3. konferenca z mednarodno udeležbo
Konferenca VIVUS – s področja kmetijstva, naravovarstva, hortikulture in floristike ter živilstva in prehrane
»Prenos inovacij, znanja in izkušenj v vsakdanjo rabo«
14. in 15. november 2014, Biotehniški center Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenija

3rd Conference with International Participation
Conference VIVUS – on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition
»Transmission of Innovations, Knowledge and Practical Experience into Everyday Practice«
14th and 15th November 2014, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia

Sanacija in učinki sanacije mehkega jezu HE Sava

Dr. Drago Papler
Gorenjske elektrarne, proizvodnja elektrike, d.o.o., Slovenija, drago.papler@gek.si

Janez Basej, univ. dipl. inž. str.
Gorenjske elektrarne, proizvodnja elektrike, d.o.o., Slovenija, janez.basej@gek.si

Izvleček

Hidroelektrarna Sava, hidroelektrarna Vinka Majdiča je bila zgrajena leta 1924. Od leta 1949 je v upravljanju Gorenjskih elektrarn. Elektrarna je pretočno kanalskega tipa in izkorišča vodni potencial reke Save v Kranju. Njena letna proizvodnja je 10,5 GWh. Pri obratovanju elektrarne pomembno vlogo predstavlja mehki jez dolžine 250 m, zgrajen leta 1976. Življenjska doba mehkega jezu je odvisna od kvalitete materiala in montaže ter hidroloških razmer v normalnih in izrednih pogojih.
S statistično analizo smo analizirali hidrološke podatke glede na časovno vrsto (mesečno, letno), proizvodnjo električne energije in ugotavljali vpliv mehkega jezu na obratovanje HE Sava pred in po sanaciji.
Pristop k tehnični rešitvi sanacije mehkega jezu je upošteval izkustvene rešitve, inovacijske predloge ter varnostne in ekološke zahteve. Izvedba mehkega gumenega jezu HE Sava je primer dobre prakse, ki upošteva ekonomske, energetske, ekološke in tehnološke parametre, na strokovni ravni, z ekonometrijskim modelom pa znanstveni pristop ocenjevanja učinkov proizvodnje.

Ključne besede: hidroelektrarna, električna energija, mehki jez, ekologija, ekonomika proizvodnje

Rehabilitation and rehabilitation effects of the Sava HPP soft dam

Abstract

A Sava hydro power plant, namely the Vinko Majdič hydro power plant was built in 1924. Since 1949, it has been managed by Gorenjske elektrarne. The plant is of a flow channel type and utilizes the water potential of the Sava River in Kranj. Its annual production is 10.5 GWh. In the operation of the plant the 250 m long soft dam, built in 1976, plays an important role. The soft dam lifetime depends on the quality of materials and construction, and hydrological conditions in normal and emergency conditions.
By the statistical analysis, we analysed hydrological data according to the time scope (monthly, annually), electric power production and kept ascertaining the soft dam impact on the operation of the Sava HPP before and after rehabilitation.

An approach to the soft dam rehabilitation technical solution allowed for the experiential solutions, innovative proposals, and safety and environmental requirements. The implementation of the Sava HPP soft rubber dam is an example of good practice that allows for economic, energy, environmental and technological parameters on the professional level, and by the econometric model it considers a scientific approach to the assessment of the production effects.

Key words: hydro power plant, electric power, soft dam, ecology, economics of production

1 Uvod

Obnovljivi viri energije imajo značilno sezonsko proizvodnjo, ki je največja pri hidroelektrarnah v spomladanskih in jesenskih mesecih, pri sončnih elektrarnah pa v poletnih mesecih. Pomembni naravni dejavnik pri proizvodnji električne energije v hidroelektrarnah je hidrologija, pri sončnih elektrarnah pa sončno obsevanje. Proizvodnja električne energije v kogeneracijskih enotah je vezana na sezonskost zimskih mesecev, ko je potrebno ogrevanje in se v soproizvodnji proizvaja toplotno in električno energijo.

Hidroelektrarna Sava je zgrajena na reki Savi pred savskim mostom v Kranju na otoku, ki je nastal z izkopom energetskega kanala. Začetek elektrarne sega v leto1893, ko je bil montiran v prostore valjčnega mlina enosmerni generator Kremenetzky & Mayer za lastne potrebe v glavnem za razsvetljavo gospodarskega poslopja in stanovanjskih prostorov. Elektrarna je kot taka obratovala kakih 30 let. Leta 1925 se je prigradil na turbini Ganz I in II generator AEG 350 kVA. Turbini sta do tedaj gnali transmisijske pogone valjčnega mlina. Generator AEG je bil kupljen za pogon nove tekstilne tovarne Jugočeška. Leta 1926 je katastrofalna voda odnesla stare zapornice pri elektrarni in na jezu, zato elektrarna ni obratovala do leta 1927. V tem času se je zgradila nova strojnica in popravilo zapornice. V novih prostorih je začela obratovati turbina Weipert z generatorjem Bergman 460 kVA na jermenski pogon. Leta 1928 je bila dokončana transformatorska postaja 35 / 3 kV s transformatorjem 1 MVA in daljnovodom 35 kV do Medvod. Leta 1929 je začel obratovati agregat Škoda 875 kVA. Leta 1936 / 37 se je prvotna transmisijska naprava predelala tako, da je vsaka turbina gnala svoj generator. Zato je bil kupljen generator Siemens 350 kVA. Istega leta se je elektrarna priključila na 20 kV daljnovod takratne KDE (Kranjske deželne elektrarne) in sicer na daljnovod Črnučeokolica. Leta 1962 je bil zamenjan transformator 2 MVA, 20 / 3 kV s transformatorjem 3 MVA, 10 / 3 kV. Leta 1968 je bil demontiran agregat Ganz II in na to mesto je bila vgrajena cevna turbina z generatorjem Rade Končar. Leta 1974 je bila zamenjana Girardi turbina s propelersko, izdelek Litostroj z novim prenosom. Leta 1982 je bil montiran nov transformator 4 MVA, 20 - 10 / 3 kV.

