4^2}\right)$$

$$\mu_1^2(x) = \exp\left(-0.5 \frac{(x-1)^2}{0.4^2}\right)$$

Ове две функција припадности су представљене на слици 4.

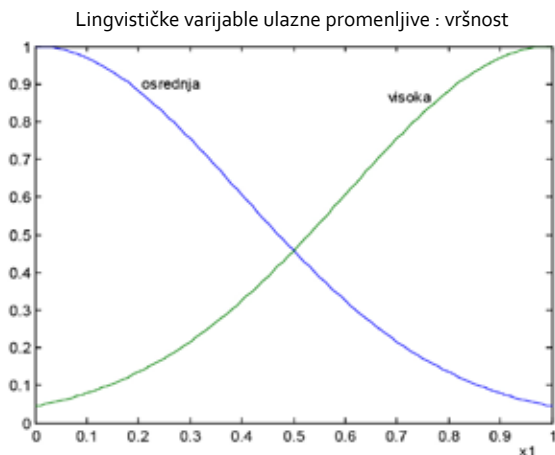
Улазна променљива B/C је дефинисана кроз две лингвистичке варијабле: рентабилно и нерентабилно постројење. Функција припадности рентабилног односа B/C гласи:

$$\mu_2^1(x) = 1 - e^{-x/0.26}$$

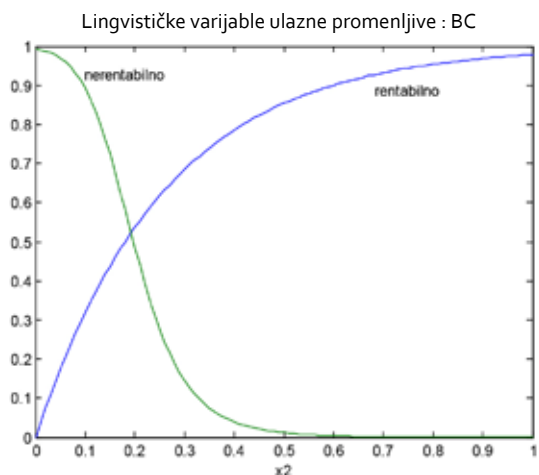
док је функција припадности нерентабилног односа B/C:

$$\mu_2^2(x) = \frac{1}{\left(1 + \left|\frac{x+0.23}{0.43}\right|\right)^{8.2}}$$

Облик ових функција припадности приказан је на слици 5.



Слика 4. Функције припадности придружене лингвистичким варијаблама осредња и висока вршност хидроенергетског постројења



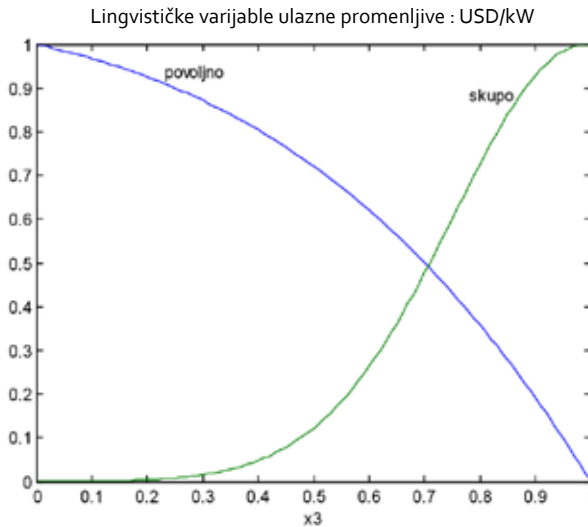
Слика 5. Функције припадности придружене лингвистичким варијаблама нерентабилно и рентабилно хидроенергетско постројење по критеријуму односа В/С

Трећа улазна варијабла је инвестициони количник, тј. однос USD/kWh. Њој су придружене две варијабле: повољно и скупо са одговарајућим функцијама $\mu_3^1(x)$ и $\mu_3^2(x)$ респективно, где је:

$$\mu_3^1(x) = -0.34x^3 - 0.38x^2 - 0.28x + 1$$

$$\mu_3^2(x) = e^{-0.5\left(\frac{x-1}{0.25}\right)^2}$$

Облик ових функција припадности дат је на слици 6.



