

Akumulacijska hidroelektrarna Lomščica – pozitivni učinki po rekonstrukciji

Avtorja prispevka:

DRAGO PAPLER, GORENJSKE ELEKTRARNE, D. O. O., drago.papler@gorenjske-elektrarne.si

JANEZ BASEJ, GORENJSKE ELEKTRARNE, D. O. O., janez.basej@gorenjske-elektrarne.si

Izvleček

Na podlagi štiriletnih izkušenj ob različnih hidroloških pogojih so se pokazale tehnične rešitve rekonstrukcije zajetja in obnove akumulacijskega bazena kot ustrezne. V prispevku bomo predstavili investicijski projekt in analizirali učinke po rekonstrukciji s tehnološko-sociološkega, gospodarsko-ekonomskega (letna proizvodnja) in okoljskega (primerna vključenost v gorsko krajino) vidika.

Rekonstrukcija zajetja akumulacijske hidroelektrarne Lomščica instalirane moči 2 MW je bila največja investicija Gorenjskih elektrarn, proizvodnja elektrike, d. o. o. v zadnjem desetletju. Obstoječe »tirolsko« zajetje hidroelektrarne Lomščica se je pri obratovanju od leta 1991 izkazalo kot neustrezno. Prisotne so bile težave z vzdrževanjem vtočnih rešetak ter vnašanje ogromnih količin peščenih frakcij vodotoka Lomščica. Zaradi usedlin je bil akumulacijski bazen čiščen trikrat.

Načrtovana srednja letna proizvodnja električne energije hidroelektrarne Lomščica je 2.980.000 kWh vršne električne energije. Je obnovljiv vir energije – hidroelektrarna Lomščica izkorišča padavinsko območje 20 km² in ima z vidika sezonskosti največjo proizvodnjo v jesenskih mesecih, kar je posledica deževja, in v spomladanskih mesecih, ko se tali sneg v gorah. Posodobitev zajetja hidroelektrarne Lomščica pomeni izboljšanje varnosti obratovanja in povečanje povprečne letne proizvodnje električne energije v letih 2008–2011 za 17,92 % v primerjavi z načrtovano. V najbolj vodnatem letu je bila proizvodnja za 43,1 % večja od načrtovane, v najmanj vodnatem letu pa je bila od načrtovane za 11,0 % manjša.

Ključne besede: hidroelektrarna, letna proizvodnja, vršna energija, elektrika, akumulacijski bazen

LOMŠČICA HYDRO ACCUMULATION POWER STATION – POSITIVE POST- RECONSTRUCTION EFFECTS

DRAGO PAPLER, GORENJSKE ELEKTRARNE, D.O.O., drago.papler@gorenjske-elektrarne.si

JANEZ BASEJ, GORENJSKE ELEKTRARNE, D.O.O., janez.basej@gorenjske-elektrarne.si

Summary

Four years' experience involving varying hydrological conditions showed that the technical solutions of catchment reconstruction and accumulation reservoir renovation are adequate. The paper presents the investment project and includes an analysis of post-reconstruction effects from a technological-sociological view, economic view (annual production) and environmental view (suitable integration in mountain landscape).

The reconstruction of the catchment of the Lomščica Hydro Accumulation Power Station with the nominal capacity of 2 MW was the largest investment made by Gorenjske elektrarne, proizvodnja elektrike, d.o.o. in the past decade. The existing "Tyrolean" catchment of the Lomščica Hydro Accumulation Power Station proved to be operationally inadequate since

1991. There were problems with maintenance of intake trash racks and input of huge quantities of sand fractions from the Lomščica water course. Due to deposits the accumulation reservoir was cleaned three times.

The planned mean annual electricity generation by the Lomščica Hydro Accumulation Power Station is 2,980,000 kWh of peak electricity. A renewable energy source – Lomščica Hydro Accumulation Power Station is utilising a precipitation area covering 20 km². Of all seasons, its production is the highest in the autumn months due to rainfall and in the spring due to mountain snow melting. The modernisation of catchment of the Lomščica Hydro Accumulation Power Station results in safer operation and a 17.92% higher mean annual electricity production in 2008-2011 compared to the plan. In the year with the highest water discharges the production exceeded the plan by 43.1%, while in the year with the lowest discharge it was 11.0% lower than planned.

Key words: hydro power station, annual production, peak energy, electricity, accumulation reservoir

1 UVOD

HE Lomščica je akumulacijska, derivacijska elektrarna. Locirana je nad vasjo Lom pod Storžičem in izrablja del vodnega potenciala Lomščice. Karakteristični podatki HE so sledeči:

- inštalirani pretok $Q_i = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$
- srednji letni pretok ${}_sQ_s = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$
- srednji nizki pretok ${}_sQ_n = 0,160 \text{ m}^3/\text{s}$
- kota zg. vode $Q_{zg} = 672,20$
- kota maks. vode $Q_{100} = 674,04$
- bruto padec $H_b = 117,90 \text{ m}$
- neto padec $H_n = 114,81 \text{ m}$

Zaradi težav z vzdrževanjem vtočnih rešetak in vnašanja prevelikih količin peščenih frakcij v akumulacijski bazen je bila izvedena ukinitiv talnega zajetja (tirolskega zajetja) ter izgradnja novega bočnega zajetja s talnim prodnim izpustom. Istočasno se je bistveno povečal tudi peskolov.

Bočno zajetje je zgrajeno na levem bregu potoka Lomščica. Vgrajena je bila sledeča hidromehanska oprema: izpustna jeklena tablasta zapornica na jezu, grobe rešetke bočnega zajetja, vtočna kotalna jeklena tablasta zapornica v peskolov, fine rešetke s čistilnim strojem in izpustna jeklena tablasta zapornica iz peskolova. Za dvig in spust zapornic je vgrajena skupna oljetlačna naprava (HPA), ki preko hidravličnih valjev omogoča krmiljenje zapornic.

2 OD PROJEKTA DO IZGRADNJE

2.1 Projekt in izvedba

Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja rekonstrukcije zajetja hidroelektrarne Lomščica je izdelal IKB, d.o.o. leta 2006. Marca 2007 so bila urejena lastniška razmerja in na podlagi projekta pridobljeno gradbeno dovoljenje Upravne enote Tržič. IKB, d.o.o. je izdelal projekte za izvedbo gradbenih del, v projektivi Gorenjskih elektrarn pa so bili izdelani projekti elektro in strojne opreme. Elektro omara in čistilni stroj sta bila izdelana v elektro in strojni delavnici Gorenjskih elektrarn, zapornice je izdelalo podjetje Vargro, d.o.o., hidravlično opremo pa Kladivar Žiri in Mapro, d.o.o. Izvajalec gradbenih del je bilo Vodnogospodarsko podjetje, d.d. iz Kranja s podizvajalcem HIS, d.o.o., nadzor nad gradnjo je opravljal Domplan Kranj, d.d. Gradbena dela so se pričela septembra 2007. Najprej je bil delno porušen obstoječi talni prag, obstoječi peskolov, kateri je bil poddimenzioniran in ni omogočal usedanja zadostnih količin vnešenega peščenega materiala. Groba gradbena dela so bila zaključena do konca decembra 2007, vodotok je bil skozi nov betonski objekt preusmerjen januarja 2008, sledila

je montaža strojne in elektro opreme. Tehnični pregled novega gradbenega objekta in vgrajene elektro-strojne opreme z izvršilno dokumentacijo s strani nadzornih, izvedenskih, inšpekcijskih in upravnih pooblaščenцев je bil opravljen 15. decembra 2008, uporabno dovoljenje pa je Upravna enota Tržič izdala januarja 2009.