Prvotno je elektrarna napajala industrijsko območje Kranja s 3 kV odvodi. S prehodom na 10 kV transformacijo pa so odpadli vsi 3 kV odvodi in elektrarna obratuje paralelno z 10 kV kabelskim omrežjem Kranja.

Hidroelektrarna Sava obratuje s štirimi agregati moči 2380 kVA oziroma 1697 kW in ima povprečno letno proizvodnjo 10.500.000 kWh električne energije.

2 Vzdrževanje opreme in naprav

2.1 Vzdrževanje hidroelektrarn

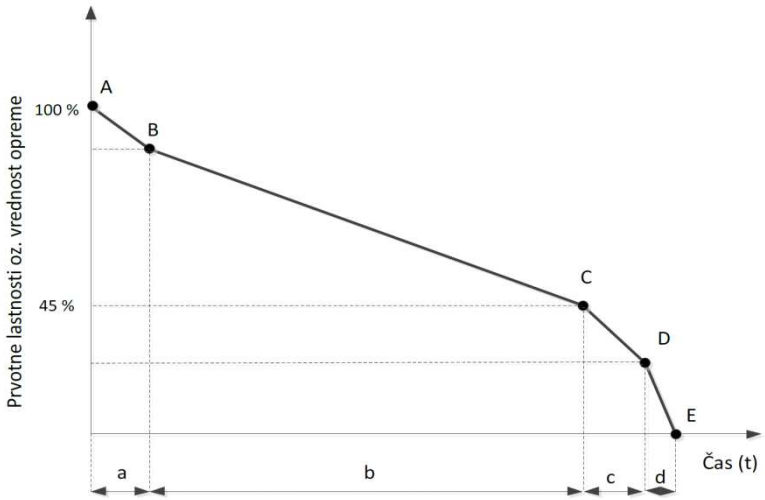
Preventivna vzdrževalna dela upoštevamo že pri planiranju proizvodnje električne energije v posamezni hidroelektrarni. Preventivna vzdrževalna dela se običajno izvajajo v času slabših

hidroloških razmer, saj je takrat izpad proizvodnje veliko manjši ali ga celo ni (če sta v posamezni hidroelektrarni vgrajena dva agregata ali več). To pomeni, da primerno izvajanje preventivnih vzdrževalnih del izboljšuje razpoložljivost naprave in s tem večjo proizvodnjo električne energije.

Izvajanje kurativnega vzdrževanja ali izvajanje vzdrževanja po nastali okvari, nam lahko v začetku obratovanja posamezne naprave pomeni boljšo proizvodnjo električne energije. Takšno vzdrževanje dolgoročno pomeni, da bomo zaradi izvajanja kurativnega vzdrževanja napravi poslabšali lastnosti do take mere, da bo potrebno zamenjati vse vitalne dele naprave ali celotno napravo. V primeru kurativnega vzdrževanja običajno pride do večje okvare v času največje obremenitve naprave, to je v času najboljših hidroloških razmer, ko vsak izgubljen dan obratovanja predstavlja zmanjšanje proizvodnje električne energije.

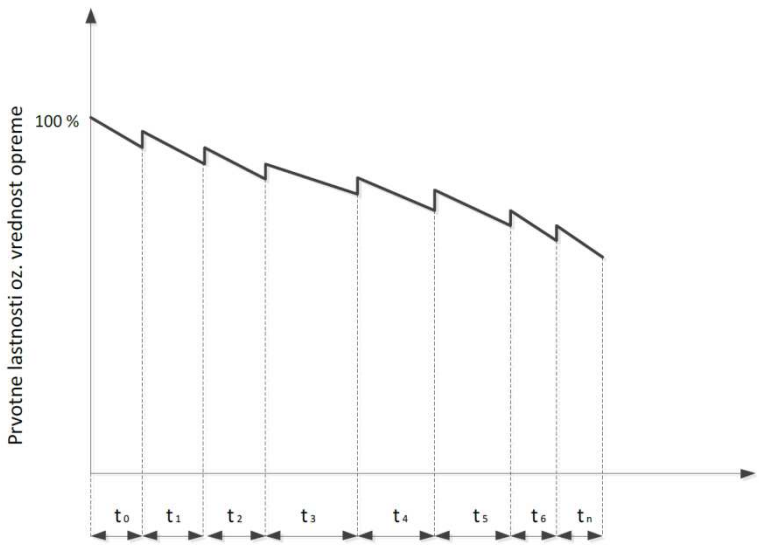
Z vidika dolgoročnega obratovanja hidroelektrarne je, glede na zgornje ugotovitve, primernejše izvajati redna preventivna vzdrževalna dela, saj nam to prinaša boljši izkoristek hidrologije vodotoka in s tem boljšo proizvodnjo električne energije v hidroelektrarni (Basej, Papler, 2013).

Vzdrževanje energetskih naprav v hidroelektrarnah predstavlja pomemben dejavnik pri obratovanju hidroelektrarne in izkoriščanju vodnega potenciala vodotoka z vidika proizvodnje električne energije.
Redno izvajanje preventivnih vzdrževalnih del podaljšuje življenjsko dobo in izboljšuje lastnosti posamezne opreme in naprav.
Vpliv vzdrževalnih del na lastnosti opreme in naprav je prikazan na sliki 1 in 2, iz katerih je dobro razviden pomen in nujnost vzdrževalnih del.