Слика 6. Функције припадности придружене лингвистичким варијаблама повољно и скупо хидроенергетско постројење по критеријуму инвестиционог количника

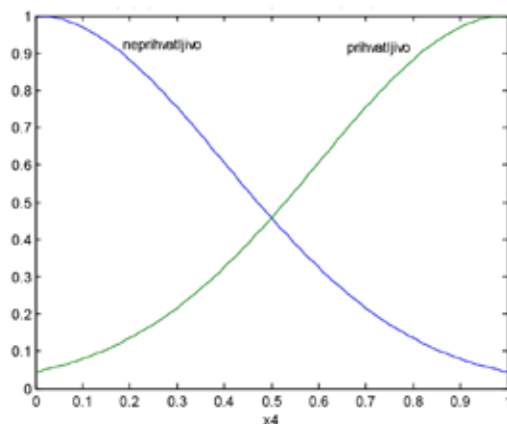
Четврта улазна варијабла представља историјско политички или социолошки фактор везан за локалну заједницу посматраног хидроенергетског решења. С обзиром на деликатност новонасталих конфликтних ситуација у пракси, овом фактору може да се да посебан значај. Његов утицај на избор и реализацију пројекта иде дотле да у неким случајевима може бити и елиминаторан. Зато је одлучено да се у домену ове улазне варијабле дефинишу две функције припадности означене као неприхватљиво и прихватљиво решење, при чему је облик функција припадности изабран у домену гаусовских функција са одговарајућим параметрима:

$$\mu_4^1(x) = e^{-0.5\left(\frac{x}{0.4}\right)^2}$$

$$\mu_4^2(x) = e^{-0.5\left(\frac{x-1}{0.4}\right)^2}$$

Облик ових функција припадности је дат на слици 7.

Funkcije pripadnosti ulazne varijable : Istorijsko-politički faktor



Слика 7. Функције припадности придружене четвртој улазној променљивој:
Историјско-политички, социолошки фактор

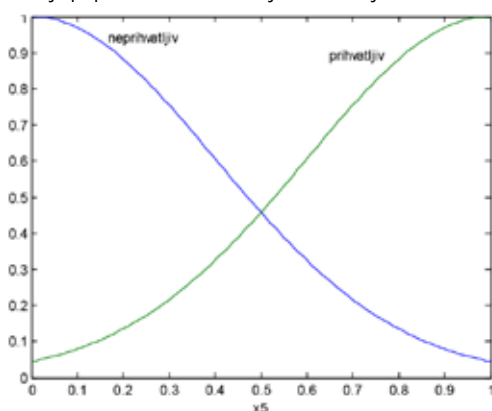
Коначно, последња, али не и најмање важна улазна варијабла у експертски систем јесте променљива означена као утицај на животну средину, окарактерисана са две функције припадности чије су аналитичке вредности:

$$\mu_5^1(x) = e^{-0.5\left(\frac{x}{0.4}\right)^2}$$

$$\mu_5^2(x) = e^{-0.5\left(\frac{x-1}{0.4}\right)^2}$$

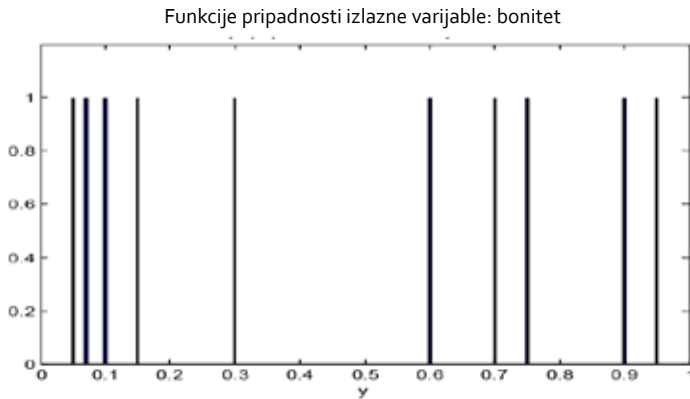
Облик ових функција је дат на слици 8.