2.2 Opishidroelektrarne

Proizvodna enota HE Lomščica se nahaja nad vasjo Lom pri Tržiču, kjer izrablja vodni energetski potencial potoka Lomščica s srednjim pretokom $Q_i = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednjetlačna pretočno akumulacijska hidroelektrarna je bila zgrajena leta 1991 in je edina akumulacijska hidroelektrarna podjetja Gorenjske elektrarne, d.o.o.

2.2.1 Dovodnisistem

Zajetje HE Lomščica je sestavljalo planinsko zajetje z dovodnim kanalom do peskolova, peskolov s prodnim izpustom ter prelivnimi odprtini ter objekti zavarovanja brežin in dna korita v območju talnega praga ter podslapja. Kota praga na jezu je 673,65 m, kota normalne gladine (zgornja voda) pa 672,20 m.

Jez je bil postavljen pravokotno na korito vodotoka Lomščica. Vzvodna stran jezu je bila vertikalna, nizvodna pa je bila nagnjena proti koritu. Širina jezu je bila 10 m, na bregovih se je zaključila s krilnima zidovima. V telesu jezu je potekal zbirni kanal proti peskolovu, prekrit z grobimi rešetkami. Na vtoku v peskolov je bila vgrajena zapornica. Peskolov dolžine 15 m je potekal vzporedno s strugo. Za izpiranje peskolova je pred vtokom v betonski cevovod je bil talni izpust, opremljen s tablasto zapornico z dnem na koti 670,15 m. Za odvajanje visokih voda so na vodni strani peskolova štiri prelivne odprtine.

Povezava med zajetjem in akumulacijskim bazenom je izvedena z vkopanimi betonskimi cevmi prereza 1400 mm, dolžine 263 metrov. Varnostni preliv, ki preprečuje prekomeren dvig vode v bazenu, se nahaja na polovici cevovoda.

2.2.2 Akumulacijski bazen

Zgrajen je v veliki naravni kotanji trikotne tlorisne oblike. Zaradi majhnih dimenzij objekta in majhne stopnje ogroženosti nižje ležečih stanovanjskih objektov, se ne zahteva stalen nadzor. Vzpostavljen je sistem opazovalnih točk.

Akumulacijski bazen prostornine 62.300 m^3 se pri srednjem pretoku potoka Lomščica ($Q_{si} = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$) polni približno 16 ur. Prazni pa se približno 8 ur pri inštaliranem pretoku HE (ki je $Q_i = 2 \text{ m}^3/\text{s}$), brez upoštevanja dotoka. Gladina vode v akumulacijskem bazenu se v času praznjenja zniža za 13 metrov. Tik za izstopom iz bazena se nahaja vodostan, kjer so varnostne lopute tlačnega cevovoda.

Po dobrih dvajsetih letih uspešnega obratovanja je bila potrebna sanacija akumulacijskega bazena. Zaščitna vodotesna obloga v bazenu je izdelana iz armiranih plošč penobetona približne velikosti $4 \times 5 \text{ m}$, med katerimi so približno 4 cm široke in 8 cm globoke rege. Prvotno so bile te rege zapolnjene z elastobitumnom in zaradi zaščite pred ultravioletnimi žarki prekrite s posebnim zaščitnim trakom. Ta trak se je sčasoma na določenih mestih odlepil, elastobitumen pa pod vplivom sončnih žarkov, vročine in zmrzali deloma iztekel oziroma odpadel. Pokazala se je nevarnost, da bi zaradi netesnosti v regah lahko prišlo do pronicanja vode, izpiranja podlage in posedanja penobetonskih plošč.

Sanacija reg je bila opravljena s posebnim postopkom prednamaza Eurolan TG2, nanosa prvega sloja visokofleksibilne tesnilne mase Superflex D2, ki je zapolnila celotno rego in stransko zarezano utore, nakar je sledil nanos drugega sloja v katerega je bila preko področja rege položena specialna vodotesna folija iz butil-kavčuka širine 30 centimetrov.

2.2.3 Tlačni cevovod

720 metrov dolg tlačni cevovod je jeklen prereza 1.016 mm in na celotni trasi položen v zemljo, obbetoniran ter na lomnih točkah sidran. Bruto padec $Q_b = 117,9 \text{ m}$ in neto padec 114,81 m.

2.2.4 Strojnica

Špiralna Francis turbina z nazivno močjo 2,012 MW ima 1000 vrtljajev na minuto in izkorišča neto padec 114,81 m. Poganja trifazni sinhronski generator nazivne moči 2,4 MVA

Transformator je moči 2,5 MVA HE Lomščica je z elektroenergetskim sistemom povezana preko 20 kV daljnovoda.

Hidroelektrarna Lomščica se upravlja ročno, avtomatsko in daljinsko iz distribucijskega centra vodena Kranj. Daljinsko vodenje omogoča upravljanje in nadzor hidroelektrarne.

2.3 Utemeljitev rekonstrukcije zajetja

Zgrajeno planinsko (tirolsko) zajetje se je pri dolgoletnem obratovanju izkazalo kot neustrezno, ker pri projektiranju ni bila upoštevana velika prodonosnost in nanos listja v jesenskem času.

Prodno gručasti material, ki naj bi se v času visokih vodostajev v celoti evakuiral preko jezovne zgradbe in tudi rešetk se je pogosto zaklinjal med palice rešetk - odstranjevanje je bilo zelo težavno in zaradi težkega dostopa in spolzkih površin, ki so večji del časa pod vodo, tudi nevarno. Zamašene rešetke planinskega (talnega) zajetja je posluževalec lahko čistil samo tako, da je varovan z vrvjo in v visokih škornjih šel v strugo ter z grabljami ročno odstranil naplavine. To delo je bilo življenjsko nevarno in proti varnostnim pravilom. Proda v bazenu nad zaježitvijo pa ni bilo mogoče izpirati, ker v projektu ni bila predvidena zapornica za izpust iz zaježitve v strugo pod jezom.

Peskolov je imel premajhno prostornino, zato se voda pri pretokih večjih od 0,5 m³/s v njem ni umirila in drobne frakcije nato odnašala naprej v akumulacijski bazen. Če se je ob večjem deževju za kratek čas zamudilo z zaprtjem vtočne zapornice, se je peskolov hitro napolnil z prodom, ki ga je voda nato odnašala naprej v akumulacijski bazen. Del teh naplavin je voda odnašala skozi tlačni cevovod, kar je povzročalo poškodbe na turbini. Pri večjih pretokih vodotoka Lomščice, ko bi elektrarna lahko obratovala neprekinjeno s polno močjo 2 MW, pa smo morali obratovanje elektrarne zaustaviti zaradi velikih nanosov usedlin v akumulacijski bazen.