Slika 1: Slabšanje lastnosti opreme in naprav, če vzdrževalnih del ne opravljamo

Slika 1 predstavlja poslabšanje lastnosti opreme in naprav, če vzdrževalnih del ne opravljamo. Območje a predstavlja padec lastnosti opreme in naprav v času poskusnega obratovanja, območje b pa predstavlja območje rednega obratovanja. Območje c predstavlja opremo in naprave, ki zaradi obrabe in slabših obratovalnih lastnosti delujejo z omejitvami. Prehod v območje d, ko oprema in naprave niso več funkcijsko sposobne obratovati je odvisen od pogojev obratovanja in je običajno brez vzdrževalnih posegov zelo hiter.



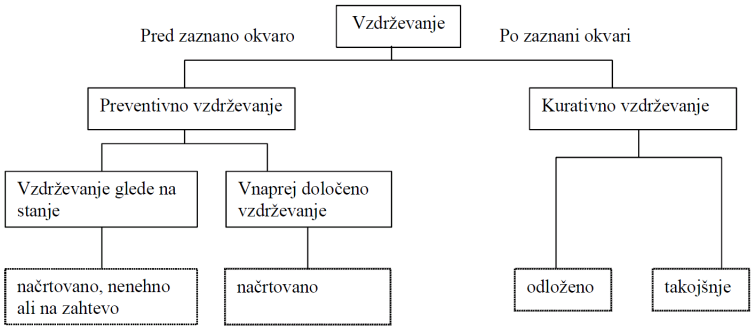
Slika 2: Slabšanje lastnosti opreme in naprav, če vzdrževalna dela redno opravljamo

Slika 2 predstavlja poslabšanje lastnosti opreme in naprav, če vzdrževalna dela redno opravljamo. Krivulja dobi žagasto obliko in zaradi vzdrževalnih posegov lastnosti opreme in naprav počasneje padajo. Konice prestavljajo vzdrževalne posege, dvig konice pa je odvisen od kvalitete in obsega vzdrževalnega posega. Kljub temu se s časom slabšajo lastnosti opreme in naprav. Celoten proces slabšanja lastnosti poteka veliko počasneje, tako da se doba uporabnosti opreme in naprav zelo podaljša v primerjavi s primerom brez vzdrževalnih del.

2.2 Razdelitev vzdrževanja po standardu SIST EN 13306

Vzdrževanje ni omejeno zgolj na tehnične dejavnosti, ampak vsebuje tudi mnoge druge dejavnosti kot so planiranje, uporaba dokumentacije, priprava materiala in podobno. Razdelitev vzdrževanja po standardu SIST EN 13306 je prikazana na sliki 3.

Edina delitev po standard SIST EN 13306 je tako na preventivno in kurativno vzdrževanje, ki se najprej deli na takojšnje in odloženo. Preventivno vzdrževanje pa je lahko vnaprej določeno ali pa opravljeno po ugotovitvi stanja. Vse ostale dejavnosti v standardu niso opredeljene in se ne štejejo za vzdrževalna opravila.



Slika 3: Razdelitev vzdrževanja po standardu SIST EN 13306

2.3 Učinek vzdrževanja

Vpliv preventivnega vzdrževanja na proizvodnjo električne energije je odvisen predvsem od časa, porabljenega za vzdrževanje ter termina izvajanja vzdrževanja. Če upoštevamo, da se preventivno vzdrževanje izvaja ob nizkem vodostaju, ko je proizvodnja minimalna oz. agregat takrat sploh ne

obratuje, se število obratovalnih ur zaradi preventivnega vzdrževanja ne spreminja. V primeru zelo dobre hidrologije vodotoka v daljšem časovnem obdobju, v katerem je potrebno izvesti preventivna vzdrževalna dela je pomembno, da se dela izvedejo čim hitreje, pri čemer je potrebno paziti, da so dela izvedena kvalitetno, skladno s programom del.

Vpliv kurativnega vzdrževanja na proizvodnjo električne energije je odvisen od istih dejavnikov kot vpliv preventivnega vzdrževanja, le da takega vzdrževanja ne planiramo, ampak ga pričnemo izvajati po nastali okvari. Slabost je, da je običajno termin vzdrževanja v času najboljše hidrologije vodotoka, čas izvajanja vzdrževanja pa je zaradi nepripravljenosti materiala in ljudi vedno daljši.

V našem primeru bomo prikazali učinek kvalitetnega preventivnega vzdrževanja na treh hidroelektrarnah, katere so bile zgrajene ali obnovljene v okviru projekta 100 malih hidroelektrarn v Sloveniji in sicer z nazivno močjo 160 kW, 280 kW in 600 kW.

Tabela 1: Povprečno letno število porabljenih ur za vzdrževanje

	160 kW	280 kW	600 kW
Preventivno vzdrževanje	167	178	268
Kurativno vzdrževanje	36	40	53

Iz tabele 1 je razvidno, da je letno število vzdrževalnih ur povezano z instalirano močjo hidroelektrarne. Letno število ur se ne povečuje linearno z instalirano močjo. Razlog za ta pojav so pripravljalna in zaključna dela, ki časovno ne odstopajo veliko glede na moč hidroelektrarne.

Vse tri obravnavane hidroelektrarne imajo vgrajena dva agregata, kar pomeni, da v času rednih del drugi agregat normalno obratuje. S tem v času primerne hidrologije dosežemo, da zaradi del nimamo izpada proizvodnje. Kljub rednemu preventivnemu vzdrževanju, pa se vsako leto pojavi kakšna manjša okvara (kurativno vzdrževanje), katero pa v veliki večini primerov odpravimo naslednji delovni dan.

V primeru, da bi opustili preventivno vzdrževanje bi lahko pričakovali, da bi prva leta obratovali normalno, potem pa bi se začele pojavljati okvare v času največje obremenitve agregata. Pričakovati je, da bi povprečni čas odprave napak trajal vsaj 150 % časa preventivnega vzdrževanja.

