

Določanje puščanja vodnih turbin in predturbinskih zapornic v hidroelektrarni Doblar 2

Miha Leban¹, Rajko Volk¹, Rafael Mihalič²

¹Soške elektrarne Nova Gorica, Erjavčeva 20, 5000 Nova Gorica

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana
e-pošta: miha.leban@seng.si, tel.: 05 339 6334

Povzetek. V članku je predstavljena metoda za izračun puščanja vodnih turbin. Določimo ga s pomočjo beleženja spremembe tlaka v cevovodu po zaprtju predturbinske zapornice. Tako ugotovimo, kakšna je višinska sprememba gladine vode v prostoru pred zaprtim vodilnikom. Da lahko določimo puščanje vodne turbine, je treba vedeti, kakšno spremembo volumna pomeni določen upad gladine vode. V ta namen smo matematično opisali del cevovoda med predturbinsko zapornico in turbino za obliko cevovoda, ki je v uporabi v hidroelektrarni Doblar 2. Ker vpliv puščanja predturbinske zapornice ni zanemarljiv, smo razvili postopek, s katerim ga je mogoče pri ugotavljanju puščanja turbine izločiti.

Ključne besede: hidroelektrarna, vodne turbine, puščanje vodnih turbin, predturbinska zapornica, izguba energije

Determining the Leakage Flow through Water Turbines and Inlet-Water Gate in the Doblar 2 Hydro Power Plant

Extended abstract. The paper presents a simple method to determine the leakage flow through water turbines equipped with an inlet-water gate. All that is needed is a relatively accurate barometer, which is usually already installed in almost any hydro power plant. Additionally, the geometry between the inlet water gate and the turbine needs to be known. The disadvantage of the proposed method is that it can only be applied at power plants equipped with an inlet water gate. The measurement itself is relatively fast, requiring no use of any relatively expensive measurement devices. This is very important since their prices can amount to €70,000.

The flow is determined from measurements of pressure changes in the penstock section upon closing the inlet-water gate. In this way the water-level decrease in the penstock section between the inlet-water gate and the turbine guide vanes is obtained. To determine the leakage flow through the water turbine, it is necessary to know how the volume changes with respect to the water-level decrease. For this purpose, the penstock section between the inlet-water gate and the turbine has to be mathematically calculated.

Normally, the leakage through the inlet-water gate also needs to be taken into account. A procedure eliminating its impact was developed. However, in order to collect the data needed, it is necessary to establish an equilibrium between the inlet-water gate leakage and the turbine leakage, which can take hours. In the mean-time the machine is unavailable for operation and the tailwater level should be kept constant in order to assure a high level of precision. Of course, the measurement procedure does not hinder putting the machine

into operation, if required.

As the Doblar 2 HPP is a relatively new power plant, it uses an up-to-date (relatively accurate) barometer. Also, the dimensions of the penstock section are well documented (that cannot be said for the old plants).

In our calculations, the average value of measurements was considered. Their standard deviation being small (about 4.6%), our assessment of the leakage flow can be considered relatively accurate.

Keywords: Hydraulic turbines, Hydro-power generation, Loss measurement

1 Uvod

V hidroelektrarnah poganjajo generatorje vodne turbine. Kadar določena turbina, ki ni opremljena z zapornim organom, ne obratuje, pride do večjega ali manjšega puščanja vode skozi vodilne lopatice. To se dogaja pri Francisovi, Kaplanovi in drugih nadtlaknih turbinah. Ker puščanje vode pomeni izgubo energije, želimo poznati količino vode, ki uhaja skozi zaprte vodilne lopatice. Na opisani način lahko ovrednotimo izgubljeno energijo, poleg tega pa lahko primerjamo puščanje pred določenimi posegi na vodilnih lopaticah turbine in po njih.