Zaradi izrazito hudourniškega značaja vodotoka Lomščica je bil v času od pričetka obratovanja vnos drobnih frakcij v akumulacijski bazen razmeroma velik. V akumulacijskem bazenu se je "usedlo" večina vnesenih delcev. V kombinaciji z usedlim listjem iz okolice bazena se je na dnu formiral sloj materiala različne konsistence, ki pa ga ni bilo mogoče odstraniti z izpiranjem, kot je bilo prvotno predvideno. Zato je na koncu peskolova pred vstopom vode v betonski cevovod proti akumulacijskemu bazenu manjkal čistilni stroj, ki bi odstranil večji del listja in drobnih delcev lesa. V usedlinah v akumulacijskem bazenu je bilo poleg blata, mivke in gramoza tudi velik del teh naplavin.

Zaradi usedlin smo akumulacijski bazen doslej čistili dvakrat – prvič leta 1999, ko se je po 8-letnem obratovanju nabralo za cca. 1200 m³ naplavin in drugo čiščenje avgusta 2005, ko smo iz akumulacije odpeljali cca 800 m³ naplavin. Odstranjevanje usedlin iz bazena je zelo drago, ker zaradi nevarnosti poškodovanja nepropustne obloge bazena iz penobeta ne moremo uporabljati težke mehanizacije. Naplavine smo iz bazena transportirali s pomočjo gozdarske žičnice, zato je bilo obratovanje elektrarne zaustavljeno za cca. dva do tri tedne, stroški vsakokratnega čiščenja pa so znašali cca 50.000 EUR.

2.4 Prenova zajetja

Zaradi odprave zgoraj navedenih težav, povečanja varnosti obratovanja in dodatnih stroškov, je bila izvedba rekonstrukcije vtočnega objekta - zajetja smiselna. Zgradila se je nova jezovna zgradba ter bočno zajetje s povečanim peskolovom in čistilnim strojem na koncu peskolova.

Kota temena novega jezua je nižja od kote temena starega jezua. Zaradi manjše višine novega jezua je specifična obremenitev podslapja ugodnejša (manjša). Evakuacija visokih vod se zagotavlja s prelivanjem preko krone jezua ter odprtim talnim izpustom, ki je lociran ob

peskolovu. Zavarovanje podslapja se v večjem delu ohrani in deloma prilagodi novemu stanju.

Izdelali smo nov peskolov večjih dimenzij. Neposredno za bočnim vtokom je vgrajena varnostna zapornica. Dno peskolova je oblikovano tako, da omogoča izpiranje vsedlega materiala skozi izpust z zapornico na dolvodnem delu peskolova. Peskolov je v celoti pokrit in lahko prevzame tudi prometno obtežbo v času montaže opreme in vzdrževalnih del. Vtok v obstoječi dovodni cevovod je opremljen s finimi rešetkami in avtomatskim čistilnim strojem. Neposredno za čistilnim strojem (pred vtokom v betonski cevovod) je vgrajena regulacijska zapornica, ki vzdržuje enakomeren nivo vode v peskolovu. Evakuacija odvečnih vod se izvaja preko prelivnih odprtin na obvodni steni peskolova.

Režim obratovanja HE bo ostal nespremenjen. Varnostni preliv, ki so locirani na varnostnem objektu na trasi dovodnega cevovoda do akumulacije bodo ostali nespremenjeni.

Celotna rekonstrukcija je detajlno obdelana v projektni dokumentaciji, ki sta jo izdelali podjetji IKB, d.o.o. - gradbeni del in Gorenjske elektrarne, d.o.o. - strojni in elektro del.

2.5 Časovni potek izgradnje

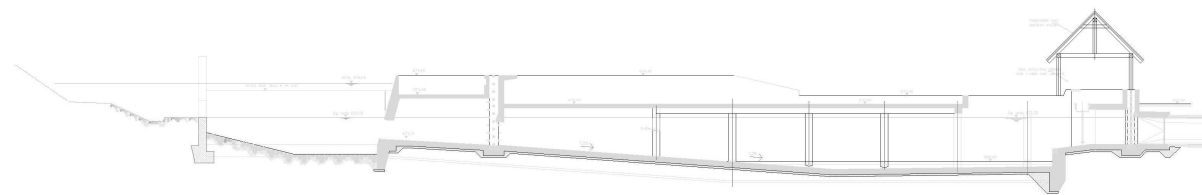
K izdelavi projektne dokumentacije smo pristopili v začetku leta 2006. Po izdelavi Projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja smo pridobili vsa potrebna soglasja in novembra oddali vlogo za izdajo gradbenega dovoljenja. Dovoljenje smo pridobili aprila 2007. Nato smo pristopili k izdelavi Projekta za izvedbo. V času izdelave projekta smo pristopili k razpisu za izbiro izvajalca gradbenih del.

Gradbena dela so se začela v mesecu septembru leta 2007, ko so bila opravljena rušitvena dela in začetek gradbenih del. Začetna gradbena dela je prekinila povodenj, ki je bila 18. 9. 2007 in je podaljšala gradnjo za 1 mesec. Decembra 2007 smo vgradili vbetonirane dele čistilnega stroja in vodila zapornic. Ugodne vremenske razmere so omogočile, da smo lahko januarja 2009 preusmerili tok vode skozi novi peskolov v cevovod in tako omogočili obratovanje HE Lomščica neodvisno od nadaljevanja gradbenih del. Marca 2008 smo pristopili k montaži hidromehanske opreme s hidravličnim pogonom, hidravličnega pogonskega agregata in pripadajočega ocevja in končni montaži čistilnega stroja. Novembra 2008 smo oddali vlogo za izdajo uporabnega dovoljenja. Tehnični pregled smo imeli decembra 2008 in smo po odpravi pomanjkljivosti januarja 2009 pridobili uporabno dovoljenje za rekonstruirano zajetje HE Lomščica.

