

## PRIMERJAVA HIDROELEKTRARN BOŠTANJ IN BLANCA

Klemen DEŽELAK, Klemen OGOREVC, Gorazd ŠTUMBERGER

### POVZETEK

*V prispevku je izvedena primerjava dveh hidroelektrarn (HE), in sicer HE Boštanj ter HE Blanca. Primerjava je razdeljena na dva sklopa. Prvi sklop primerjave temelji na primerjanju njihovih jezovnih zgradb z nameščeno strojno in elektro opremo, medtem ko je v drugem sklopu izvedena ekonomska analiza v programskem orodju RETScreen. Prikazani so tudi rezultati finančne analize, oziroma finančni kazalci posameznih hidroelektrarn.*

### ABSTRACT

*This paper presents a comparison between two hydroelectric power plants (HEPP), HEPP Boštanj and HEPP Blanca. This comparison consists of two parts. The first part is based on the comparison of their dam structures with the mechanical and electric equipment installed, while the second part contains an economic analysis performed with the RETScreen software. The results of proposed analysis show the financial pointers of both hydroelectric plants.*

## 1. UVOD

Hidroelektrarna Boštanj in hidroelektrarna Blanca (v nadaljevanju HE Boštanj in HE Blanca) predstavljata dve izmed stopenj v verigi hidroelektrarn na Savi, ki je zasnovana kot niz šestnajstih pretočnih elektrarn. Veriga savskih hidroelektrarn je razdeljena na tri smiselno energetske zaključene odseke: zgornja, srednja in spodnja Sava. Izbrani hidroelektrarni spadata v področje spodnje Save. V članku je izvedena primerjava obeh hidroelektrarn, iz katere je razvidna tako razlika tehničnih, kakor tudi finančnih parametrov ter obratovanja posamezne hidroelektrarne.

Pri primerjavi so nas zanimala razlike v nameščeni opremi posamezne hidroelektrarne. Iz primerjave je razvidno, da imata hidroelektrarni enako zgrajena in dimenzionirana prelivna polja. Razvidne so tudi razlike v nameščeni strojni in elektro opremi. Dejansko se največje razlike kažejo v nameščeni strojni opremi, predvsem zaradi različnih tipov nameščenih turbin. Poleg tega je izvedena tudi ekonomska analiza obeh elektrarn, pri čemer so obravnavani finančni kazalci posamezne hidroelektrarne. Iz nje je razvidna tako razlika stroškov, oziroma investicijskih vlaganj, kakor tudi primerjava donosnosti obeh naložb.

## 2. OSNOVNI PARAMETRI HE BOŠTANJ IN HE BLANCA

HE Boštanj je druga v verigi petih hidroelektrarn na spodnji Savi. Graditi se je začela 15. 11. 2002 in je pretočno akumulacijskega tipa z nameščenimi tremi cevniimi horizontalnimi agregati z inštaliranim pretokom  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , s petimi pretočnimi polji s prelivno zmogljivostjo  $4600 \text{ m}^3/\text{s}$  ter s povprečno letno proizvodnjo 115 GWh. Sinhronizacija prvega agregata na mrežo je bila izvedena 14. 11. 2005. Gradnja HE Boštanj se je uradno zaključila 27. 05. 2006 ob otvoritvi hidroelektrarne. S poskusnim obratovanjem so pričeli 05. 06. 2006. HE Boštanj proizvaja vršno energijo ter nudi možnosti za prodajo sistemskih storitev. Predvidena je tudi polna avtomatizacija elektrarne in obratovanje brez posadke ter daljinsko vodenje iz centra vodenja HSE – Holding Slovenske Elektrarne iz Maribora [1].

HE Blanca je tretja hidroelektrarna v verigi šestih HE na spodnji Savi. Je pretočno akumulacijskega tipa z nameščenimi tremi vertikalnimi agregati z instaliranim pretokom  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , s petimi pretočnimi polji s prelivno zmogljivostjo  $4600 \text{ m}^3/\text{s}$  ter s povprečno letno proizvodnjo 144 GWh. Predvidena je polna avtomatizacija elektrarne in obratovanje brez posadke ter daljinsko vodenje iz centra vodenja HSE iz Maribora. Gradnja HE Blanca se je začela 14. 11. 2005. Skladno s predvidenim terminskim planom je bila 25. novembra 2008 izvedena sinhronizacija prvega agregata HE Blanca z elektroenergetskim omrežjem [2]. Tabela 1 prikazuje tehnične specifikacije izbranih hidroelektrarn.

