

HE ZAVRŠNICA: ZAMENJAVA LESENEGA NADVIŠANJA NA PRELIVU PREGRADE ZAVRŠNICA

Matej Balant¹, Matjaž Lušin¹, dr. Viktor Lovrenčič¹, Rok Narobe², Marko Šegula³, Tomaž Sajk⁴

¹ – C&G d.o.o. Ljubljana, Riharjeva ulica 38, 1000 Ljubljana
matej.balant@c-g.si matjaz.lusin@c-g.si viktor.lovrencic@c-g.si

² – Savske elektrarne Ljubljana d.o.o., Gorenjska cesta 46, 1215 Medvode
rok.narobe@sel.si

³ – Sipro inženiring d.o.o., Cesta krških žrtev 135c, 8270 Krško
marko.segula@sipro-inzeniring.si

⁴ – IKB d.o.o., Cesta v Gorice 36, 1000 Ljubljana
tomaz@ikb.si

Povzetek: Hidroelektrarna Završnica je od svojega zagona pa do danes doživela že marsikatero spremembo. Ravno tako bi lahko rekli tudi za njeno spremljajoče akumulacijsko jezero oziroma pregrado Završnica. Če bi lahko rekli, da je bila za elektrarno Završnica ključna prelomnica njena zaustavitev in preusmeritev vodnega toka v agregat 4 hidroelektrarne Moste, potem bi lahko sklepali, da je za pregrado Završnica ključna sprememba zamenjava lesenega nadvišanja. Sodobna tehnologija zapornice izvedene z jekleno zaklopko podprto z gumijasto podporo, zagotavlja varnejšo in okolju prijazno rešitev. Izbrana zapornica je ugodila ključnim zahtevam problematike predhodnega lesenega nadvišanja. Jeklena zaklopka z gumijasto podporo, omogoča enostavno montažo in minimalni poseg v obstoječ prostor ter gabarite pregrade. Njeno avtonomno delovanje brez napajanja ni tako bistveno kot je to, da je možno v breznapetostnem stanju zapornice varno odpreti ročno in s tem kontrolirano prevajati visoko vode.

Ključne besede: Hidroelektrarna Završnica, pregrada Završnica, akumulacijsko jezero, HE Moste, jeklena zaklopka, gumijasta podpora.

HYDRO POWER PLANT ZAVRŠNICA: THE REPLACEMENT OF WOODEN CONTROL GATES ON THE ZAVRŠNICA BARRIER

Abstract: Hydro power plant Završnica has had many changes since its start up. Same could be said for its accumulation lake or the Završnica barrier. The crucial turning point for the Završnica power plant was its shut down and shifting of the water flow into the Aggregate 4 of the Moste hydro power plant. We could conclude that the upgrade of the wooden barrier is the key change for the Završnica barrier. A modern barrier technology made with steel gate panel supported by rubber, provides not only the user-friendly experience, but also a safer and eco-friendly solution. The chosen barrier has satisfied the key requirements of the previous wooden barrier problem. Steel gate panel with rubber support, allows easy assembly and minimal encroachment of the existing space and the dimensions of the barrier. With its partial autonomy operation, the system could operate for a certain period independently and without any external power source. The gate panel can be manually opened and controlled overflow of high water.

Keywords: Hydro power plant Završnica, barrier Završnica, accumulation lake, HPP Moste, steel gate panel, rubber support.

1 UVOD

Hidroelektrarna Završnica obratuje od leta 1914 in od takrat je doživela že vrsto sprememb. Največjo spremembo je doživela leta 1977, ko se je v strojnici HE Moste dogradil agregat 4 in se priključil na cevovod HE Završnica. Dovod obratovalne vode za agregat prihaja po cevovodu iz akumulacije Završnica, ki se nahaja izza pregrade. Akumulacijsko jezero Završnica leži v vznožju doline pod Stolom na nadmorski višini 640 m.



Slika 1: Pregrada Završnica - obstoječi leseni provizorij [1].

Tudi pregrada je v tem času doživela določene spremembe. Prvotno je bila zgrajena s prostim prelivom. Zaradi potrebe po dvigu nominalne gladine, so se v prelivna polja vgradile lesene pregrade (Slika1). Lesena konstrukcija na kroni preliva je zaradi dotrajanosti konstrukcijskega lesa in posledično zmanjševanja nosilnosti zapornic sčasoma postala problematična [1]. V primeru nezmožnosti kontroliranja prelivanja poplavnih voda bi lahko to privedlo do porušitve lesenega nadvišanja in posledično do poplavnega vala nizvodno. To je dokazala tudi izdelana študija [2].