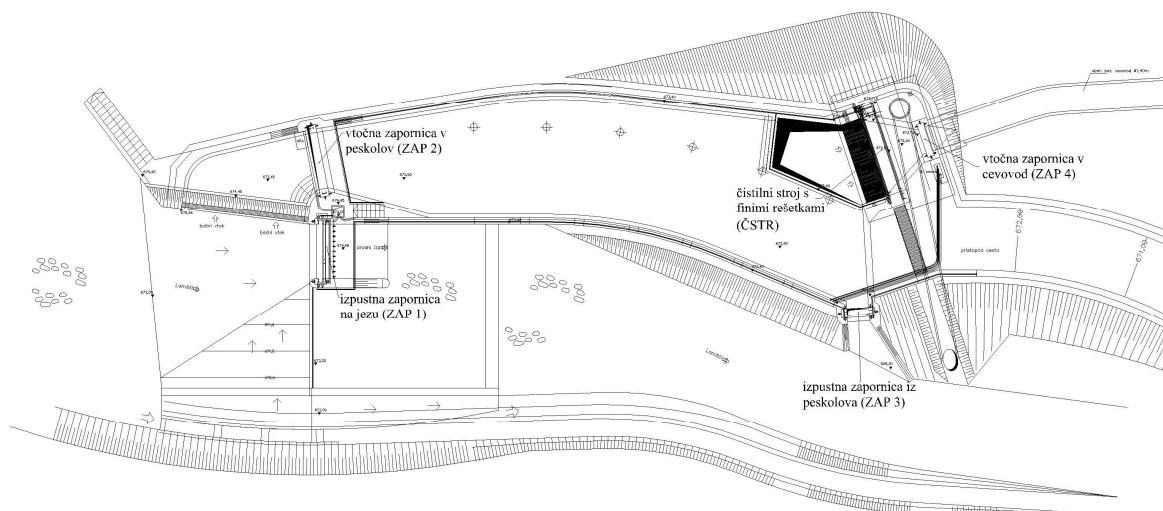
2.6 Izgradnja

2.6.1 Gradbeni del

Lokacija jezovne zgradbe je zaradi spremenjenega načina zajema vode (bočno zajetje) pomaknjena 8,5 m dolvodno od stare jezovne zgradbe. Vodotesna obloga po izgradnji jezu se je obnovila in prilagodila novemu stanju. Novo zavarovanje dna vodotoka in priključekna staro zavarovanje je izveden v območju talnegapraga. Neposredno za bočnim vtokom je lokacija prodnega izpusta, ki je predviden za evakuacijo visokih voda oz. za čiščenje proda pred jezovno zgradbo. Zaradi velikih obremenitev dolvodnegakorita za prodnim izpustom je bilo potrebno kvalitetno zavarovanje dna in brežin. V tem delu se je izdelala obloga iz kamna v betonu debeline 0,80 m z uporabo večjih kamnov. Izven tega območja je izdelana obloga iz kamna v betonu minimalne debeline 0,50 m.



Slika 1: Vzdolžni prerez rekonstruiranega zajetja HE Lomščica



Slika 2: Tloris rekonstruiranega zajetja HE Lomščica

Obstoječi peskolov se je v celoti porušil z izjemo vtočnega dela, ki je izven lokacije novega peskolova. Vtok v peskolov je širine 7,0 m (bočno zajetje z grobimi rešetkami). Celotna dolžina objekta nepravilne tlorisne oblike je ca 30 m. Širina peskolova se s širine 3,50 m v profilu vtočne zapornice dolvodno povečuje na ca 7,50 m. Podolžni nagib dna peskolova je 6,7 %. Najnižji je osrednji del peskolova, po katerem se ob čiščenju peskolova formira najmočnejši tok. Čiščenje je omogočeno z odpiranjem izpustne zapornice. Vtok v obstoječi dovodni betonski cevovod je opremljen z avtomatskim čistilnim strojem širine 4,50 m. Material, ki ga dvigne čistilni stroj se odvaja z izplakovanjem preko odprtega kanala prekrita s povoznimi rešetkami v vodotok. Peskolov je prekrit z armiranobetonsko povozno armiranobetonsko ploščo. Plošča je podprta z zaledno steno peskolova, linijo vmesnih stebrov in slopi med prelivnimi odprtini na vodni strani. Plošča lahko prevzema prometno obtežbo kamiona oz. gradbene mehanizacije v času montaže opreme oz. vzdrževanja opreme in objektov. V objekt je bilo vgrajeno 45.000 kg armature in 300 m³ betona. Za zagotavljanje ekološkega minimuma je v desnem zidu peskolova vgrajena cev fi 150 mm.

2.6.2 Elektro oprema

Projekt rekonstrukcije zajetja obsega avtomatizacijo zajetja ter vzpostavitev komunikacijske zveze med zajetjem, bazenom in strojnico. Elektro oprema novega zajetja zajema več tehnoloških porabnikov električne energije (zapornice, čistilni stroj, črpalka, napajalni 24 V DC sistem in razvod). Novo zajetje je avtomatizirano in vključeno v TCP/IP omrežje novega sistema vodenja. Opremljeno je z videonadzornim sistemom za potrebe spremljanja stanja na jezu.

2.6.3 Strojna oprema

Strojna oprema zajetja zajema vso hidromehansko opremo, katera omogoča nemoteno regulacijo glede na dotok vodotoka Lomščica. Hidromehansko opremo sestavljajo:

- fine rešetke s čistilnim strojem,
- zapornice,
- hidravlični pogon zapornic

2.6.3.1 Fine rešetke s čistilnim strojem

Fine rešetke so locirane na koncu peskolova pred vtokom v betonski cevovod. Postavljene so pod kotom 65 stopinj in so postavljene pravokotno na dotok vode v peskolov. Fine rešetke so spodaj vstavljene v utor jeklenega profila zgoraj pa so naslonjene na rob jeklenega profila ter privarjene na profil. Velikost svetlobe med palicami finih rešetak je 15 mm. Rešetke so sestavljene iz 9 segmentov, kateri so vstavljeni in privarjeni na zgornji naslon.

Čistilni stroj je lociran neposredno pred fino rešetko ter omogoča sprotno čiščenje listja, manjših naplavin ter ostalih nanosov s finih rešetak in tako omogoča normalen pretok vode. Stroj sledi nagibu rešetke ter sovпада v gabarit fine rešetke. Delovanje obratovanja stroja je avtomatsko z ozirom na zamašenost rešetak ali ročno – lokalno ob stroju.

Čistilni stroj je sestavljen iz nosilnega ogrodja, spodnjih verižnikov, zgornjih pogonskih verižnikov s pogonom, gonilne gredi z ležaji, gonila z varnostno sklopko, podstavkov ogrodja, dveh členastih verig, zajemalca, izplakovalnega korita in črpalke za izpiranje naplavin. Pogon čistilnega stroja preko verižnikov in členaste verige poganja zajemalec. Z njim je možno odstraniti naplavine, ki se ustavijo na finih rešetkah. Za primer preobremenitve je stroj mehansko zaščiten. Črpalka, ki je nameščena ob koritu z vodo izpere nakopičene naplavine iz korita.

2.6.3.2 Zapornice

Na zajetju HE Lomščica so montirane štiri zapornice in sicer:

- *izpustna zapornica na jezu* (omogoča evakuacijo vode iz zajetja ob naraščajoči gladini in izpust peščenega nanosa),
- *vtočna zapornica v peskolov* (omogoča varnostno zaporo dotoka vode iz zajetja v peskolov in omogoča vzdrževalna dela v peskolovu, na čistilnem stroju, vtoku v betonski cevovod ter dela v cevovodu),
- *izpustna zapornica iz peskolova* (omogoča evakuacijo vode iz peskolova ob naraščajoči gladini in izpust peščenega nanosa v peskolov) in
- *vtočna zapornica v cevovod* (omogoča regulacijo nivoja vode v peskolovu glede na dotok vode iz zajetja v peskolov in omogoča vzdrževalna dela v cevovodu).