Nekatere hidroelektrarne so opremljene z ultrazvočnimi merilci pretoka, s katerimi bi načeloma bilo mogoče meriti pretok skozi turbino, ko so vodilne

lopatice zaprte. Problem takega merjenja je, da je pretok puščanja majhen v primerjavi z nazivnim pretokom (na splošno manj kot 1 %). Pri tako majhnih pretokih so tovrstne merilne naprave zelo nenatančne.

Pretok skozi zaprte vodilne lopaticе pa je mogoče določiti tudi s pomočjo barometra, če je oblika cevovoda med turbino in predturbinsko zapornico matematično opisljiva. Ker metode, ki bi določala puščanje na takšen način, ni bilo mogoče izslediti v literaturi, smo izdelali princip, ki ga opisujemo v nadaljevanju.

2 Osnovni princip

Osnovni princip temelji na predpostavki, da je vsota preseka špranje, skozi katero pušča voda, med preizkusom konstantna in da velja [1]:

$$Q_{\text{vodilnika}} = k \cdot \sqrt{p}, \quad (1)$$

pri tem sta:

k ...konstanta in

p ...razlika tlaka pred špranjo in za njo.

3 Metoda

Pretok vode skozi turbino pri zaprtih vodilnih lopaticah določimo tako, da zapremo predturbinsko zapornico. Ob predpostavki, da je puščanje predturbinske zapornice manjše od puščanja turbine, se začne nivo vode v delu cevovoda pod predturbinsko zapornico nižati.

Predpostavimo najprej, da predturbinska zapornica idealno tesni. Nižanje nivoja vode v delu cevovoda med predturbinsko zapornico in turbino je tako odvisno le od puščanja turbine. Ob nižanju nivoja vode ne sme nastati podtlak, ker bi bile meritve sicer napačne. Nastanek podtlaka preprečujejo prezračevalne cevi, ki se sicer uporabljajo za izpust zraka ob napolnitvi praznega cevovoda prek "bypassa" [2].

S pomočjo barometra merimo časovno odvisnost spremembe višine gladine vode. Ob poznavanju oblike cevovoda lahko tako določimo spremembo volumna v odvisnosti od časa in padca, s čimer dobimo tudi pretok skozi turbino v odvisnosti od padca. Princip merjenja prikazuje slika 1.

Pretok skozi turbino v določenem trenutku je enak [3]:

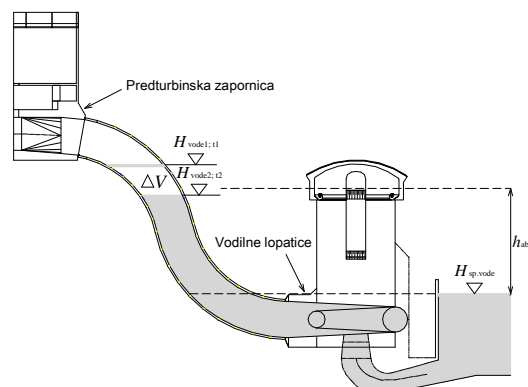
$$Q(t) = \frac{dV}{dt} \cong \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (2)$$

pri čemer so:

$Q(t)$...pretok skozi turbino,

ΔV ...sprememba volumna vode in

Δt ...opazovano časovno obdobje.



Slika 1: Določitev spremembe volumna ΔV določimo iz spremembe gladine vode ΔH

Fig. 1: Determining the volume change ΔV from a water level change ΔH .

Približek $\frac{dV}{dt} \cong \frac{\Delta V}{\Delta t}$ velja tem bolj, čim krajše je opazovano časovno obdobje.

Tako se določi pretok skozi zaprte vodilne lopaticе turbine pri določeni gladini vode, ki je pod nivojem predturbinske zapornice, in ob določeni gladini spodnje vode. Iz tega lahko izračunamo namišljeni presek špranje zaprtih vodilnih lopatic, ki ga označimo z S [4]:

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{abs}}}}, \quad (3)$$

kjer so:

S ...namišljeni presek špranje zaprtih vodilnih lopatic,

Q ...pretok skozi turbino,

v ...hitrost vode,

g ... gravitacijski pospešek,

h_{abs} ...absolutni padec vode,

ΔV ... sprememba volumna vode in

Δt ... opazovano časovno obdobje.