Za povečanje poplavne varnosti nizvodno od pregrade in kontroliranja prelivanja presežkov količin vode, so se na mesto dosedanjega lesenega provizorija vgradile zapornice, ki vzdržujejo vodno gladino in uravnavajo vodni pretok.

V okviru vzdrževalnih del se je izvedla zamenjava nadvišanega provizorija ter implementacija nove tehnologije na prelivnih poljih pregrade [1].

2 IZBOR PRIMERNE TEHNOLOGIJE

Pri izbiri vrste zapornic so imele prednosti tehnologije z minimalnim tveganjem. Skratka iskale so se zapornice, ki niso brezpogojno vezane na vir energije od zunaj. Z namenom izbire optimalne variante se je izdelala idejna rešitev, v kateri so se obdelale različne tehnične rešitve [3].

2.1 Osnovni tehnični podatki

Osnovni tehnični podatki obstoječe gradbene konstrukcije, na osnovi katerih je koncipirana hidromehanska oprema so naslednji [3]:

- | | |
|---|-----------|
| • Višina zapore | H= 1,00 m |
| • Širina pretočnega polja | L= 7,30 m |
| • Širina krone preliva | Š= 1,87 m |
| • Število pretočnih polj | 4 |
| • Nivoji vode v akumulacijskem bazenu: | |
| ○ normalni obratovalni nivo | 631,50 m |
| ○ max. Pretok pri zaprti zapori (103 m ³ /s) | 632,01 m |
| ○ pretok pri odprti zapori (32,5 m ³ /s) | 632,20 m |
| • Nagib zunanjega prelivnega dela pregrade | 58 ° |
| • Nosilnost mostu čez pregrado (ocenjeno) | G= 6 t |

2.2 Primerne rešitve

Pri izboru vrste zapornic, je investitor poleg priporočil študije »Hidrološko – hidravlična preveritev prelivnega organa pregrade HE Završnica do sotočja s Savo« oblikoval nekatere dodatne zahteve. Prednost so imele zapornice, ki so samodejne v fazi odpiranja pretoka. Torej izbrani tip zapornice naj nebi bil povsem odvisne od vira energije od zunaj. Odpiranje pretočnega polja je predvideno ob pretoku, vendar pa prelivni organ ne rabi biti namenjen zapiranju pretočnega trakta ob pretoku. Upoštevali so se tudi kriteriji prilagodljivosti na obstoječe gradbene konstrukcije v smislu statike, hidravlične oblike in v smislu možnosti montaže v že obstoječe gradbene objekte. Vpliv tehničnih rešitev prenove pregrade Završnica na veduto in jez naj bi bil čim manjši.

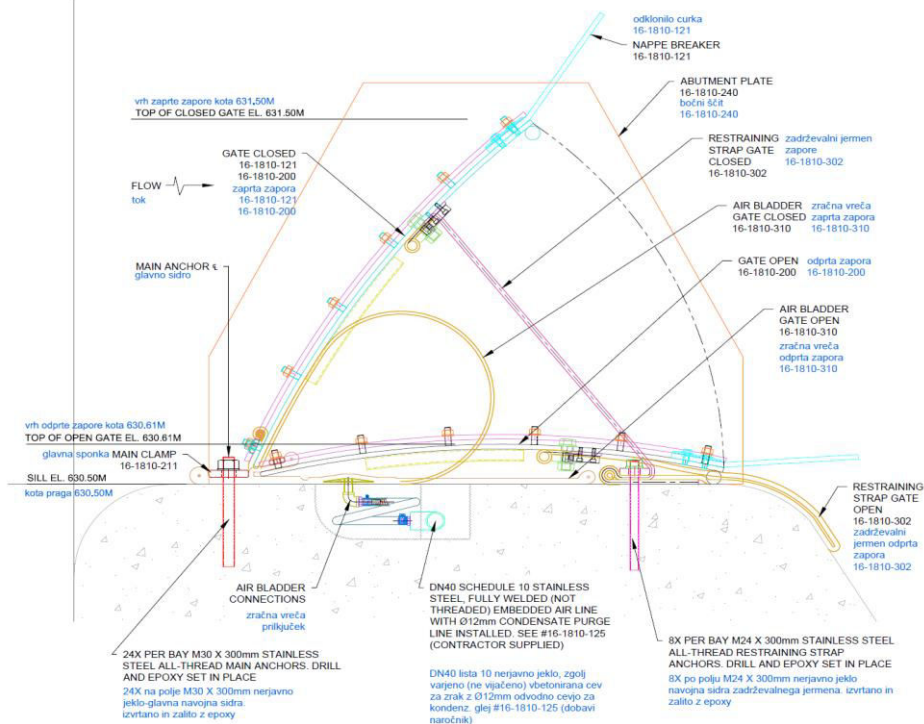
Idejna zasnova je obravnavala štiri osnovne možne tehnične rešitve vgradnje zapornice na kroni prelivnega polja in tri pod variante [3]:

- tablaste zapornice,
- segmentne zapornice,
- zaklopke,
- gumijasti jez:
 - jeklena zaklopka s gumijasto podporo,
 - gumijasti vrečasti jez z zrakom,
 - gumijasti vrečasti jez z vodo.

2.3 Izbrana rešitev

Kot najprimernejša rešitev se je izkazala jeklena zaklopka z gumijasto podporo proizvajalca [4], saj za vgradnjo ne zahteva večjih gradbenih posegov na pregradi, ne poslabšuje hidravličnih pretočnih razmer in omogoča ustrezno regulacijo nivoja v akumulacijskem bazenu (Slika 2). Izbira je upoštevala predvsem naslednje:

- samodejnost zapore – sprostitelj iztoka tudi brez vira energije od zunaj,
- omejitve stabilnosti obstoječe gradbene konstrukcije pregrade,
- hidravlična skladnost z obstoječim betonskim prelivom,
- okoljska primernost,
- cenovna sprejemljivost.



Slika 2: Skica jeklene zaklopke z gumijasto podporo [4].

Poleg skladnosti z že navedenimi zahtevami ima tehnična rešitev še nekatere dodatne prednosti:

- lahka montaža in demontaža ob remontu direktno iz obstoječega mostu,
- upravljanje zapore se vrši s tlačnim zrakom - brez uporabe olja.

3 TEHNIČNI OPIS IZBRANE TEHNOLOGIJE

3.1 Osnovni tehnični podatki jeklene zaklopke z gumijasto podporo

3.1.1. Jeklena zaklopka z gumijasto podporo [4]

• Višina zapore	H= 1000 mm
• Širina zapore	$L_z = 3650$ mm
• Število zapor na eno pretočno polje	2
• Teža telesa jeklene zaklopke (najtežji del)	T= 555 kg
• Debelina plošče jeklene zaklopke	d= 12 mm
• Material plošče jeklene zaklopke	A-572 ASTM grade 50
• Površina telesa zaklopke	Proguard M, RaL 7030
• Ostali jekleni deli vroče cinkani	
• Podporna vreča s tlačnim zrakom	guma
• Tlak v gumijasti vreči - projektni	$p_o = 147.00$ kPa (1,47 bar)
• Tlak v gumijasti vreči – maksimalni	$p_{max} = 200$ kPa (2 bar)
• Varnostni ventil – nastavitev	$p_v = 207$ kPa (2,07 bar)
• Ojačitev priključkov za zrak	dvoplastni poliester
• Dovodni tlačni cevovodi	DN 40 NP 3,5 d=3 mm
• Cevovod za odvod kondenza	D= ϕ 12 mm
• Čas napihanja vreče	t= 60 s
• Kompresorski agregat tip	Ingersoll R5.5i TAS
• Tlak kompresorja	p= 8,5 bar
• Zračni pretok	Q= 0,81 m ³ /min
• Tlačni rezervoar – volumen	V= 0,5 m ³
• Razpon temperature okolice	med - 20°C do + 40°C

3.1.2. Tehnični opis naprav

Pregrada Završnica ima vgrajena 4 pretočna polja (Slika 3). Izvedba projekta je predvidevala vgradnjo po dve med seboj fiksno povezani zapori. Vgraditev je tako zajemala 8 zapornih enot jeklene zapore z napihljivo gumijasto podporno vrečo z vso pripadajočo opremo za vgradnjo zapornice. Zapornica zagotavlja nivo vode v akumulacijskem bazenu na koti 631,50 m kar je normalni maksimalni obratovalni nivo pri zaprti zapornici in brez prelivanja. Ob večjih dotokih v bazen zagotavlja zapornica kontrolirano prelivanje čez krono jeza.