Funkcije pripadnosti ulazne varijable : Uticaj na environment



Слика 8. Функције припадности за пету улазну варијаблу: Утицај на животну средину

Излаз из fuzzy експертског система је варијабла која је означена као *bonitet* хидроенергетског решења. У питању је опет fuzzy варијабла које је окарактерисана са 10 функција припадности типа *singleton*-а. Позиције ових *singleton*-а су одређене у складу са жељеном осетљивошћу целокупног система за одлучивање, али истовремено и са структуром fuzzy правила. Позиција *singleton*-а у излазној променљивој *bonitet* је приказана на слици 9.



Слика 9. Функције припадности излазне варијабле: *bonitet*

Singleton-и су означени са s_i , $i = 1, \dots, 10$ где су позиције ових *singleton*-а редом $\{0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.3, 0.6, 0.7, 0.75, 0.9, 0.95\}$. Дефазификација је извршена методом центроида, при чему су fuzzy правила дефинисана следећом табелом:

Табела 8. Табела fuzzy правила

Правило број	Садржај правила	Тежина
1.	Уколико је вршност осредња, тада је бонитет s_5	0.8
2.	Уколико је вршност висока, тада је бонитет s_7	0.8
3.	Уколико је В/С нерентабилно, тада је бонитет s_1	1.0
4.	Уколико је историјско-пол. фактор лош, тада је бонитет s_4	1.0
5.	Уколико је историјско-пол. фактор добар, тада је бонитет s_8	1.0
6.	Уколико је утицај на животну средину лош, тада је бонитет s_2	1.0
7.	Уколико је утицај на животну средину добар, тада је бонитет s_6	1.0
8.	Уколико је В/С рентабилно, тада је бонитет s_9	1.0
9.	Уколико је USD/kWh супер, тада је бонитет s_{10}	1.0
10.	Уколико је USD/kWh скупо, тада је бонитет s_3	1.0

Синергијско решење оптимума експертског система

За дефинисана правила која представљају функционалну везу између појединачних улазних променљивих и бонитета, добијају се као резултат фази експертског система за избор оптималног појединачног хидроенергетског објекта, укупни бонитети за хидроелектране из скупа за обучавање експертског система, као што је приказано на слици 9.

Када се међусобно упореде израчунати бонитети закључује се да постоји једна логичност и аутентичност резултата, као и да је најоптималније решење хидроенергетског искоришћења потенцијала једног водотока систем који се састоји из више униформисаних хидроелектрана, прибранских постројења са нижим бранама и мањим акумулацијама (bonitet 0,724).

Овакав хидроенергетски систем на једном потезу водотока, због типизираних опреме има 30% јефтиније трошкове хидромеханичке, машинске и електроопреме, као и ниже трошкове одржавања, због заједничких резервних делова. Објекти су ниске бетонске бране са преливима који су у исто време и темељни испусти. Истовремено, оваква решења минимално ремете животну средину и идеално су уклопљена као појединачне целине у подељеност територије између различитих општина, локалних заједница или ентитета.

Логичност добијених резултата и реалност закључака, везано са избором оптималног хидроенергетског система, показују да је:

- експертски систем исправно „обучен“,
- избор 5 (пет) релевантних улазних променљивих био довољно репрезентативан и валидан за опредељење која је алтернатива оптимална,
- дефинисаних 10 (десет) интерактивних правила реално одразило функционалне зависности улазних променљивих и бонитета и
- тежински коефицијенти су тачно одразили значај и утицај припадајућих функција улазних променљивих на bonitet.

Општи закључак је да је експертско знање веродостојно пренето рачунару и да је исти сада обучен да за друге елементе шеме бира оптимална хидроенергетска решења.