Vse zapornice so vstavljene v vodila, ki so vbetonirana v primarni beton ter sidrana s privarjenimi sidri. Vbetonirana vodila so sestavljena iz praga, bočnih vodil ter konstrukcije za dvizni mehanizem. Zapornice so vodene v obeh smereh. Konstrukcije za dvizni mehanizem so narejene iz jeklenih profilov ter privarjena na zgornji rob bočnih vodil. Zapornice so dimenzionirane na koto Q_{100} . Izvedene so v varjeni izvedbi, konstrukcijo sestavljajo jekleni profili – okvir ter horizontalne in vertikalne nosilke. Na ogrodje je privarjena jeklena pločevina. Na okvir je privarjeno dvizno uho. Na strani zapornice so privijačena vodila, ki omogočajo drsenje zapornice po vbetoniranih vodilih. Dvizni mehanizem zapornice je nameščen na konstrukciji iz jeklenih profilov nad zapornico. Sestavljen je iz hidravličnega valja, kateri je gnan preko oljetlačne naprave ter krmiljen s hidravličnimi ventili.

2.6.3.3 Hidravlični pogon zapornic

Upravljanje jeklenih tablastih zapornic je izvedeno preko hidravličnih valjev in oljetlačne naprave. Oljetlačna naprava je sestavljena iz rezervoarja za olje, plovcev, filtrov, elektromotorno gnane zobniške črpalke, nepovratnih ventilov, krmilnih ventilov ter vseh cevovodov z armaturami.

Oljetlačna naprava ima asinhronski trifazni elektromotor, zobniško črpalko ter ima vgrajeno tudi ročno črpalko. Nazivni tlak olja v oljetlačnem sistemu je 18,0 MPa. Olje, ki se uporablja v oljetlačnem sistemu je biološko razgradljivo olje Panolin HLP SYNTH 32.

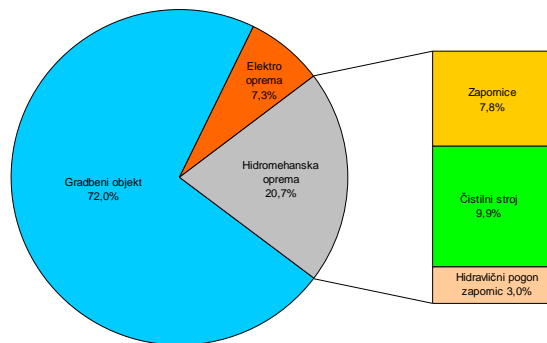
Cevovodi med oljetlačno napravo in hidravličnimi valji so izvedeni iz brezšivnih cevi iz nerjavečega jekla spojeni s standardnimi spojnimi elementi. Cevovodi so nameščeni v za to namenjenih kanalih. Priključek na hidravlični valj je izveden z gibljivo hidravlično cevjo.

2.7 Investicijska vlaganja

Vednost naložbe je bila 996.485 EUR, od tega 767.463 EUR oz. 77 % v rekonstrukcijo zajetja in 229.022 EUR oz. 23 % v sanacijo akumulacijskega bazena.

Rekonstrukcija zajetja je 72 % znašala v gradbeni objekt novega jeza z vtočnim delom, 20,7 % v hidromehansko opremo (zapornice 7,8 %, čistilni stroj 9,9 %, hidravlični pogon zapornic 3,0 %) in 7,3 % v elektro opremo upravljalnega sistema zajetja z optično povezavo jez – akumulacija – strojnica (slika 3).

Investicijo smo v celoti financirali z lastniškim kapitalom.

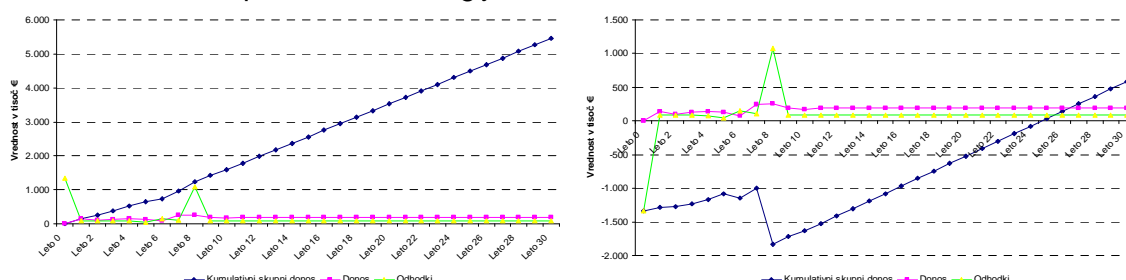


Slika 3: Struktura stroškov rekonstrukcije zajetja akumulacijske HE Lomščica

2.8 Ekonomika investicije

Naložba v prenovu zajetja je bila izvedena osmo leto po ustanovitvi podjetja. V izračunu smo upoštevali vrednosti osnovnih sredstev hidroelektrarne, izračunali letne amortizacijske vrednosti po posameznih skupinah osnovnih sredstev, ki imajo različne amortizacijske stopnje. Hidroproizvodni objekt je z doaktiviranjem vrednosti naložbenega projekta povečal vrednosti osnovnih sredstev in letni odpis amortizacije. Njegova prednost je v zmožljivejši, obratovalno posodobljeni in kakovostni napravi. V izračunih se je upoštevala 30-letna doba časovne dinamike kot je tudi čas trajanja pridobljene koncesije za izrabo hidroenergetskega potenciala potoka Lomščica. Za obdobje 1. – 8. leta so bili uporabljeni dejanski podatki, za obdobje po izgradnji in kolovdaciji novih osnovnih sredstev so uporabljene nove izračunane vrednosti, ki smo jih definirali z amortizacijskim načrtom za gradbeni del elektrarne (jez, akumulacijski bazen), hidromehansko in elektro opremo. Stroških vzdrževanja so ocenjeni na podlagi realnih podatkov predhodnih let. Z investicijo v rekonstrukcijo vtočnega objekta HE Lomščica se vnaprej zmanjšujejo stroški čiščenja akumulacije.

Rekonstrukcija vtočnega objekta HE Lomščica bo povečala letni prihodek od prodaje električne energije. Pri izračunu dodatnega prihodka je bilo upoštevano 3 % povečanje proizvodnje, prodajna cena električne energije pa je planirana v skladu s sprejeto novometodologijo in Uredbo o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije (Ur. list št. 37/2009). Namreč z novo metodologijo določanja referenčnih stroškov električne energije proizvedene iz obnovljivih virov, ki jo je Vlada Republike Slovenije sprejela 18. maja 2009, so zagotovljene odkupne cene za električno energijo do 31.11.2001 za obstoječe objekte, za nove objekte pa 15 let od izgradnje. Od leta 2012 so prognozirane tržne cene za odkup električne energije.