Absolutni padec vode je enak povprečju nivoja vode v delu cevovoda v časovnem intervalu merjenja, zmanjšan za nivo spodnje vode:

$$h_{\text{abs}} = \frac{H_{\text{vode1}} + H_{\text{vode2}}}{2} - H_{\text{sp.vode}}, \quad (4)$$

pri čemer so:

h_{abs} ... absolutni padec vode,

H_{vode1} ...višina vode na začetku meritve,

H_{vode2} ...višina vode na koncu meritve in

$H_{\text{sp.vode}}$...višina spodnje vode.

Napako zaradi predpostavke:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (5)$$

zmanjšamo tako, da se meritev spremembe volumna opravi v več točkah. Za končno vrednost namišljenega

preseka S vzamemo povprečno dobljeno vrednost. Ko je namišljeni presek znan, se lahko preračuna puščanje vodilnih lopatic na dejanski nivo zgornje vode, saj nas zanima puščanje pri dvignjeni predturbinski zapornici (slika 2). Preračun temelji na enačbi:

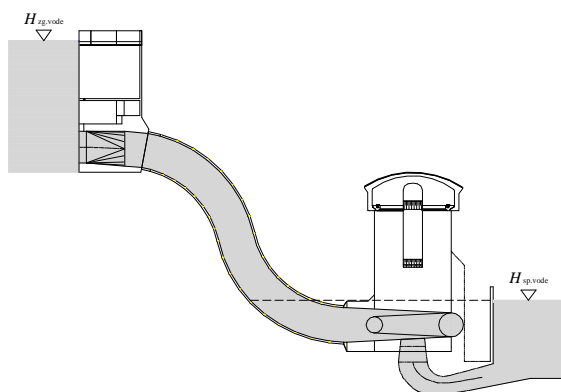
$$Q_{\text{vodilnika}} = S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_{\text{zg.vode}} - H_{\text{sp.vode}})}, \quad (6)$$

kjer so:

$Q_{\text{vodilnika}}$... pretok skozi vodilne lopaticice,
 S ... namišljeni presek špranje zaprtih vodilnih lopatic,
 g ... gravitacijski pospešek,

$H_{\text{zg.vode}}$... višina zgornje vode in

$H_{\text{sp.vode}}$... višina spodnje vode.



Slika 2: Hidro agregat z dvignjeno predturbinsko zapornico
 Fig. 2: Hydro turbine with inlet water gate lifted

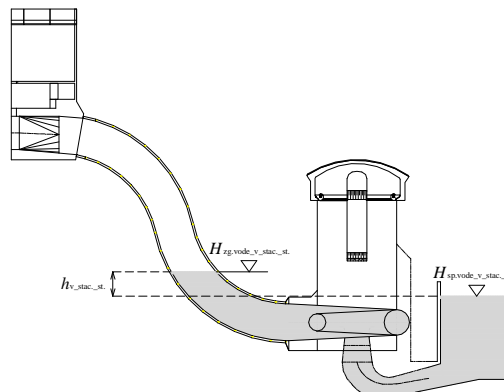
4 Puščanje predturbinske zapornice

V praksi se je izkazalo, da puščanje predturbinske zapornice ni zanemarljivo. To pomeni, da izmerjena sprememba volumna vode v delu cevovoda ne izraža neposredno puščanja zaprtih vodilnih lopatic turbine, saj v opazovanem času določena količina vode priteče skozi predturbinsko zapornico. Količina vode, ki odteče skozi turbino v opazovanem času, je torej enaka vsoti spremembe izmerjenega volumna in količini vode, ki priteče v del cevovoda skozi predturbinsko zapornico. Da lahko to določimo, je treba poznati puščanje predturbinske zapornice.