САВРЕМЕНЕ СТИМУЛАТИВНЕ МЕТОДЕ ПОДРШКЕ ИЗГРАДЊИ МХЕ У СВЕТУ

Важну улогу у стимулисању и подршци изградње МХЕ [33] има правна регулатива и постојање финансијских олакшица. Техничка документација која се захтева за пројектовање, извођење и функционисање малих хидроелектрана, треба да буде поједностављена и не тако обимна, као и

административне мере за добијање различитих сагласности (противпожарна, санитарна техничка заштита, итд.) као што се захтева код објеката инсталисаних снага већих од 10 MW. Финансијске и економске привилегије се обезбеђују кроз:

- кредите и субвенције,
- загарантоване дугорочне тржишне услове за испоруку електричне енергије из МХЕ,
- ослобађајуће таксе за разне услуге које се односе на извођење радова на МХЕ,
- редуције продајне таксе за опрему и материјал,
- бесцарински увоз опреме и средства.

У складу са урађеним студијама и пројектима, установљено је да је у Србији, на малим водотоцима, могуће изградити значајан број МХЕ са инсталисаном снагом и средњом годишњом производњом које не могу бити занемарљиве из угла потписаног Кјото протокола, Париског споразума и Нових енергетских политика ЕУ, који сви иду у смеру тоталне декарбонизације [34]. Отуда јасно проистиче да је врло значајно радити како на стандардизацији пројеката и опреме за мале хидроелектране, тако и на стварању могућности за заједничко финансирање и упрошћавање законске регулативе, која се односи на пројектовање, извођење и везивање локалне мреже са целокупним електроенергетским системом и заједничком дистрибутивном мрежом.

Као додатак појединачним мерама сваке земље, Кјото протокол је увео три стимулативна тржишна механизма (Carbon market) смањења емисије гасова. Та три механизма су: Emissions Trading (ET), The Clean Development Mechanism (CDM) и Joint Implementation (JI). Уведене су и „feed in“ тарифе, различитог нивоа, зависно од стандарда земље [35]. Разлику између производне и тржишне цене у развијеним земљама углавном покрива држава.

Коришћење потенцијала малих водотока је данас посебно атрактивно и зато јер је формирана берза трговине CER-овима, такође познатим као зеленим сертификатима, или карбон кредитима. Изградња малих хидроелектрана, које представљају коришћење обновљивих извора енергије, поред бенефита који су резултат стандардних техно-економских анализа и продаје реализоване, тј. произведене електричне енергије и испоручене у електроенергетски систем, доноси и бенефите од продаје карбон кредита, на светском тржишту-берзи емисијама.

Дакле, за сваку малу хидроелектрану може се израчунати кореспондентна инсталисана снага алтернативног дела блока термоелектране, који не мора да се гради, захваљујући томе што се гради хидро-блок, тј. мала хидроелектрана. Тиме је реализована уштеда, по питању загађења животне средине, у одређеном износу тона неемитованог угљен-диоксида, што на

светској берзи емисијама, има своју цену. Ако један термоенергетски блок од 100 MW инсталисане снаге, ради просечно годишње 7000 сати, може се рећи по искуству и након више мерења на реализованим објектима, да се приликом производње 1 KWh електричне енергије из термоелектране емитује 1 kg угљен-диоксида, дакле при производњи 1 MWh се емитује 1 t угљен-диоксида.

Оправдање за стимулативне мере се огледа у следећем: Сваким инсталираним MW, тј. произведеним MWh електричне енергије у малим хидроелектранама, или неком другом обновљивом извору енергије, поштеди се атмосфера земаљске кугле за 1 t неемитованог угљен-диоксида. На тржишту зелених сертификата, та вредност је дефинисана и транспарентна. Поред тога, цена се мења свакодневно, јер је берзанска вредност.

Улагање у мале хидроелектране у Србији је интересантно како домаћим, тако и страним инвеститорима.