2.4 Praktičen primer: sanirana gumena membrana mehkega jezu

Poplave v novembru 2012 so povzročile poškodbo drugega polja mehkega jezu HE Sava, ki je bilo začasno sanirano v meri, da je hidroelektrarna Sava lahko nemoteno obratovala. Končna rešitev je bila zamenjava gumene membrane mehkega jezu proizvajalca Savatech, ki je izdelana iz CR/SBR gumene zmesi.

2.4.1 Tehnična rešitev z mehkim jezom

Po kroni jezu je položena membrana iz gume, s pomočjo katere po potrebi dvigajo nivo vodnega zajetja. To delajo tako, da notranjost membrane polnijo z vodo ali jo praznijo, kar je bila z vgradnjo nov tehnološki dosežek. Ker je bil jez pomemben za vzdrževanje vodnega režima na območju Kranja, je pri obnovi finančno prispevala svoj delež tudi področna vodna skupnost. Uporabljena je bila varianta uporabe mehkega jezovnega reguliranega nastavka. Po projektu, ki je bil izdelan septembra 1976, je bila izvedena rekonstrukcija kaštnega jezu v betonskega z vgradnjo gumenih membran v petih poljih skupne dolžine 250 metrov.
V več kot tridesetletnem obdobju so bili zaradi poškodb po poplavah zamenjani posamezni deli mehkega jezu HE Sava.

Tomaž Kovačič iz Savatech ugotavlja, da je material zelo dobro vodno in ozonsko obstojen, predvsem pa ga je možno lepiti z navadnimi neoprenskimi lepili. Med največje slabosti gumenih jezov sodita občutljivost na vandalizem (poškodbe z ostrimi predmeti, rezanje z nožem) in neodpornost na balistične izstrelke (streljanje iz pištole ali puške), zato se materiali membrane gumenih jezov testirajo tudi na balistično prebojnost, na zarezno odpornost in upogibno utrujanje materiala. Gradnja gumenega jezu je najcenejši način gradnje jezu in je bistveno hitrejša od ostalih gradenj jezov. Gumeni jezovi imajo dolgo uporabno dobo, ki je odvisna od tega koliko proda in ostrega kamenja, ob izrednih razmerah pa dodatnih naplavin in dreves nosi reka s seboj.

2.4.2 Izvedba sanacije mehkega jezu

Izvedbo zamenjave je bila izvedena avgustu 2013 v treh fazah.
V prvi fazi je bila demontirana obstoječa gumena membrana in montirana nova gumena membrana v dolžini 50 metrov. Izvedba je bila v lastni režiji zaposlenih iz Gorenjskih elektrarn pod nadzorom proizvajalca.
V drugi fazi je bil izveden pregled tesnenja in prevzem gumene membrane s strani predstavnika izvajalca in predstavnika naročnika.
V tretji fazi je bila izvedena demontaža zagatne stene, ki je v času poškodovanega jezu omogočala normalno obratovanje HE Sava.

3 Metodologija

3.1 Regresijska analiza

Proizvodnja električne energije v malih hidroelektrarnah je doživela velik razmah po letu 1985, ko se je v Sloveniji začelo sistematično spodbujanje gradnje malih hidroelektrarn po programu splošne ljudske obrambe. Z uveljavitvijo energetskega zakona in sprejemom podzakonskih aktov je bil status kvalificiranih proizvajalcev in odkup električne energije urejen.
Lorenzova krivulja in Ginijev koeficient kažeta na visoko koncentracijo dobaviteljev in srednje močno koncentracijo proizvodnje električne energije v hidroelektrarnah (Papler, 2007).
Na proizvodnjo električne energije vplivajo tehnični in naravni dejavniki, kar ugotavljamo z metodo regresijske analize.

3.2 Hidrologija

Male hidroelektrarne imajo značilno sezonsko proizvodnjo, ki je največja v spomladanskih in jesenskih mesecih. Pomembni naravni dejavnik pri proizvodnji električne energije v hidroelektrarnah je hidrologija, ki je spomladi v alpskem svetu odvisna od taljenja zimske snežne odeje, akumulirane vode in v jesenskih mesecih od padavin.

Obratovanje hidroelektrarn je v veliki meri odvisno od naravnih danosti, to je od trenutnih količin padavin, ki vplivajo na količino vode v vodotokih, saj hidroelektrarne v glavnem nimajo svoje akumulacije. To pomeni, da se v primeru obilnejših padavin visoko narasle vode prelivajo prek naprav, zato hidroelektrarna ne more izkoristiti višje vode za proizvodnjo električne energije. Ob sušnih obdobjih pa vodotoki močno usahnejo, kar spet pomeni omejeno in v skrajnem primeru celo onemogočeno proizvodnjo električne energije. Količina proizvedene električne energije v hidroelektrarnah pa ni odvisna le od količine vode, temveč tudi od višinske razlike vodnega padca, geografske lege posamezne elektrarne in drugih značilnosti, ki vplivajo na proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah.

Prednost izkoriščanja hidroenergije je predvsem uporaba obnovljivih virov energije, slabost pa je nihanje proizvodnje glede na razpoložljivost vode. Izgradnja hidroelektrarne predstavlja tudi velik poseg v okolje in visoke investicijske stroške. Poleg tega je pri režimu izkoriščanja vodotokov potrebno upoštevati še zahteve, ki jih postavljajo ribiči in naravovarstveniki.

3.3 Hipoteze

H1: Prihodki električne energije iz srednje velikih hidroelektrarn moči so odvisni od pretoka vode, padavin, temperature in cene elementov za proizvedeno električno energijo v hidroelektrarnah.

H2: Prihodki na enoto prodane kilovatne ure so odvisni od cene za energijo in subvencij, instrumenta za spodbujanje.