Slika 4 in 5: Skupni denarni tok in likvidnost projekta HE Lomščica (levo) in realni denarni tok in doba vračanja naložb HE Lomščica (desno)

Skupni denarni tok projekta (slika 4) zajema vse donose in odhodke tudi lastna in tuja sredstva v življenjski dobi projekta. Vsota donosov in odhodkov mora biti vedno pozitivna oziroma v času gradnje enaka nič, kar zagotavlja likvidnost projekta.

Realni denarni tok projekta pomeni vse donose in odhodke s stališča investitorja v življenjski dobi projekta. Za naš primer je na sliki 5 realnega denarnega toka in dobe vračanja naložb

razvidno, da kumulativni skupni donos preide iz negativnega v pozitivno vrednost v 24. letu obratovanja hidroelektrarne.

Na osnovi dejanskih investicijskih vlaganj, ocenjenih dodatnih prihodkov in dodatnih stroškov od 9. do 30. leta življenjske dobe proizvodnega objekta smo izračunali naslednje kazalce ekonomske upravičenosti investicije:

Doba vračanja sredstev (DVS) je doba v kateri se v obliki denarnih prejemkov (amortizacija in dobiček), vrne nabavna vrednost naložbe; kazalec ne upošteva čistih prejemkov naložbe po končani dobi vračanja in časovne vrednosti denarja. Doba vračanja vloženih sredstev je 24 let.

Neto sedanja vrednost (NSV) je razlika med sedanjo vrednostjo prilivov in sedanjo vrednostjo odlivov in prikazuje absoluten donos investicije; upošteva vse denarne tokove investicije, vrednost denarja v času in strošek kapitala, ki je enak donosnosti pri netveganih finančnih naložbah (pozitivna neto sedanja vrednost tako pomeni, da je donosnost obravnavane naložbe večja od donosnosti netvegane finančne naložbe npr. naložbe v državne obveznice).

Neto sedanja vrednost investicije je 144.998 EUR, kar pomeni, da je donosnost investicije višja od zahtevane oz. upoštewane v izračunu in s tega vidika ekonomsko upravičena.

Neto sedanja vrednost je bila izračunana ob upoštevanju 4,375 % diskontne stopnje. To stopnjo smo opredelili kot minimalno zahtevano stopnjo donosa oz. stopnjo donosa za povsem netvegano naložbo.

Tabela 1: Ekonomski kazalci prenove HE Lomščica

	0 %	10 % <i>povečanje</i>	0 % <i>zmanjšanje</i>
NALOŽBA (€)	996.485	1.0961.134	896.837
Neto sedanja vrednost – NSD (€)	144.998	152.9756	136.753
Interna stopnja donosnosti – ISD	5,18 %	5,22 %	5,14 %
Indeks donosnosti	1,11	1,11	1,10
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E	1,120	1,097	1,143
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)	25,1	20,1	30,7
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)	12,0	9,7	14,3
STROŠKI(€)	2.548.503	2.803.354	2.293.653
Neto sedanja vrednost – NSD (€)		31.623	258.373
Interna stopnja donosnosti – ISD		4,55 %	5,79 %
Indeks donosnosti		1,02	1,19
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E		1,064	1,182
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)		14,1	36,0
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)		6,4	18,2
PROIZVODNJA(kWh) ali	87.385.176	96.123.694	78.646.658
CENA(€/kWh)		6.008.852	4.916.333
Neto sedanja vrednost – NSD (€)		376.397	- 86.401
Interna stopnja donosnosti – ISD		6,39 %	3,87 %
Indeks donosnosti		1,28	0,94
Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti – E		1,232	1,008
Kazalnik donosnosti naložb – D (%)		48,5	16,0
Kazalnik donosnosti odhodkov – Do (%)		23,2	8,0

Opomba: * pri diskontni stopnji 4,375%. Vir: Drago Papler (2009).

Interna stopnja donosa (ISD) predstavlja dejansko donosnost investicije v obravnavanem obdobju, podatek je potrebno primerjati z referenčno stopnjo donosnosti (npr. donosnost državnih vrednostnih papirjev, obrestna mera za depozit v banki,...). Interna stopnja donosa je večja od 3,5 % in znaša 5,18 %, kar pomeni da je naložba ekonomsko upravičena.

Kazalnik gospodarnosti ali ekonomičnosti (E) je 1,12, kazalnik donosnosti naložb ali rentabilnost naložb (D) je 25,1 %, kazalnik donosnosti odhodkov ali rentabilnost vlaganj (Do) pa 12,0 %.

Z analizo občutljivosti ugotavljamo vpliv posameznih vhodnih podatkov za +/- 10 % na donosnost investicije.

Rezultati analize občutljivosti kažejo, da je investicija v rekonstrukcijo HE Lomščica ekonomsko upravičena, če se spremeni vrednost naložbe ali letnih stroškov vzdrževanja za +/- 10 %. V primeru, če se spremeni količina proizvodnje električne energije ali cena električne energije za +/- 10 % ob minimalnih investicijskih vlaganjih, pa je projekt na meji ekonomske upravičenosti.

3 POZITIVNI UČINKI

3.1 Obratovanje hidroelektrarne pred rekonstrukcijo

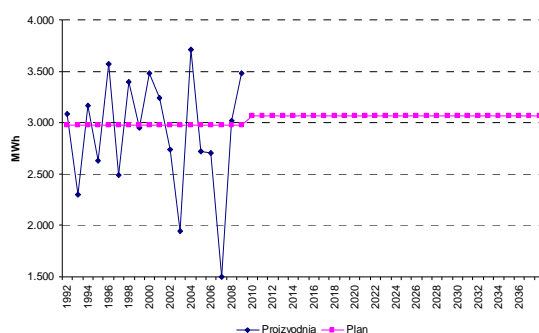
Planirana srednja letna proizvodnja električne energije hidroelektrarne Lomščica je bila 2,98 milijona kWh. Na dejansko doseženo proizvodnjo električne energije vpliva hidrologija.

Najslabša dosežena letna proizvodnja HE Lomščica je bila leta 2003 1.943.394 kWh, to je 34,8 % pod planom in leta 1993 2.297.161 kWh, 22,9 % pod planom letne proizvodnje. Najboljša dosežena letna proizvodnja HE Lomščica je bila leta 2004 3.715.006 kWh, ko je bil plan presežen za 24,7 % in leta 1996 3.575.068 kWh, ko je bil letni plan presežen za 20 % (slika 6).

Hidroelektrarna Lomščica je hudourniškega značaja in ima z vidika sezonskosti največjo proizvodnjo v jesenskih mesecih, ki so posledice deževja in v spomladanskih mesecih, ko se tali sneg v gorah. Največja dosežena mesečna proizvodnja je v mesecih: november (12,2%), oktober (10,4%), april (10,2%), srednja v mesecih: maj (8,8 %), december (8,7 %), julij (8,5 %), januar (7,9 %), september (7,7 %) in junij (7,5 %), najmanjša pa marca (6,9 %), avgusta (6,5 %) in februarja (4,6 %).