4.1 Določitev puščanja predturbinske zapornice

Puščanje predturbinske zapornice določimo tako, da pustimo zapornico zaprto, dokler se padanje vode v cevovodu ne ustavi. Nivo vode v delu cevovoda ne pade na nivo spodnje vode, saj pri določeni (majhni) višinski razliki zapornica pušča enako kot vodilne lopaticice (slika 3).

V stanju, ko gladina vode ne upada več (stacionarno stanje), velja, da je puščanje zapornice enako puščanju vodilnih lopatic turbine.



Slika 3: Gladina vode pred vodilnimi lopaticami, po umiritvi upadanja.

Fig. 3: Water level in front of guide vanes in the stationary state.

Če je puščanje predturbinske zapornice enako puščanju vodilnih lopatic v stacionarnem stanju, potem velja:

$$\begin{aligned} Q_{\text{zapornice}} &= Q_{\text{vodilnika v stac.stanju}} = \\ &= S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_{\text{zg.vode}_v_stac_st.} - H_{\text{sp.vode}_v_stac_st.})} = \\ &= S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{v_stac_st.}}, \end{aligned} \quad (7)$$

pri čemer so:

$Q_{\text{zapornice}}$... pretok skozi predturbinsko zapornico,
 $Q_{\text{vodilnika v stac.stanju}}$... pretok skozi vodilne lopaticice v stacionarnem stanju,

$H_{\text{zg.vode}_v_stac_st.}$... višina vode v delu cevovoda v stacionarnem stanju,

$H_{\text{sp.vode}_v_stac_st.}$... višina spodnje vode v stacionarnem stanju in

$h_{v_stac_st.}$... absolutni vodni padec v stacionarnem stanju.

Izmerjeni spremembi volumna (poglavje 3) je treba dodati še količino vode, ki se nateče skozi predturbinsko zapornico. Dobimo popravljeno vrednost spremembe volumna:

$$\Delta V_S = \Delta V + Q_{\text{zapornice}} \cdot \Delta t. \quad (8)$$

S pomočjo te enačbe lahko izračunamo namišljeni presek S :

$$S = \frac{\Delta V_S}{\Delta t \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{abs.}}}} = \frac{\Delta V + Q_{\text{zapornice}} \cdot \Delta t}{\Delta t \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{abs.}}}}. \quad (9)$$

Tako dobimo dve enačbi (enačbi 9 in 7) z neznanima vrednostma S in $Q_{\text{zapornice}}$. Če v enačbo 9 vstavimo enačbo 7, dobimo enačbo, s pomočjo katere lahko izračunamo namišljeni presek S , ki puščanje

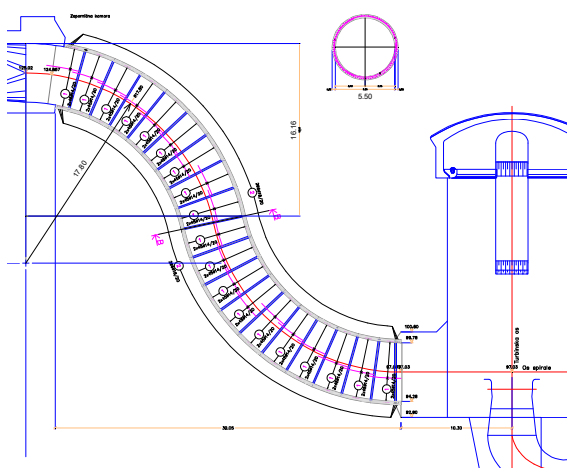
predturbinske zapornice upošteva, vendar vrednosti pretoka puščanja le-te ni treba poznati, če poznamo višinsko razliko med nivojem vode pred turbino in za njo ob spuščeni zapornici in zaprtim vodilniku v stacionarnem stanju (po umiritvi padanja gladine vode v opazovanem odseku cevovoda).