4 Rezultati

4.1 Proizvodnja električne energije

Gorenjske elektrarne so v letu 2012 proizvajale električno energijo v 15 hidroelektrarnah z instalirano močjo 11,568 megavatov, od tega imajo v lasti 14 malih hidroelektrarn in v upravljanju eno hidroelektrarno.
Glede na strukturo proizvodnih virov hidroelektrarne pomenijo 76,3 % delež, sončne elektrarne 20,2 % delež, kogeneracijske enote za soproizvodnjo toplote in električne energije pa 3,6 % delež.

Tabela 2: Struktura proizvodnih virov in proizvodnja električne energije

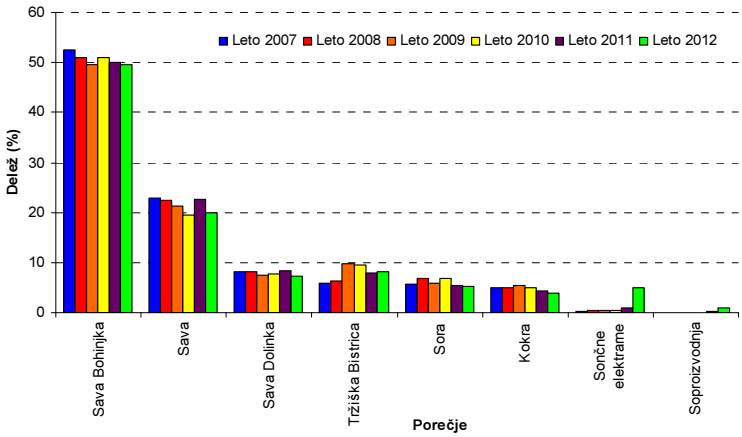
Vrste proizvodnih virov	Proizvodni viri			Proizvodnja električne energije v letu 2012	
	Število	Instalirana moč (MW)	Delež (%)	Količina (kWh)	Delež (%)
Hidroelektrarne	15	11,568	76,29	47.433,700	93,96
Sončne elektrarne	16	3,056	20,15	2.554,972	5,06
Soproizvodnja	6	0,540	3,56	494,543	0,98
Skupaj	37	15,164	100,00	50.483,215	100,00

Vir: izračuni Drago Papler

Proizvodnja električne energije v proizvodnih objektih Gorenjskih elektrarn je bila v 2012. letu 50.483 MWh, kar je 97,0 % glede na plan. Proizvodnja električne energije v Gorenjskih elektrarnah predstavlja 5,14 % delež glede na porabljeno električno energijo na Gorenjskem v letu 2012. V podjetju Gorenjske elektrarne proizvodnja električne energije iz hidroelektrarn pomeni 94,0 % delež proizvodnje, sončne elektrarne imajo 5,0 % delež, soproizvodnja pa 1,0 % delež.
Skupno zmanjšanje emisij CO_2 iz hidroelektrarn, sončnih elektrarn in soproizvodnje podjetja Gorenjske elektrarne v letu 2012 je 25.241,6 ton emisij CO_2.

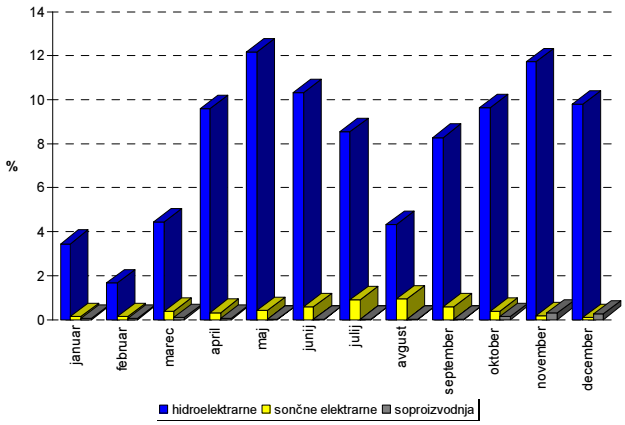
V družbi Gorenjske elektrarne, ki je peti slovenski največji proizvajalec električne energije iz hidroelektrarn, je bila v letu 2012 iz malih in srednjih hidroelektrarn skupna proizvodnja 47.434 MWh. Proizvedena električna energija iz hidroelektrarn daje okoljske prihranke z zmanjšanjem 23.717 ton emisij CO_2.
Z vidika mesečne proizvodnje je bila dosežena največja proizvodnja maja 12,6 %, novembra 12,2 %, junija 10,9 %, decembra 10,2 %, oktobra 10,2 % in aprila 10,0 %.
Nižja proizvodnja in prodaja električne energije je predvsem rezultat nižje hidrologije v letu 2012, ki pa se je nadomestila z večjimi vlaganji v sončne elektrarne, ki je nadomestila izpadlo proizvodnjo zaradi spomladanske suše.

Štiri srednje hidroelektrarne (hidroelektrarna Savica, hidroelektrarna Sava, hidroelektrarna Soteska in hidroelektrarn Lomščica), ki sodijo v velikostni razred od 1 do 10 MW moči so proizvedle 75,4 %, največ hidroelektrarna Savica s 39,9 %.
Med malimi hidroelektrarnami moči do 1 MW ima najpomembnejši delež hidroelektrarna Mojstrana s 6,0 %, od 1,5 – 3 % delež imajo hidroelektrarna Škofja Loka, hidroelektrarna Kokra 2,17 % in hidroelektrarna Standard.



Slika 1: Delež porečij hidroelektrarn in drugih proizvodnih virov v skupni proizvodnji električne energije v obdobju 2007–2012. Vir: izračuni Drago Papler

Polovico vse električne energije je bilo proizvedeno v porečju Save Bohinjke (49,55 %), dvajsetino v porečju Save (19,98 %), v porečju Tržiške Bistrice 8,12 %, v porečju Save Dolinke 7,14 %, v porečju Sore 5,24 % in v porečju Kokre 3,94 %.