ЗАКЉУЧАК

Катрмер де Кинси је рекао да би се стигло до изворних принципа у савременом градитељском и архитектонском стваралаштву различитих земаља, да постоји неколико путева. Они главни, који најбрже воде до циља, ослањају се на традицију и природу датог подручја, на појмове и појаве проверене кроз историју, као и на саме културне споменике већ изграђене. Један од споменика културе је свакако воденица и она дефинитивно заслужује одговарајућу пажњу.

Пошавши од традиционалних принципа градње и избора локације постојећих, старих воденица, долази се до оптималних решења за изградњу МХЕ. Истраживања спроведена на пројекту Министарства наука: Повећање енергетске ефикасности при концепцијском решавању искоришћења обновљивих ресурса у функцији одрживог развоја, о местима постојања старих воденица су потврдила, као и пример из овог реферата, да су локације старих воденица најчешће оптимално диспозиционо решење за мале, мини, или микро хидроелектране. Уз релативно мала додатна инвестирања је могуће урадити реконструкцију и ревитализацију објекта воденице, инсталирати опрему за малу хидроелектрану, реализовати „feed in“ тарифе, или бити у програму суфинансираних CDM (clean development mechanism) пројеката, са *зеленим сертификатима*, убирати бенефите на тржишту CER-ова (certified emission reduction), а опет сачувати квалитет животне средине.

Реконструкција старих воденица у мале хидроелектране, уз задржавање аутентичних архитектонских и културних вредности објеката, је

један од могућих начина ефикасног коришћења обновљиве хидроенергије, у функцији одрживог развоја.

Дугорочно посматрано Србија нема довољно енергетских ресурса да би одговорила потребама сопственог конзума у будућности и да би имала право да занемарује потенцијал малих водотока.

У Србији су од Немањића до данас забележени значајни објекти који користе обновљиве изворе енергије. Без обзира на историјат и књижевна дела која се везују за воденице, евидентно је да су оне грађене на местима где су протицаји релативно устаљени, где водоток ретко када пресушује и где, дефинитивно, постоји технички искористиви потенцијал, па се забелешке из историје и данас могу сврсисходно употребити. Хидропотенцијал на месту једне старе воденице није велики, али је значајан у контексту спречавања глобалних загревања и разлике везано са утицајем на животну средину, када се користе обновљиви, уместо необновљивих извора енергије.

Када се изабере шира зона за изградњу МХЕ, методологија формирања експертског система, понуђена у овом раду, омогућава избор оптималног синергијског решења, које би холистички уважавајући све релевантне доносиоце одлука на самом почетку процеса, помирила конфликтне интересе у функцији заштите животне средине и одрживог развоја.

Као што су некада воденице имале велики социолошки и културни значај и улогу у друштвеном животу села, тако и данас МХЕ, пројектоване и изграђене као експертски систем, могу да постану центар збивања и обележје развоја локалне заједнице. Наука може да реши сваки инжењерски проблем. У пракси је потребна синергија са функцијом мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дероко, А.: *Народно неимарство*, књига 1, САНУ, Београд, 1968, стр. 3.
- [2] Срејовић, Д.: *Лејенски вир*, Београд, 1969, стр. 179.
- [3] Mirić, M. Mihailo: *Ekonomski razvoj u Srbiji od doseljavanja Srba do oslobađanja od Turaka*, Zagreb, 1939, str. 27 i 70, Јиречек, К., превео и допунио Радоњић, Ј., Историја Срба III, стр. 199–200.
- [4] Прота Матеја Ненадовић (1777–1854), син кнеза Алексе Ненадовића, истакнути војсковођа у I и II српском устанку, касније државник. Његови *Мемоари* представљају драгоцен извор за историју Српског устанка.
- [5] Дробњаковић, Бор.: *Воденице на Дрини и њеним њријокама*. Гласник Етнографског музеја у Београду, VIII.
- [6] Радовић, Босилка: *Воденице у доњем Банату*, Зборник Етнографског музеја у Београду, 1901–1951.
- [7] Ђорђевић, Тих.: *Архивска грађа за насеља у Србији*. Српски етнографски зборник XXXVII, стр. 135 и 206.