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t \cdot (\sqrt{2 \cdot g \cdot h_{abs.}} - \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{v_stac._st.}})} \quad (10)$$

Seveda se lahko (če nas to zanima) izračuna tudi puščanje predturbinske zapornice s pomočjo enačbe 7, ko enkrat poznamo vrednost namišljenega preseka S .

5 Izračun spremembe volumna vode za cevovod, kakršen je v HE Doblar 2

Kot je bilo že omenjeno, je opisani postopek za določitev puščanja predturbinske zapornice in vodilnih lopatic turbine mogoče izvesti samo če je oblika cevovoda med predturbinsko zapornico in turbino znane oblike.



Slika 4: Oblika dela cevovoda v HE Doblar 2
Fig. 4: The form of the penstock section in HPP Doblar 2

Z drugimi besedami, vedeti moramo, kakšno spremembo volumna vode pomeni določena sprememba višine gladine vode. To je bilo izračunano za obliko odseka cevovoda v HE Doblar 2.

Obliko cevovoda med predturbinsko zapornico in turbino v HE Doblar 2 bi lahko poimenovali "zvita" cev. Obliko cevovoda prikazuje slika 4.

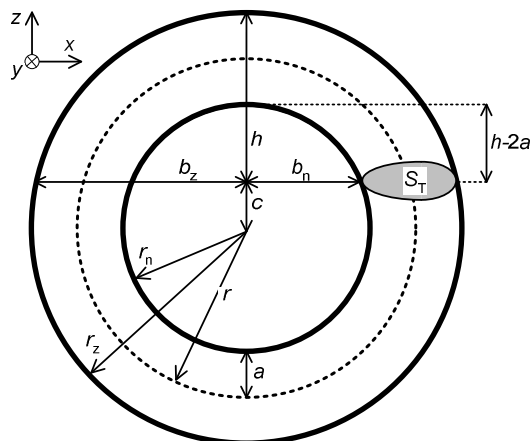
Del tega cevovoda je enak delu geometrijskega telesa, ki se imenuje torus. Presek torusa popisuje Cassinijeva krivulja [5], opisana s spodnjo enačbo (slika 5):

$$(r^2 - a^2 + c^2 + x^2 + y^2)^2 = 4 \cdot r^2 \cdot (x^2 + c^2), \quad (11)$$

pri tem so:

a ...polmer cevi,
 r ...radij torusa in

c ...oddaljenost ravnine, ki preseka torus, od središča torusa [6].



Slika 5: Geometrija za izračun preseka torusa
Fig. 5: Determination of a torus-cross-section area.

Iz Cassinijeve enačbe izrazimo koordinato y in dobimo:

$$y = \sqrt{-r^2 + a^2 - c^2 - x^2 + \sqrt{4 \cdot r^2 \cdot (x^2 + c^2)}}. \quad (12)$$

Presek torusa se izračuna kot integral:

$$S_T = 2 \cdot \int_{b_n}^{b_z} y \, dx, \quad (13)$$

oziroma

$$S_T = 2 \int_{b_n}^{b_z} \sqrt{-r^2 + a^2 - c^2 - x^2 + \sqrt{4 \cdot r^2 \cdot (x^2 + c^2)}} \, dx, \quad (14)$$

pri čemer sta meji integrala enaki:

$$b_z = \sqrt{2 \cdot h \cdot r_z - h^2} \text{ in} \quad (15)$$

$$b_n = \sqrt{2 \cdot (h - 2 \cdot a) \cdot r_n - (h - 2 \cdot a)^2}; \quad h > 2a \text{ oz.}$$

$$b_n = 0; \quad h < 2a. \quad (16)$$

Pri tem so:

$$r_z = r + a, \quad (17)$$

$$r_n = r - a \text{ in} \quad (18)$$

$$c = r + a - h. \quad (19)$$

Volumen v delu cevovoda nad gladino vode dobimo kot integral presekov torusa:

$$V_T = \int_0^h S_T \, dh \quad (20)$$

in končno:

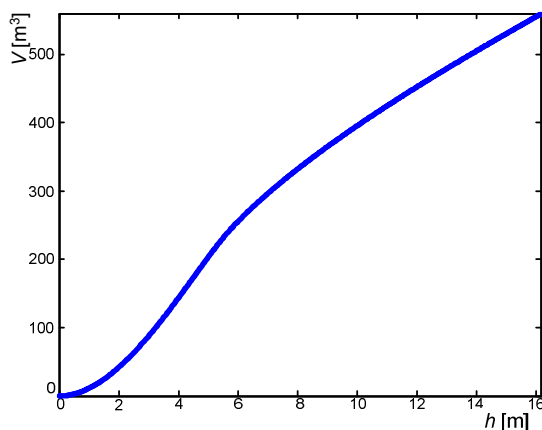
$$V_T = 2 \int_0^{b_2} \int_{b_1} \sqrt{-r^2 + a^2 - c^2 - x^2 + \sqrt{4 \cdot r^2 \cdot (x^2 + c^2)}} dx dh \quad (21)$$

Ker enačba 14 ni analitično rešljiva, smo volumen za opisano obliko dela cevododa izračunali numerično, s pomočjo programa Matlab. Potek izračuna prikazuje spodnja koda:

```

korak=0.001
V=0
for h=0:korak:16.16
    c=r+a-h
    bz=sqrt(2*h*rz-h^2)
    if h>2*a
        bn=sqrt(2*(h-2*a)*m-(h-2*a)^2)
    else
        bn=0
    end
    y=0
    S=0
    for x=bn:korak:bz
        y=sqrt(-r^2+a^2-c^2-x^2+sqrt((4*r^2)*(x^2+c^2)))
        S=S+y*korak^2
    end
    V=V+S*korak
end

```



Slika 6: Odvisnost volumna od višine gladine vode za cevovod, kakršen je v HE Doblar 2

Fig. 6: Correlation between the water level depth and volume, calculated according to the penstock form of HPP Doblar 2.

Za dimenzije, prikazane na sliki 4, smo dobili odvisnost volumna od oddaljenosti gladine vode od vrha predturbinske zapornice (h), kakor je prikazano na sliki 6.

6 Želeno maksimalno odstopanje meritev

Če bi želeli določiti natančnost meritve, bi morali imeti rezultate referenčnih meritev, ki pa jih za sprejemljive stroške skoraj ni mogoče izvesti. Želimo si seveda čim natančnejše rezultate. Natančnost rezultatov je mogoče v določeni meri oceniti tudi na podlagi stresanja rezultatov.

Oceniti želimo tudi podatek o puščanju predturbinske zapornice, saj je to merilo za morebitno menjavo tesnil ipd.

Na točnost izračunane vrednosti vplivajo natančnost naprav za merjenje tlaka, natančnost dimenzij in oblike cevododa ter natančnost zagotavljanja predpostavk med merjenjem (konstantnost gladine gornje vode - pomembne za izračun puščanja predturbinskih zapornic - in konstantnost gladine spodnje vode - pomembne za izračun puščanja vodilnika).

Čeprav smo izpeljali odvisnosti spremembe volumna glede na spremembo nivoja vode za celotno cev, se je treba zavedati, da v naravi cevi niso gladko zaprte na gornjem in spodnjem koncu. Spodnji konec ni problematičen, ker tako ali tako leži pod nivojem spodnje vode in za meritve ne pride v poštev. Zgornji konec cevi pa se nadaljuje v zaporne organe, ki ne odrežejo vodnega stolpca idealno. Zato je smiselno nekoliko počakati in meritve izvesti šele takrat, ko se nivo vode v cevi spusti pod presek vhodne odprtine cevi.