Slika 2: Delež proizvodnje glede na vrsto elektrarn za posamezni mesec leta 2012.
Vir: izračuni Drago Papler

4.2 Produkcijska funkcija pretočne srednje hidroelektrarne Sava

Z regresijsko analizo ocenimo prihodkovno funkcijo pri proizvodnji električne energije iz srednje velikih hidroelektrarn moči nad 1 MW do 10 MW, kjer je odvisna spremenljivka vrednost prodane električne energije v hidroelektrarni (C), pojasnjevalne spremenljivke pa so pretok vode (m^3/s), proizvodnja električne energije (MWh), cena električne energije za proizvedeno električno energijo iz hidroelektrarn (P_he), temperatura (stC) in padavine (mm). V modelu smo uporabili mesečne podatke količinske proizvodnje in vrednosti realizirane prodaje električne energije po podatkih Gorenjskih elektrarn in meterološke podatke Agencije RS za okolje (ARSO) Ministrstva za okolje in prostor.

Tabela 3: Prihodkovna funkcija HE Sava, mesečni podatki

		Konstanta	Srednji pretok reke Sava (m^3/s)	Povprečna mesečna temperatura (st C)	Cena električne energije iz hidroelektrarn (€/kWh)	$AdjR^2$	F
		ln(Const.)	ln_Qsr_sava	ln_temp	ln_P_he		
1	ln_C_sava	12,326	0,195	0,046	1,198	0,446	37,015
		(30,865)	(5,359)	(2,333)	(8,528)		
2	ln_C_sava	12,621	0,243		1,043	0,444	62,848
		(37,915)	(7,077)		(8,844)		

ln – naravni logaritem. V oklepaju je t-statistics.
Vir: izračuni Drago Papler.

Legenda:
L_C_sava – prihodki od prodane proizvedene električne energije HE Sava (MWh)
L_proizv_sava – mesečna proizvodnja električne energije HE Sava (MWh)
L_Qsr_sava – mesečni srednji pretok Qsr na reki Sava, postaja Okroglo (m^3/s)
L_temp_stC – povprečna mesečna temperatura, postaja MOP Brnik (st C)
L_mm_padavine – letna višina padavin, postaja Brnik (mm)

Ocenjena prihodkovna funkcija kaže, da povečanje srednjega pretoka vode za HE Sava za en odstotek povečuje prihodke od proizvodene električne energije od 0,195 % do 0,243 %. Povečanje prodajne cene električne energije iz hidroelektrarn za en odstotek povečuje prihodke z naslova prodane električne energije od 1,043 % do 1,198 % (tabela 3).

Tabela 4: Prihodkovna funkcija HE Sava, mesečni podatki

		Konstanta	Proizvodnja električne enegije (MWh)	Povprečna mesečna temperatura (st C)	Cena električne energije iz hidroelektrarn (€/kWh)	$AdjR^2$	F
		ln(Const.)	ln_proizv_sava	ln_temp	ln_P_he		
1	ln_C_sava	7,878	0,776		1,171	0,400	56,763
		(9,964)	(7,927)		(7,345)		

ln – naravni logaritem. V oklepaju je t-statistics.
Vir: izračuni Drago Papler.

Ocenjena prihodkovna funkcija kaže, da povečanje proizvodnje električne energije v HE Sava za en odstotek povečuje prihodke od proizvodene električne energije od 0,776%.
Povečanje prodajne cene električne energije iz hidroelektrarn za en odstotek povečuje prihodke prodane električne energije za 1,171%.
Hkratno odstotno povečanje cene električne energije iz hidroelektrarn in proizvodnje električne energije za odstotek povečuje 0,909% povečanje prihodkov za električno energijo (tabela 4).

Prihodkovno funkcijo Gorenjskih elektrarn pojasnimo z odvisno spremenljivko prihodkov na enoto prodane kilovatne ure (ln_P_prihodki) in odvisnima spremenljivkama: ceno za energijo (ln_P_energija) in premijo (ln_P_premija), instrumentu za spodbujanje.

Tabela 5: Prihodkovna funkcija podjetja

		Konstanta	Cena energije na enoto (€/kWh)	Subvencija na enoto (€/kWh)	$AdjR^2$	F
		ln(Const.)	ln_proizv_he	ln_P_he		
1	ln_GE_P_prihodk	0,541	0,506	0,041	0,862	128,850

	i	(17,081)	(14,102)	(3,504)		

ln – naravni logaritem. V oklepaju je t-statistics.
Vir: izračuni Drago Papler.

Legenda:
ln_GE_P_prihodki – vrednost prihodki na enoto prodane električne energije (€/kWh)
ln_GE_P_energija – cena energije na enoto prodane električne energije (€/kWh)
ln_GE_P_premija – vrednost subvencije na enoto prodane električne energije (€/kWh)

Ocenjena prihodkovna funkcija kaže, da povečanje cene električne energije za en odstotek povečuje vrednost prihodkov 0,589 %. Povečanje vrednosti premije na enoto prodane električne energije iz hidroelektrarn za en odstotek povečuje vrednost prihodkov na enoto prodane električne energije za 0,040 % (tabela 5).

5 Diskusija

5.1 Praktični primer vzdrževanja

Vzdrževanje hidroenergetskih naprav je pomembno predvsem zaradi zagotavljanja obratovalne pripravljenosti in ustrezne življenjske dobe naprav. Dobro sodelovanje obratovalnega in vzdrževalnega osebja pri pravočasnem odkrivanju in odpravljanju napak in poškodb zmanjšuje stroške vzdrževalnih del in povečuje število obratovalnih ur naprave. Usposobljenost in izkušenost delavcev dosežemo z ustrezno organizacijo izobraževanja, prenosom znanja in seznanjanju delavcev z novimi tehnologijami. Poleg spodbujanja inovativnosti je treba zagotoviti tudi ustrezno nagrajevanje tehničnih izboljšav.