- [8] *Ibid.*, стр. 26–27.
- [9] Дробњаковић, Бор.: *Воденице на Дрини и њеним прийокама*. Гласник Етнографског музеја у Београду VIII, стр. 2–6.
- [10] Ђекић, Мирјана: *Објекти народне вехнике у Војводини – воденице „дунавке“*, Грађа за проучавање споменика Војводине, XVI, Нови Сад, 1990.
- [11] Милошев, М.: *Воденице у Банату*, Рад војвођанских музеја 3, Нови Сад, 1954, стр. 151.
- [12] Bordaš, Atila: *Plovna vodenica kod Vogojeva*, PRESA, Čenej, Novi Sad, 1988, str. 83.
- [13] Милошев, Милан: *Воденице у Банату*, Рад војвођанских музеја – 3 (1954), стр. 147–168.
- [14] Поповић, Д.: *Једна муслиманска задужбина Мехмеда Соколовића у Банату*, Гласник историског друштва у Новом Саду, 1929, стр. 115.
- [15] Протић, Љубиша: *Развићак индустрије и промет добара у Србији за време прве владе кнеза Милоша*, Београд, 1953, стр. 49.
- [16] Финдрик, Ранко: *Народно неимарство*, Сирогојно, 1994, стр. 76.
- [17] Стевовић, С., Василски, Д.: *Воденице као споменик културе и указ ка савременим решењима малих хидроелектрана*, Савремено градитељство, бр.1, Бања Лука, 2009.
- [18] Allsopp, Bruce: *A modern theory, theory*, p. 5.
- [19] Hugo, Victor: *Notre Dame de Paris*, Libraire Generale Francaise, Paris, 1972.
- [20] Дероко, Александар: *Народно неимарство и стара сеоска кућа САНУ – Споменик СХVIII – Београд*, 1968, стр. 19–23.
- [21] Vitruvije: *Deset knjiga o arhitekturi*, Грађевинска knjiga, Београд, стр. 35.
- [22] Финдрик, Ранко: *Народно неимарство*, Сирогојно, 1994, стр. 12.
- [23] Драшковић, Рад.: *Ваљевске воденице*, Народни музеј, Ваљево, 1959, стр. 3–6.
- [24] Nikola Rajaković. „Analiza elektroenergetskih sistema I“, Akademska misao, Београд, 2002. godine.
- [25] Panić, Milena, Marko Urošev, Ana Milanović Pešić, Jovana Brankov, and Željko Bjeljac. "Small hydropower plants in Serbia: hydropower potential, current state and perspectives". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23 (2013): 341–349.
- [26] Stevovic, Svetlana, Zorica Milovanovic, and Milan Stamatovic. "Sustainable model of hydro power development – Drina river case study". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50 (2015): 363–371.
- [27] Schmutz, S., R. Schinegger, S. Muhar, S. Preis, and M. Jungwirth. „Ökologischer Zustand der Fließgewässer Österreichs–Perspektiven bei unterschiedlichen Nutzungsszenarien der Wasserkraft“. *Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft* 62, No. 7–8 (2018): 162–167.
- [28] Spitalny, L., D. Unger, and J. M. A. Myrzik. "Potential of small hydro power plants for delivering control energy in Germany". In *2018 IEEE Energytech*, pp. 1–6, IEEE, 2012.
- [29] Wolfgang, Ove, Arne Haugstad, Birger Mo, Anders Gjelsvik, Ivar Wangensteen, and Gerard Doorman. "Hydro reservoir handling in Norway before and after deregulation". *Energy* 34, No. 10 (2018): 1642–1651.