Tabela 1: Tehnične specifikacije HE Boštanj in HE Blanca [1],[2].

	HE Boštanj	HE Blanca
Instaliran pretok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	500	500
$H_b$ pred izgradnjo HE Blanca [m]	8,44	
$H_b$ pred izgradnjo HE Krško [m]		10,61
$H_b$ po izgradnji HE Blanca [m]	7,60	
$H_b$ po izgradnji HE Krško [m]		8,80
Moč pred izgradnjo HE Blanca [MW]	36	
Moč pred izgradnjo HE Krško [MW]		48,03
Moč po izgradnji HE Blanca [MW]	32	
Moč po izgradnji HE Krško [MW]		39,03
Srednja letna proizvodnja [GWh]	115	144,23
Srednji letni pretok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	220,9	215,4
Št. turbin	3 (Litostroj Power)	3 (Litostroj Power)
Tip turbine	Horizontalna dvojno regulirana Kaplanova	Vertikalna dvojno regulirana Kaplanova

	turbina	turbina
Nazivni pretok skozi turbino [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	166,7	166,7
Minimalni pretok skozi turbino [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	40	40
Nazivni neto padec [m]	7,24	8,8
Nazivna moč turbine	10,96 MW	13,01 MW
Št. generatorjev	3 (Končar)	3 (Končar)
Nazivna moč generatorja [MVA ]	14,5	16,5
$\cos \varphi$ [/]	0,85	0,85
Napetost [kV]	6,3	6,3
Št. prelivnih polj	5	5
Ribja steza	NE	DA

Tako v HE Boštanj kot tudi v HE Blanca je nameščen zbiralni stik treh agregatov, ki so priključeni na skupne enojne 6,3 kV zbiralke. Pri tem so vsi trije agregati v HE Boštanj moči 14,5 MVA, v HE Blanca pa 16,5 MVA. Iz teh zbiralk se energija elektrarne transformira na 110 kV omrežni nivo preko skupnega omrežnega transformatorja 117/6,3 kV moči 40 MVA (HE Boštanj), oziroma 45 MVA (HE Blanca) [3].

### 3. ANALIZA S PROGRAMOM RETSCREEN

RETScreen International je programsko orodje, ki omogoča analizo projektov, ki izkoriščajo obnovljive vire energije. Med te projekte spada tudi načrtovanje hidroelektrarne, ki kot vir za proizvodnjo električne energije uporablja vodo. Program s svojimi orodji omogoča snovanje novih projektov in tudi podporo obstoječim. RETScreen International se uporablja za vrednotenje proizvodnje energije, življenjskega ciklusa, stroškov in emisij škodljivih plinov za različne vrste tehnologij, ki izrabljajo za proizvodnjo električne energije obnovljive vire. V danem primeru je bilo uporabljeno programsko orodje RETScreen, oziroma le del programa, namenjenega načrtovanju hidroelektrarne [4].

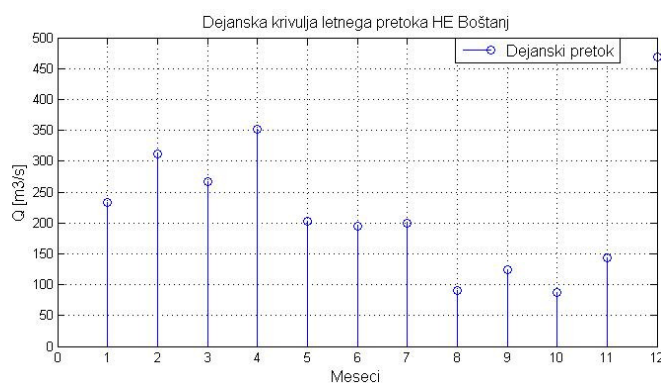
Naveden program deluje na osnovi programskega orodja Microsoft Excel. Posamezni modul je predstavljen kot delovna datoteka, katero sestavlja več delovnih listov. Tako v programu za analizo proizvodnje električne energije najdemo delovne liste z naslednjo vsebino:

- informacije o projektu, s podatki o tipu in lokaciji elektrarne,
- referenčno stanje na lokaciji, s podatki o podnebju kraja elektrarne,
- energetska sistem, s podatki o osnovnih obremenitvah sistema ter podatkih o izhodnih vrednostih moči,