Na učinkovito vzdrževanje pomembno vpliva tudi natančna diagnostika naprav. Primerni instrumenti in merilniki omogočajo zelo natančno ugotavljanje stanja in meritve tako elektro kot strojnih naprav. V strojni stroki je zlasti pomembna diagnostika gibljivih delov (na primer kotalnih ležajev), s katero je mogoče zelo natančno določiti iztrošenost in čas zamenjave posameznih elementov. Za kvalitetno izvedbo vzdrževalnih del je zelo pomembno dobro načrtovanje in poznavanje stanja naprav, kar je možno samo z dobro evidenco opravljenih del.

Na zmanjšanje onesnaževanja in zaščito okolja lahko vplivamo predvsem z uporabo ekološko razgradljivih maziv, samomazalnih materialov in umetnih mas, kjer ni potrebna uporaba mazalnih sredstev, pa lahko znatno.

Učinek kvalitetnega vzdrževanja hidroenergetskih naprav na proizvodnjo električne energije bo prikazan v tistih malih elektrarnah v lasti Gorenjskih elektrarn, d.o.o., ki so bile zgrajene oz. obnovljene v okviru projekta 100 malih hidroelektrarn v Sloveniji.

5.2 Daljinsko nadzorovanje hidroelektrarn

Specifika objektov malih hidroelektrarn je dejstvo, da tudi dva objekta nista enaka, zaradi različnih naravnih danosti lokacije to je različnega padca in instaliranega pretoka so vsi agregati unikatni. Ker so objekti različno stari, so nekateri realizirani s starejšimi rešitvami upravljalnih sistemov, nekateri z modernimi, nekateri pa tudi s popolnoma zastarelimi. Objekti so tudi geografsko razpršeni po vsej Gorenjski, zato je izvedba centralnega sistema upravljanja malih hidroelektrarn precej kompleksen problem. Gorenjske elektrarne od leta 2011 razvijajo nadzorni SCADA sistem za nadzor in upravljanje sistema malih hidroelektrarn, v katerega je vključeno že 13 elektrarn.
Hidroelektrarne so posodobljene, delujejo s pomočjo najmodernejše opreme (krmilniki, hidravlika) ter so daljinsko nadzorovane s programom SCADA (Čadež, 2013).

Ključnega pomena je učinkovit nadzor nad delovanjem elektrarne, kar omogoča hitrejše ukrepanje v primeru izpadov ali izrednih stanj. Z znanjem in izkušnjami se podjetje Gorenjske elektrarne uvršča med pomembne partnerje na področju avtomatiziranega delovanja hidroelektrarn tudi za zunanje investitorje. Lastnikom hidroelektrarn ponuja možnost daljinskega upravljanja in posledično zmanjšanje stroškov upravljanja elektrarne.

5.3 Ovire pri gradnji hidroelektrarn

Pretirana okoljska zaščita in zapleteni postopki pri pridobivanju koncesij za izrabo vode onemogočajo večja vlaganja v male in srednjih hidroelektrarn. Z zajezitvami se voda umirja, pri visokotlačnih hidroelektrarnah gre glavnina vode po cevovodu, po strugi pa teče le biološki minimum *Qes*. Z uvedbo območij NATURA 2000 se je okoljska zaščita mnogo povečala. Vsa območja vodnega sveta s potoki in rekami so pod različnimi vodovarstvenimi in okoljevarstvenimi zaščitami.

5.4 Problematika in rešitve

Slovenija ima še vedno precej možnosti za gradnjo novih malih hidroelektrarn in za povečanje instalacij obstoječih, kljub temu pa se zelo malo gradi. Glavni razlogi so v slabi ekonomiki, nerešenih lastniških razmerjih in mnogokrat nerazumni okoljski zaščiti.
Imamo dovolj možnosti in lokacij za povečanje obstoječih malih hidroelektrarn in za gradnjo novih. Glavni razlog, da se malih hidroelektrarn v Sloveniji skoraj ne gradi več pa je varovanje okolja, hidroelektrarne vnašajo precejšnje spremembe v rečni vodni režim.

5.5 Upravljanje s tveganji

Pri upravljanju s tveganji in priložnostmi, ki jih prinašajo podnebne spremembe, je potrebno upoštevati prilagajanje na podnebne spremembe, ki skozi analizo preteklih obdobij dajejo možne scenarije, ki jih upoštevamo pri napovedovanju in ukvarjanju z negotovostjo. Postopek prilagajanja temelji na analizi vplivov povezanih s preteklimi in / ali izjemnimi vremenskimi dogodki.

6 Sklep

Vsaka proizvodnja, torej tudi proizvodnja električne energije, je nujno povezana z vprašanjem vpliva na okolje. Stremimo za čim boljšo izrabo naravnih danosti in seveda za čim manjšo obremenitev okolja.

Prispevek hidroelektrarne Sava v 90-letnem obratovanju k okolju je merljiv in za zgled doprinosa k boju proti podnebnim spremembam. Takšen prispevek bo potrebno naprej negovati in razvijati. Država mora čim prej spozna pomen te hidroenergije za kar naj bi dala več spodbud in povzročala manj zapletov pri pridobivanju soglasij za tovrstne projekte.

Hidroelektrarne ne onesnažujejo okolja, objekti imajo dolgo življenjsko dobo in nizke obratovalne stroške. Hidroenergija je v primerjavi z drugimi viri električne energije, tu mislimo na fosilna goriva in uranovo rudo, razmeroma poceni in čist energetski vir. Pri delovanju hidroelektrarn ni odpadkov in emisij ogljikovega dioksida ali drugih onesnaževalcev ozračja.