- [30] Stevović, Ivan, Dragoljub Mirjanić, and Svetlana Stevović. "Possibilities for wider investment in solar energy implementation". *Energy* 180 (2019): 495–510.
- [31] Stevović, Svetlana, Hranislav Milošević, Ivan Stevović, and Sabahudin Hadrovic. "Sustainable management of water resources in Prokletije region". *Industrija* 42, No. 1 (2014): 47–61.
- [32] Češljarić, Goran, and Svetlana Stevović. "Small reservoirs and their sustainable role in fires protection of forest resources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47 (2015): 496–503.
- [33] Stevović, Ivan, Jovana Jovanović, and Svetlana Stevović. "Sustainable management of Danube renewable resources in the region of Iron Gate: Djerdap 1, 2 and 3 case study". *Management of Environmental Quality: An International Journal* 28, No. 5 (2017): 664–680.
- [34] Shang, Yizi, Pengfei Hei, Shibao Lu, Ling Shang, Xiaofei Li, Yongping Wei, Dongdong Jia et al. "China's energy-water nexus: assessing water conservation synergies of the total coal consumption cap strategy until 2050". *Applied energy* 210 (2018): 643–660.
- [35] Jacobs, David. *Renewable energy policy convergence in the EU: The evolution of feed-in tariffs in Germany, Spain and France*. Routledge, 2016.

Svetlana Stevović

CONCEPT OF CONSTRUCTION OF SHPP IN THE ASPECT OF CONFLICT INTEREST AND SYNERGIC SOLUTIONS

S u m m a r y

The concept of small hydropower plants construction is analyzed in this paper from the traditional way of harmonious use of hydro potential through the construction of watermills, to the actual conflict of SHPP construction and modern methods of artificial intelligence for the selection of sustainable optimal synergic solutions for hydroelectric use. The potential of small watercourses and the construction of watermills in Serbia have been the focus of interest since Ne-manjić period. The watermill in the village has always been a symbol of development and progress. Today, with the defined imperative of sustainable development, small hydroelectric power plants (MHPP) as the contemporary successor of former watermills, are one of the possible ways of using renewable energy sources (RES) with the lowest emissions of greenhouse gases, if the entire life cycle is considered. The most recent negative practices and the neglect of the importance of preserving the quality of the environment are the motive for the research car-

ried out in this paper. The subject of the research is to find adequate scientific methods for achieving synergistic solutions. The goal is to holistically examine the issues of conflicting interests, quantify and rank certain negative environmental impacts and seek compromise sustainable solutions, with as few environmental disorders as possible. The obtaining of a permit for the construction of SHPPs, in accordance with the law, necessarily follows the preparation and adoption of the Environmental Impact Assessment Study. The study is reviewed by the competent authorities, and it also goes for public discussion and adoption by the interested local community and the wider public. Rejecting a completed study, and consequently a project at a public hearing stage, regardless of whether the investment is private or social, results in the devaluation of previously invested funds in the project. At the same time, if the Study is adopted and the project is approved and implemented, the question arises as to whether the envisaged guaranteed environmental flow and prescribed environmental protection measures, such as monitoring and sanctions for offenses, will be respected in practice. The goal is to manage resources efficiently and sustainably, so that future generations can use it as well. In order to avoid any misuse by different interested parties, it is necessary to include all relevant stakeholders in the decision-making process at the very beginning of the optimal construction concept, quantify all target functions, define all potential impacts, all conditions and constraints, align criteria by degree the importance, and to perceive at the problem in the long term conditions and comprehensively. In order to regain the significance and role of the SHPPs over 100 years ago and as well as watermills had it for centuries, it was necessary to give appropriate importance to the local community in the decision-making process. In this paper, the selection of an optimal concept for the construction of SHPPs, whether it will be a multipurpose, accumulative, flow or derivative plant, the methodology is proposed with respect to all conflicting interests and the search for synergistic compromise solutions, using multi-criteria optimization, the fuzzy logic and expert systems. Case studies of positive and negative practices in the field of hydropower in Serbia and the world are given.

Keywords: SHP, environment, methodology, compromise, holistic optimum, synergy