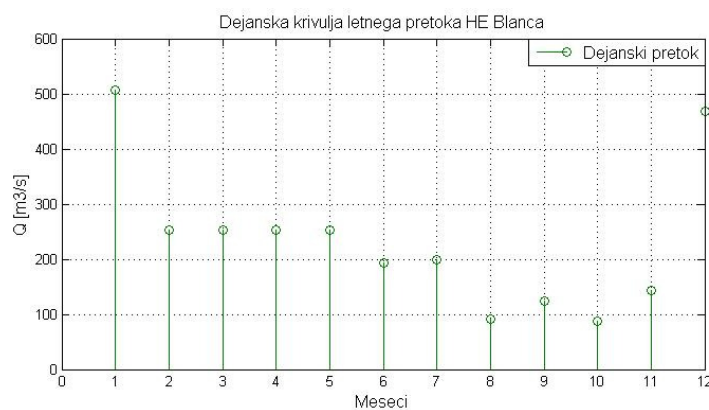
- postavke, pri analizi stroškov (izgradnja, oprema, študije itd.),
- efekt toplogrednih plinov, kateri zajema analizo emisij škodljivih plinov in
- finančno analizo, s krivuljo kumulativnega toka denarja v evrih, s pomočjo katerega lahko ocenimo upravičenost investicije.

### 3.1 Določitev urejene krivulje pretoka

Pred pričetkom načrtovanja ekonomske analize v programu RETScreen je potrebno zbrati vse zahtevane vhodne parametre tehničnega dela projekta. Enega od takšnih parametrov predstavlja tudi krivulja urejenega letnega pretoka (predstavlja kakšen pretok ima reka določen odstotek časa v letu) v delovnem listu hidrološke analize (Hydrology & Load). Urejeno krivuljo letnega pretoka smo določili s preučitvijo arhivskih podatkov pretokov skozi posamezno elektrarno. Najprej smo, na podlagi pretokov skozi elektrarno s časovnim intervalom deset minut, določili povprečni mesečni pretok skozi elektrarno. Slika 1 (HE Boštanj) in slika 2 (HE Blanca) prikazujeta krivulji dejanskega letnega pretoka posamezne elektrarne. Sliki 1 in 2 prikazujeta celoten pretok skozi elektrarno, ki se nato razdeli, skladno s potrebami pri danih pogojih z najboljšim izkoristkom, na enega, dva ali tri agregate.

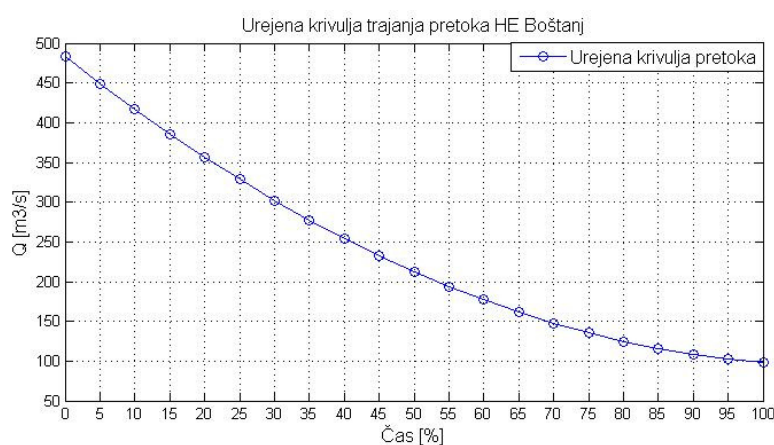


Slika 1: Dejanska krivulja letnega pretoka HE Boštanj.

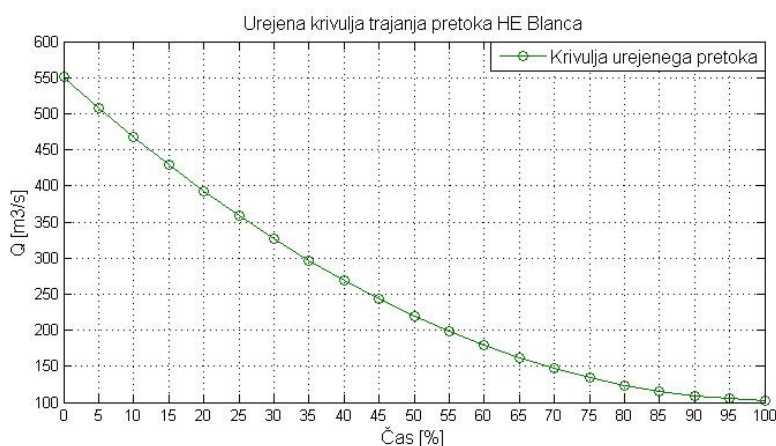


Slika 2: Dejanska krivulja letnega pretoka HE Blanca.