Za doseganje cilja Evropske Unije, da se poveča delež obnovljivih virov energije za Slovenijo na 25 % do leta 2020 bo potrebno bolj fleksibilno pristopiti k urejanju postopkov za izgradnjo in doinstalacijo malih in srednjih hidroelektrarn in uravnotežiti politiko subvencioniranja pri podporah za male hidroelektrarne, saj so pomemben alternativni vir električne energije, ki ima največji delež v slovenski elektroenergetski oskrbi.

Male hidroelektrarne so alternativni vir električne energije, ki ima opazen delež v slovenski elektroenergetski preskrbi.
Male hidroelektrarne bogatijo kulturo krajine in lokalno oskrbo z energijo v trajnostnem razvoju.

Vzdrževanje energetskih naprav v hidroelektrarnah predstavlja pomemben dejavnik pri obratovanju hidroelektrarne in izkoriščanju vodnega potenciala vodotoka z vidika proizvodnje električne energije.

Redno izvajanje preventivnih vzdrževalnih del podaljšuje življenjsko dobo in izboljšuje lastnosti posamezne opreme in naprav.

Preventivna vzdrževalna dela upoštevamo že pri planiranju proizvodnje električne energije v posamezni hidroelektrarni. Preventivna vzdrževalna dela se običajno izvajajo v času slabših hidroloških razmer, saj je takrat izpad proizvodnje veliko manjši ali ga celo ni (če sta v posamezni hidroelektrarni vgrajena dva agregata ali več). To pomeni, da primerno izvajanje preventivnih vzdrževalnih del izboljšuje razpoložljivost naprave in s tem večjo proizvodnjo električne energije.

Izvajanje kurativnega vzdrževanja ali izvajanje vzdrževanja po nastali okvari, nam lahko v začetku obratovanja posamezne naprave pomeni boljšo proizvodnjo električne energije. Takšno vzdrževanje dolgoročno pomeni, da bomo zaradi izvajanja kurativnega vzdrževanja napravi poslabšali lastnosti do take mere, da bo potrebno zamenjati vse vitalne dele naprave ali celotno napravo. V primeru kurativnega vzdrževanja običajno pride do večje okvare v času največje obremenitve naprave, to je v času najboljših hidroloških razmer, ko vsak izgubljen dan obratovanja predstavlja zmanjšanje proizvodnje električne energije.

Z vidika dolgoročnega obratovanja hidroelektrarne je, glede na zgornje ugotovitve, primernejše izvajati redna preventivna vzdrževalna dela, saj nam to prinaša boljši izkoristek hidrologije vodotoka in s tem boljšo proizvodnjo električne energije v hidroelektrarni.

7 Literatura in viri

Basej, Janez in Papler, Drago. Vpliv vzdrževanja energetskih naprav v hidroelektrarnah na proizvodnjo električne energije. *11. konferenca slovenskih elektroenergetikov, Laško, 27. maj - 29. maj 2013*. Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRÉ – CIRED, 2013.

Bojnec, Štefan in Papler, Drago. Climate change, energy intensity use and local green energy supply management. *MIC'07 – management International Conference 2007. 8th International Conference of the Faculty of Management Koper, University of Primorska.* Koper: Faculty of Management, University of Primorska, 2007.

Bojnec, Štefan in Papler, Drago. Wholesale-to-retail electricity supply management in Slovenia. *MIC'07 – management International Conference 2007, 8th International Conference of the Faculty of Management, University of Primorska.* Koper: Faculty of Management, University of Primorska, 2007.

Bojnec, Štefan in Papler, Drago. Green hydro electricity supply management in Slovenia. V: 9th International Conference organised by the University of Primorska, Faculty of Management Koper, Slovenia, University Centre for Euro-Mediterranean Studies, Slovenia, and European Institute of the Mediterranean, Spain, 26-29 November 2008, Barcelona, Spain. *Intercultural dialogue and management : 9th international conference*. Koper: Faculty of Management, University of Primorska, 2007, str. 1603-1610.

Čadež, Jurij. Nadzorni sistem za upravljanje razpršenih virov električne energije. *Vivus, 2. znanstvena konferenca z mednarodno udeležbo s področja kmetijstva, naravovarstva, hortikulture in živilstva, Strahinj, Biotehniški center Naklo, 24.-25. april 2013. Znanje in izkušnje za nove podjetniške priložnosti : zbornik referatov*. Strahinj: Biotehniški center Naklo, 2013.

Drstvenšek, I. Vzdrževanje v poindustrijski dobi, v luči standarda SIST EN 13306. Maribor: Društvo mehatronikov DRUM, 2006.

Gorenjske elektrarne. Interni podatki o proizvodnji in prodaji električne energije, 2014.

Papler, Drago. Kvalificirane hidroelektrarne z vidika doseganja 20 % deleža proizvodnje obnovljivih virov energije do leta 2020?. V: PURGAR, Mateja (ur.). *Obnovljivi viri prihodnosti : [zbornik]*. Kranj: Elektro Gorenjska, 2008, f. 53-62.

Papler, Drago. Nakup in prodaja električne energije Distribucije Slovenije. *Zgodovina razvoja elektrogospodarstva Slovenije 1980 – 2005*. Ljubljana: Elektrotehniška zveza Slovenije, 2007.

Požun, Drago.Vzpostavitev in obvladovanje proizvodnje, obratovanja in vzdrževanja v družbi »*Hidroelektrarne na spodnji Savi*«, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2011.

Petrak, M. Vrste preventivnega vzdrževanja, Šola za častnike – zaključna naloga, Ljubljana, 2006.

Pišljar, M., Troha, J. Benigar, D. Celovita obnova male hidroelektrarne (primer rudniške elektrarne Mežica). Ljubljana: *Acta hydrotehnica* št. 18/29, 2000.

Spletna stran, http://www.gek.si, september 2014.