7 Rezultati

Opisano metodo smo uporabili na turbini v HE Doblar 2. Spremembe višine gladine vode smo merili s pomočjo barometra. Najprej smo pri odprti predturbinski zapornici odčitali tlak barometra. Iz natančnih meritev nadmorske višine gladine vode pripadajoče akumulacije smo "umerili" barometer. Tako smo preverili odvisnost med tlakom barometra in nadmorsko višino gladine vode.

V naslednji fazi smo predturbinsko zapornico zaprli in približno eno uro odčitavali tlak barometra. Pri tem smo opravili približno 20 meritev.

Nato smo po približno 24 urah ponovno odčitali tlak. Ta meritev nam je pokazala tlak v stacionarnem stanju, ki ga potrebujemo za eliminacijo vpliva puščanja predturbinske zapornice. Pri tem je bilo treba paziti, da v tem času nismo izvajali večjih sprememb obratovanja agregatov vzporedne elektrarne Doblar 1. To namreč vpliva na spremembe nivoja spodnje vode, kar odčitek tlaka v stacionarnem stanju popači (pravzaprav pri spremembah spodnje vode odmerok ni v stacionarnem stanju).

Za vsako meritev sprememb smo izračunali puščanje vodilnih lopatic in puščanje predturbinske zapornice.

Vrednosti puščanja vodilnih lopatic za različne meritve agregata Doblar 2 so se gibale med 0,40 m³/s in 0,46 m³/s s povprečjem 0,43 m³/s. Vrednosti puščanja predturbinske zapornice pa so se gibale med 0,18 m³/s in 0,21 m³/s. Povprečna vrednost puščanja predturbinske zapornice je bila 0,19 m³/s. Standardna deviacija je bila 4,6 % povprečne vrednosti.

7.1 Ovrednotenje izgubljene energije

Poleg poznavanja puščanja vodilnih lopatic turbine nas zanima tudi ekvivalentna količina izgube energije.

Povprečno letno število ur, ko je agregat v HE Doblar 2 v pripravljenosti in ne obratuje, je približno 3500 ur. Če upoštevamo izračunano puščanje vodilnih lopatic tega agregata, ki znaša približno $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ (0.41 % nazivnega pretoka), ter specifično porabo vode, ki je okrog $2,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{MW}$, dobimo letno izgubljeno energijo, ki znaša skoraj 600 MWh. To je ekvivalentno izgubi približno 45.000 evrov na leto.

Za primerjavo velja omeniti, da je bilo v letu 2007 v vseh sončnih elektrarnah v Sloveniji proizvedenih 600 MWh električne energije [7], kar je enako izgubam puščanja agregata v HE Doblar 2. Seveda pa tu niti ni upoštevano, da gre pri hidroagregatu za napovedljivo energijo, ki jo lahko izkoristimo takrat, ko je to smiselno. Vrednost take energije pa je neprimerno večja od energije bolj ali manj nenapovedljive sončne energije, ki je ne moremo izkoristiti po želji.

8 Sklep

Z opisano metodo je mogoče določiti puščanje vodilnih lopatic vodnih turbin tako rekoč brez investiranja v merilno opremo. Potrebujemo le razmeroma natančen barometer, ki je na voljo v skoraj vsaki hidroelektrarni, poleg tega pa moramo poznati geometrijo pretočnih organov med predturbinskimi zapornicami in vodilnikom. Meritve, s katerimi se določi pretok vode skozi turbino, pa stanejo tudi do 70.000 evrov [8].

Slabost metode je ta, da omogoča izvedbo meritev le v hidroelektrarnah, ki so opremljene s predturbinsko zapornico. Sama meritev je razmeroma hitra. Če želimo upoštevati tudi puščanje predturbinskih zapornic, je treba doseči ravnovesno stanje med puščanjem predturbinske zapornice in vodilnika, kar pa praviloma traja več ur. V tem času je merjeni agregat nerazpoložljiv, hkrati pa se ne sme spreminjati nivo spodnje vode, če želimo doseči zadostno natančnost. "Stranski produkt" tovrstnih meritev je določitev puščanja predturbinske zapornice.