V naslednjem koraku smo mesečne pretoke uredili od največjega do najmanjšega pretoka tern zatem izvedli aproksimacijo danih točk s polinomom II. stopnje. Pri tem bi se lahko odločili tudi za polinom višje stopnje, vendar bi bilo v tem primeru odstopanje dejanske in aproksimirane krivulje nekoliko večje. V zadnjem koraku je potrebno aproksimacijski polinom določiti tako, da vse vrednosti na  $x$ -osi pomnožimo z vrednostjo 100/12. Na takšen način namesto 12 mesecev na  $x$ -osi dobimo čas v odstotkih od 0 % do 100 %. Tako dobljene urejene krivulje pretokov obeh HE, uporabljene v programu RETScreen, so prikazane na sliki 3 (HE Boštanj) in sliki 4 (HE Blanca). Urejena krivulja trajanja pretokov torej prikazuje, kakšen pretok ima reka Sava določen odstotek časa v letu.



Slika 3: Urejena krivulja letnega pretoka HE Boštanj.



Slika 4: Urejena krivulja letnega pretoka HE Blanca.

### 3.2 Rezultat ekonomske in tehnične analize

Namen vsakega investitorja je, da z investicijskimi vložki pridobi čim višje donose v prihodnosti. Podobno lahko rečemo tudi za primere izgradnje hidroelektrarn. V nadaljevanju

je namen prikazati finančno primerjavo HE Boštanj ter HE Blanca, iz katere bo razvidna smiselnost investicije in tudi kateri tip elektrarne bo doprinesel krajšo dobo vračanja vloženih sredstev. Pri izvedbi ekonomske analize s programom RETScreen, je potrebno poznavanje ustreznih tehničnih ter finančnih parametrov. V nadaljevanju bodo opisani uporabljeni vhodni parametri programa ter pojasnjen njihov pomen in vpliv. Tako prvi korak predstavlja izbiro energetske opreme ter določitev karakteristik sistema. Na takšen način lahko določimo tehnične parametre prikazane v tabeli 2.

Tabela 2: Izračunani tehnični parametri elektrarn.

Izhodni parameter	HE Boštanj	HE Blanca
Proizvodna zmogljivost HE	32,702 MW	38,066 MW
Faktor delovanja HE	48 %	50 %
Letna proizvodnja	136,187 GWh	167,268 GWh

Za določitvijo tehničnih parametrov je mogoče izvesti finančno oceno investicije. Pri tem je med drugim potrebno poznavanje zagonskih stroškov ali stroškov investicije, oziroma tako imenovanih začetnih stroškov. Za izračun upravičenosti investicije je potrebno v program RETScreen vnesti tudi podatke o letnih ali stalnih stroških, ki so sestavljeni iz stroškov dela, stroškov vzdrževanja, stroškov zavarovanja, stroškov amortizacije, stroškov materiala, stroškov drugih storitev ter stroškov koncesijskih dajatev. Namen investicije v izgradnjo hidroelektrarn je poleg rabe obnovljivih virov energije in s tem zmanjšanjem vplivov na okolje tudi poplavitvena varnost in pa seveda dodatno ustvarjanje dobička. Investicija je uspešna, če le-ta v prihodnosti daje zadovoljive donose. Ker bo hidroelektrarna obratovala več deset let, se lahko v tem času razmere na trgu bistveno spremenijo, zato je za primerno ter natančno oceno donosov potrebno upoštevati tudi ostale dejavnike prikazane v tabeli 3 [5] - [7].

Tabela 3: Finančni parametri za izračun ekonomske upravičenosti [6], [7].

	HE Boštanj	HE Blanca
Cena električne energije	0,0475 €/kWh	0,0475 €/kWh
Stopnja dolga kredita	60 %	50 %
Obrestna mera kredita	7,5%	7,5 %
Doba vračanja dolga kredita	15	20
Inflacija	2,5 %	2,5%
Diskontna stopnja	8 %	8 %
Življenjska doba	50 let	50 let