Prihaja pa do ekstremno nizkih in visokih hidroloških razmer, ki vplivajo na odstopanje od proizvodnje električne energije. Pri izbranem letu 1993 je bila marca dosežena proizvodnja 39 %, junija 34,7 %, julija 25,9 %, avgusta 37,5 %. Leta 2003 je bila aprila dosežena proizvodnja 49,9 %, junija 39,1 %, julija 36,3 %, avgusta 34,4 % in septembra 38,8 %.

Pri izbranem letu za 1996 je bila julija proizvodnja julija presežena za 60,2 %, avgusta za 92,6 %, oktobra za 48,2 %. V rekordnem letu 2004 je bila maja proizvodnja presežena za 75,8 %, junija za 64,2 % in julija za 56,2 %.



Slika 6: Načrt in realizacija proizvodnje HE Lomščica

3.2 Učinki pri proizvodnji hidroelektrarne Lomščica po posodobitvi 2008-2011

Povprečna proizvodnja električne energije v petnajstletnem obdobju od začetka obratovanja hidroelektrarne Lomščica osnova za planiranje proizvodnje.

Po posodobitvi je akumulacijska hidroelektrarna Lomščica dosegla letno proizvodnjo leta 2008 3.016.970 kWh, to je 1,2 % nad planom, leta 2009 4.264.380 kWh oziroma 43,1 % nad planom, leta 2010 4.122.938 kWh oziroma 38,3 % nad planom, leta 2011 pa 2.651.610 kWh

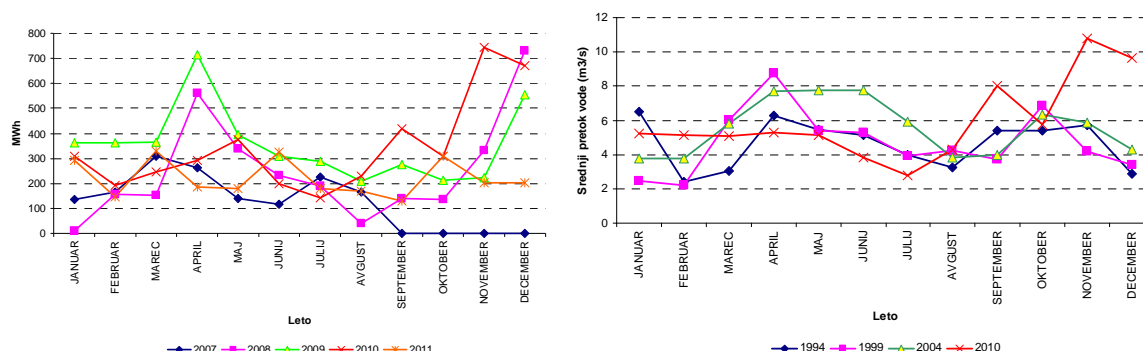
oziroma 11,0 % pod planom. Po posodobitvi HE Lomščica je bila v obdobju 2008-2011 povprečna proizvodnja 3.513.975 kWh in 17,91 % povečanje proizvodnje, kar je 14,91 % več kot je bilo načrtovano ob odločitvi za investicijo (tabela 1). Dosežena povprečna letna proizvodnja električne energije v obdobju 1992-2011 je za 5,42 % višja od planirane.

Tabela 1: Proizvodnja električne energije HE Lomščica pred in po prenovi (MWh)

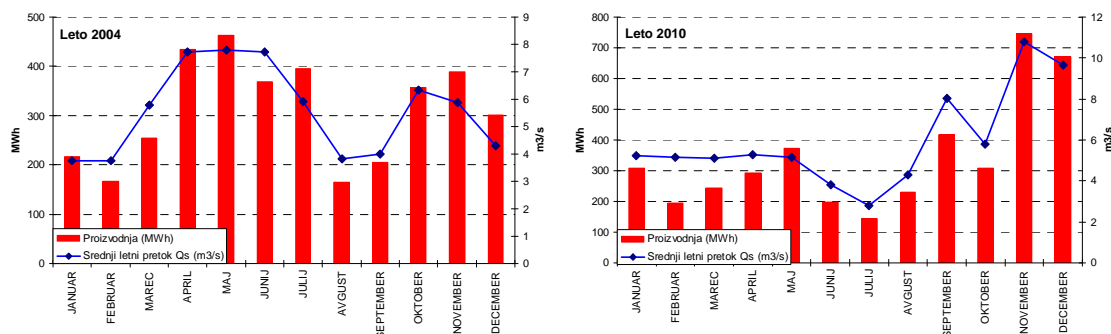
Obdobje	Plan	1992-2006	1992-2011	2008-2011	2008	2009	2010	2011
Januar	236,700	209,625	212,601	242,926	9,340	361,280	307,924	293,161
Februar	137,800	130,467	156,887	214,283	155,648	360,888	194,146	146,449
Marec	204,560	197,122	229,269	272,838	153,722	363,992	244,340	329,299
April	305,100	330,224	366,861	438,718	562,318	713,816	293,068	185,669
Maj	263,200	275,437	292,429	321,363	338,564	395,264	373,724	177,900
Junij	224,440	218,582	234,641	265,593	231,212	308,026	198,225	324,907
Julij	253,010	240,968	244,179	199,685	190,380	287,694	142,216	178,451
Avgust	193,500	175,307	181,146	161,829	39,522	208,394	228,824	170,576
September	230,030	217,530	222,170	239,792	138,682	274,842	416,695	128,947
Oktober	309,640	337,338	316,993	241,701	135,200	213,366	307,934	310,305
November	362,520	339,820	347,012	375,123	330,604	222,140	744,690	203,056
December	259,780	269,960	326,428	540,125	731,778	554,678	671,152	202,890
Skupaj	2.980,280	2.942,379	3.141,804	3.513,975	3.016,970	4.264,380	4.122,938	2.651,610
Indeks dejan. / plan	100,000	98,728	105,420	117,908	101,231	143,087	138,341	88,972
Delež nad planom (%)	0,00	-1,27	5,42	17,91	1,23	43,09	38,34	-11,03

Vir: izračuni Drago Papler (2012).

Mesečna proizvodnja električne energije po posodobitvi v obdobju 2008–2011 je prikazana na sliki 7. Slika 8 prikazuje srednji mesečni pretok Q_s reke Tržiška Bistrica za značilna leta 1994, 2000, 2004.



Sliki 7 in 8: Mesečna proizvodnja HE Lomščica od začetka prenove leta 2007 do leta 2011 (levo) in srednji mesečni pretok Q_s reke Tržiška Bistrica za značilna leta 1994, 2000, 2004 in 2010, vodomerna postaja 4050 Preska (m^3/s) (desno). Vir: Agencija RS za okolje (ARSO), izris Drago Papler (2012).



Sliki 9 in 10: Korelacija proizvodnje električne energije v HE Lomščica in srednjega mesečnega pretoka Q_s reke Tržiška Bistrica na primeru leta 2004 (levo) in 2010 (desno). Vir: Drago Papler (2012).