Opisana metoda bi lahko bila v pomoč tudi pri splošnih meritvah pretoka s pomočjo Gibsonove metode. Pri merjenju pretoka z omenjeno metodo je treba določiti pretok puščanja turbine, saj ta vpliva na končno vrednost pretoka, dobljenega s pomočjo Gibsonove metode [9, 10].

Meritve smo izvedli na novjšem agregatu hidroelektrarne Doblar 2. Uporabili smo dokaj natančen barometer, poleg tega pa so tudi dimenzije pretočnih naprav dokaj natančno definirane. Standardna deviacija je znašala približno 4,6%, kar je več kot zadovoljiva natančnost, saj je naš cilj oceniti puščanje, in ne določitev natančne vrednosti. Tako smo z že obstoječo opremo dobili zeleno informacijo o puščanju vodilnih lopatic in predturbinske zapornice.

Omenimo tudi, da lahko označimo nabor nam dostopne literature, ki bi to ali tej podobno metodo

merjenja puščanja predturbinskih lopatic opisovala kot neobstoječega.

9 Viri

- [1] Frank M. White: *Fluid Mechanics – 4th edition*, McGraw Hill, 1998
- [2] J. Giesecke, E. Mosonyi: *Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb*, Springer, 2003
- [3] C. T. Crowe, D. F. Elger, B. C. Williams, J. A. Roberson: *Engineering Fluid Mechanics – Ninth Edition*, Wiley, 2009
- [4] F. Kreith: *Mechanical Engineering Handbook*, CRC Press, 1999
- [5] M. R. Spiegel, S. Lipschutz, J. Liu: *Mathematical Handbook of Formulas and Tables – Third Edition*, McGraw Hill, 2009
- [6] Weisstein, Eric W. "Spiric Section." From MathWorld - A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/SpiricSection.html>, 2009
- [7] Institut Jožef Stefan: *Letni energetski pregled za leto 2007*, Ljubljana, 2009
- [8] EPRI: *Flow Measurement at Hydro Facilities: Achieving Efficiency, Compliance, and Optimal Operation*, 2002
- [9] A. Adamkowski, W. Janicki, J. Kubiak, G. Urquiza, F. Sierra, J. M. Fernandez D.: *Water Turbine Efficiency Measurements Using the Gibson Method Based on Special Instrumentation Installed Inside Pipelines*, 6th International Conference on Innovation in Hydraulic Efficiency Measurements, 2006
- [10] E. da Costa Bortoni: *New Developments in Gibson's Method for Flow Measurement in Hydro Power Plants*, Flow Measurement and Instrumentation 19, Elsevier, 2008

Miha Leban je leta 2007 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani. Od takrat je zaposlen na Soških elektrarnah Nova Gorica. Od leta 2008 je tudi študent magistrskega študija elektroenergetike na isti fakulteti.

Rajko Volk je diplomiral leta 1986 na univerzitetnem študiju Fakultete za elektrotehniko v Ljubljani. Trenutno je vodja sektorja proizvodnje na Soških elektrarnah Nova Gorica in sodeluje pri različnih študijah s področja optimizacije proizvodnje električne energije.

Rafael Mihalič je diplomiral leta 1986, magistriral leta 1989 in doktoriral leta 1993 na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani. Po diplomu je postal asistent na omenjeni fakulteti na Katedri za elektroenergetske sisteme in naprave. Med letoma 1988 in 1991 je bil zaposlen pri SIEMENS AG Erlangen na inštitutu za razdeljevanje električne energije in načrtovanje omrežij. Od leta 2005 je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Je član CIGRE, član IEEE, predsednik ŠK B4 SLOKO CIGRE. Področje delovanja vključuje predvsem analizo elektroenergetskih sistemov in naprav FACTS.