Zatem je mogoče preveriti kazalce finančnih parametrov ekonomske analize, kot so interna stopnja donosnosti, čas povrnitve začetnih stroškov, čas do pozitivnega priliva denarja ter neto sedanja vrednost. Interna stopnja donosnosti (ang. Internal rate of return, *IRR*) je tista mejna diskonta stopnja, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka nič [5]. Neto sedanja vrednost (ang. Net present value, *NPV*) je eno od najpogosteje uporabljenih meril za presojanje smiselnosti investicijskega projekta. Dobimo jo tako, da vse bodoče donose z uporabo izbrane obrestne mere, oziroma diskontne stopnje preračunamo na začetni trenutek in od dobljene vrednosti odštejemo investicijski vložek, kot je prikazano v [5]. Čas povrnitve začetnih stroškov (ang. simple payback), s katerim določimo čas povrnitve sredstev vloženih v investicijo prav tako določimo na način prikazan v [5]. V našem primeru so torej rezultati ekonomske analize trije finančni kazalci (za vsako izmed elektrarn), kateri so predstavljeni v tabeli 4.

Tabela 4: Finančni kazalci investicije za posamezno hidroelektrarno.

	HE Boštanj	HE Blanca
Interna stopnja donosnosti	9,5 %	10,8 %
Čas povrnitve začetnih stroškov	21,4 let	18,2 let
Čas do pozitivnega priliva denarja	18,4 let	15,1 let
Neto sedanja vrednost	17.084.425,00 €	35.319.161,00 €

Iz tabele 4 je razviden čas do pozitivnega priliva denarja, ki mora preteči, da bo poslovni izid izkazoval dobiček. Poleg tega je razvidno, da je interna stopnja donosnosti pri obeh HE večja od diskontne stopnje. Vse to pomeni, da sta investiciji donosni in sposobni sami povrniti začetne stroške ter dolgove, hkrati pa zagotavljata donos. Pomemben podatek pa je tudi neto sedanja vrednost, ki je za obe elektrarni pozitivna, oziroma večja od nič. To še enkrat več pomeni, da sta investiciji sprejemljivi, saj so donosi večji od investicijskih izdatkov.

#### 4. SKLEP

V članku je izvedena primerjava HE Boštanj in HE Blanca. S primerjavo smo prikazali razlike v tehničnih specifikacijah posamezne hidroelektrarne, kakor tudi razlike v nameščeni opremi. Ugotovili smo, da je največja razlika v nameščenih agregatih, medtem ko se ostala nameščena strojna in tudi elektro oprema bistveno ne razlikuje. V drugem delu prispevka so prikazani in primerjani še finančni parametri obeh hidroelektrarn. Pri HE Boštanj bo investitor po 18,4 letih pričel ustvarjati pozitiven dotok denarja, medtem ko se bodo začetni stroški povrnili v 21,4 letih. Nekoliko hitreje bo investitor pričel ustvarjati dobiček s HE Blanca, in sicer po 15,1 letih. Začetni stroški se bodo v tem primeru povrnili po 18,2 letih. Primerjava ekonomske analize HE Boštanj in HE Blanca je pokazala, da sta investiciji obeh tipov elektrarn upravičeni. Pri tem se izkaže, da je investicija z vertikalnimi agregati (HE Blanca)

kljub višji investiciji nekoliko bolj upravičena. Le-to se kaže, pri primerjavi s HE Boštanj, predvsem v večji neto sedanjih vrednosti in posledično v večjih donosih.

## 5. LITERATURA

- [1] <http://www.he-ss.si/he-bostanj.html>
- [2] <http://www.he-ss.si/he-blanca.html>
- [3] Miran Žgajner: Izgradnja HE Blanca na spodnji Savi, HSE Invest Maribor, 2010
- [4] <http://www.retscreen.net/ang/home.php>
- [5] Jože Andrej Čibej: E-Revir Investicije, Ekonomka fakulteta, Ljubljana 2006.
- [6] Jana Miklič: Investicijski program hidroelektrarne Boštanj, IBE, d. d., svetovanje, projektiranje in inženiring, Ljubljana, 2002.
- [7] Jana Miklič: Investicijski program hidroelektrarne Blanca, IBE, d. d., svetovanje, projektiranje in inženiring, Ljubljana, 2005.

## NASLOV AVTORJEV

Klemen Deželak, univ. dipl. inž. el.  
Klemen Ogorevc, univ. dipl. inž. el.  
red. prof. dr. Gorazd Štumberger, univ. dipl. inž. el.

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko  
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 71 80                      Fax: + 386 2 252 54 81 ali + 386 2 220 72 72  
Elektronska pošta: [klemen.dezelak@uni-mb.si](mailto:klemen.dezelak@uni-mb.si)