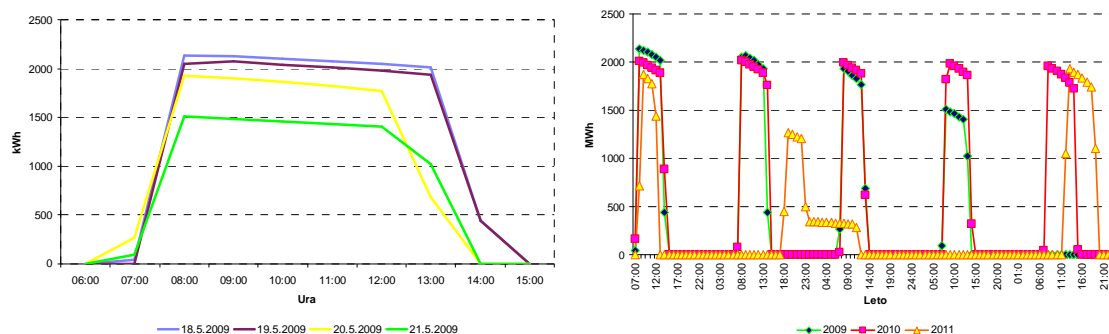
Sliki 9 in 10 prikazujeta proizvodnjo električne energije v HE Lomščica in srednjega mesečnega pretoka Q_s reke Tržiška Bistrica na primeru leta 2004 in 2010. Iz slik je razvidna korelacija proizvodnje in pretokov voda. Treba je poudariti, da prihaja do določenih odstopanj, ker so podatki za srednji mesečni pretok za vodotok Tržiško Bistrico (vodomerna postaja 4050 Preska), HE Lomščica pa izkorišča vodni potencial vodotoka Lomščica, ki je pritok Tržiške Bistrice v vasi Slap pri Tržiču.

3.3 Vloga HE Lomščica pri pokrivanju konice

Hidroelektrarna Lomščica je akumulacijska HE z dnevna akumulacijo in služi za pokrivanje dopoldanske konice. HE začne obratovati med 7. in 8. uro zjutraj, in obratuje 6 do 7 ur. V tem času proizvede približno 13 MWh električne energije, in tako prispeva približno 1,72 % električne energije za pokrivanje jutranje konice na preskrbovalnem območju Elektra Gorenjska, d.d. Urna proizvodnja, zaradi nižanja gladine v akumulacijskem bazenu, nekoliko pada. Čas do dneva ponovnega zagona je odvisen od vremenskih razmer, to je količine padavin. Če so vremenske razmere ugodne, HE obratuje vsak dan, v nasprotnem primeru pa do dneva ponovnega zagona mine dan ali dva brez obratovanja.

S srednjo letno proizvodnjo $Q_{365} = 3.483$ MWh električne energije, predstavlja približno 6,8 % proizvodnje vseh proizvodnih enot Gorenjskih elektrarn.

Prikaz obratovanja HE Lomščica v dnevnem režimu prikazuje slika 8. Elektrarna je prvi dan v tednu (ponedeljek) obratovala od 7,15 do 15.00 in v tem času proizvedla 13,0 MWh električne energije. V naslednjih dneh je bil režim obratovanja v enakem časovnem terminu, glede na praznitev akumulirane vode iz bazena pa je se je proizvodnja gibala 12,5 MWh, 10,2 MWh in 8,4 MWh (slika 11). Na sliki 12 smo prikazali obratovanje HE Lomščica tretji teden v maju v letih 2009, 2010 in 2011, kjer je razviden pomen te elektrarne pri proizvodnji najkvalitetnejše vršne energije.



Sliki 11 in 12: Dnevni diagram proizvodnje električne energije HE Lomščica, maj 2009 (levo) in diagram proizvodnje v 3. tednu maja v letih 2009, 2010 in 2011 (desno)

4 ZAKLJUČEK

Potrebnost naložbe je potrebno poudariti zaradi problemov pri obratovanju hidroelektrarne zaradi naplavin. V obratovanju prenovljene HE Lomščica se je pokazalo, da bočno zajetje omogoča obratovanje proizvodnega objekta ob visokih vodah, kar je bilo dobro izrabljeno ob hidrološko izredno ugodnem letu 2009. Bočno zajetje se je v štiriletnem obratovanju HE potrdilo kot najboljša rešitev v primerjavi s starim Tirolskim zajetjem.

Z zmanjšano količino odloženega materiala v akumulaciji, ki ga je treba odstranjevati, se je zmanjšala obremenjenost okolja.

Z naložbo se je izboljšala stopnja varnosti obratovanja elektrarne, kar je tudi dejavnik upravičljivosti naložbe, čeprav ga ni mogoče ekonomsko ovrednotiti.

Posodobitev zajetja hidroelektrarne Lomščica je presegla predvideno 3 % povečanje letne proizvodnje električne energije, kar potrjujejo pozitivni učinki pri proizvodnji električne energije. HE Lomščica je do konca leta 2011 dosegla 60,513 milijonov kWh električne energije, kar predstavlja okoljske prihranke z zmanjšanjem 30.256,56 ton emisij CO₂.

5 LITERATURA IN VIRI

Bojnec, Š., Papler, D. (2007). Climatechange, energyintensityuseandlocalgreenenergysupplymanagement. MIC'07 – managementInternationalConference 2007, 8th InternationalConferenceoftheFacultyofManagement Koper, Universityof Primorska, Portorož 2007.

Papler, D. (2005). Interna stopnja donosnosti, kriterij ekonomskega optimiranja elektroenergetske infrastrukture z vidika gospodarskega inženirstva. Sedma konferenca slovenskih elektroenergetikov, Velenje, 30. maja do 3. junija 2005. *Zbornik CIRED. Zbornik CIGRÉ*. Ljubljana: Društvo CIGRE - CIRED, 2005, str. 6-29 - 6-34.

Papler D. (2007). Nakup in prodaja električne energije Distribucije Slovenije, Zgodovina razvoja elektrogospodarstva Slovenije 1980 – 2005, Elektrotehniška zveza, Ljubljana 2007.

Papler Drago (2007). Zelena elektrika z vidika spodbujanja za doseganje cilja 20 % deleža obnovljivih virov energije do leta 2020, *FREM'07: Festival raziskovanja ekonomije in managementa, Znanje: teorija in praksa*, Fakulteta za management, Koper 2007.

Papler, D. (2008). Primerjava razvojnih učinkov obnovljivih virov energije, magistrsko delo, Poslovno-tehniška fakulteta, Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica 2008.

Papler, D. (2008). Modeli in analize razvojnih učinkov obnovljivih virov energije. *ER*, letnik 9, št. 4, str. 28-33, Ljubljana 2008.

Papler, D., Basej, J. (2009). Rekonstrukcija akumulacijske hidroelektrarne Lomščica. V: *Prihodnost energije: financiranje naložb v energetiki: 5. konferenca, september 2009, Ljubljana: strokovno gradivo*. Ljubljana: Planet GV, 2009, str. 59-75.