Zapornica je v času normalnega obratovanja postavljena v zajezni položaj (Slika 4). Ob morebitnem povišanju vodostaja v akumulaciji, kot posledica izjemnih dotokov, pa jekleno zaklopko podprto z napihljivo gumijasto podporo lahko spuščamo po korakih in s tem reguliramo nivo v bazenu. Popolnoma odprt položaj za pretok je v trenutku, ko je jeklena zaklopka popolnoma spuščena, ter tako omogočimo evakuacijo prevelike količine vode preko zaklopke. Največjo količino vode, ki jo je predvidevala hidrološka študija je možno evakuirati čez preliv pregrade ob popolnoma spuščeni zaklopkah.

Jeklena zaklopna - zapornica z napihljivo gumijasto podporo, se lahko spušča ob prelivanju vode medtem, ko je dviganje zaklopke z gumijasto podporo predvideno le ob koti vode v bazenu pod 630.50 m ko je zapornica izven vode (Slika 3 in 4).

Zapora se sestoji iz jeklenega segmenta zapornice iz tanke pločevine pritrjene v gumijastih tečajih, ki je podprta z vrečo napolnjeno s tlačnim zrakom. Na jekleni segment zapornice, ki je v odprtem položaju (zaprt pretok skozi

pretočno polje) nagnjen za 30 ° pritiska tlak zajeze vode z vodne strani, s suhe strani pa je na segment naslonjena s tlačnim zrakom napolnjena vreča in mu nudi podporo za izenačitev sil tlaka vode z vodne strani. Zaporo v odprti položaj postavlja dovajanje zraka pod tlakom v zaporno vrečo. Zaporo pa zapira pritisk zajeze vode na segment ob izpuščanju zraka iz vreče do zaprtega položaja zapore, ki omogoči polni pretok vode iz akumulacije skozi pretočno polje.



Slika 3: Jeklena zaklopka z gumijasto podporo [1].



Slika 4: Jeklena zaklopka z gumijasto podporo z dolvodne strani [1].

Manipulacija zapornic se lahko vrši ločeno za vsako pretočno polje posebej, vendar z obema zaporama v enem polju hkrati (paralelno). Kot medij za manipulacijo se uporablja zrak, olje ni potrebno.

Tlačni zrak zagotavlja kompresorska postaja s kompresorjem, tlačnim rezervoarjem ter cevovodi za razvod tlačnega zraka do vseh osmih segmentov vreč z vso potrebno armaturo. Kompresorska postaja je nameščena na levem bregu ob pregradi v obstoječem objektu, kjer so nameščene vstopne rešetke vtočnega objekta s čistilnim strojem (Slika 5).

Sistem za tlačni zrak obsega zračni kompresor vijačnega tipa, hladilni sušilec zraka in zračni filter. Predviden je tlačni rezervoar, ki ga kompresor polni s prefiltriranim in osušenim tlačnim zrakom. Tlačni sistem v 60 minutah zagotovi ustrezno količino tlačnega zraka za napihovanje gumijastih vreč.

Poleg kompresorske naprave je nameščena strojna upravljalna plošča za zrak, na kateri so nameščeni ventili, pipe, manometri, stikala, tlačni rezervoar in ostala armatura s priključki za cevovode, ki vodijo k napihljivim vrečam za vsakega od štirih pretočnih polj ločeno.



Slika 5: Kompresorska postaja, upravljalna plošča za zrak in upravljalna omara zapornic [1].

Do vsakega napihljivega sklopa so speljani tlačni cevovodi DN40 (Slika 6) z ustrežno armaturo (spojni in pritrdilni material, ventili, merilci, ...). Cevovodi so izvedeni z varjenimi spoji (TIG varilni postopek) in vbetonirani v nove sekundarne betone na odseku pretočnih polj. Do zgradbe vtoka s čistilnim strojem (kjer je nameščena kompresorska naprava) pa so cevovodi spojeni s prirobničnimi spoji in vodeni po dolvodni strani ob mostu čez pregrado, pod mostom za dostop v zgradbo vtoka in ob notranji steni zgradbe do priključnih mest pnevmatske upravljalne plošče in kompresorske naprave.

Cevovodi so na odseku kjer so prosto vodeni pritrjeni s konzolnimi nosilci na betonsko zgradbo objekta. Zračni cevovodi so vodeni pod naklonom 1%. Naklon montaže je pomemben in ga je potrebno upoštevati po celotni dolžini pregrade zaradi nabiranja vode v ceveh (Kljub instaliranemu hladilnemu sušilcu zraka v sklopu kompresorja se do 5% vlage iz zraka zbira v ceveh).

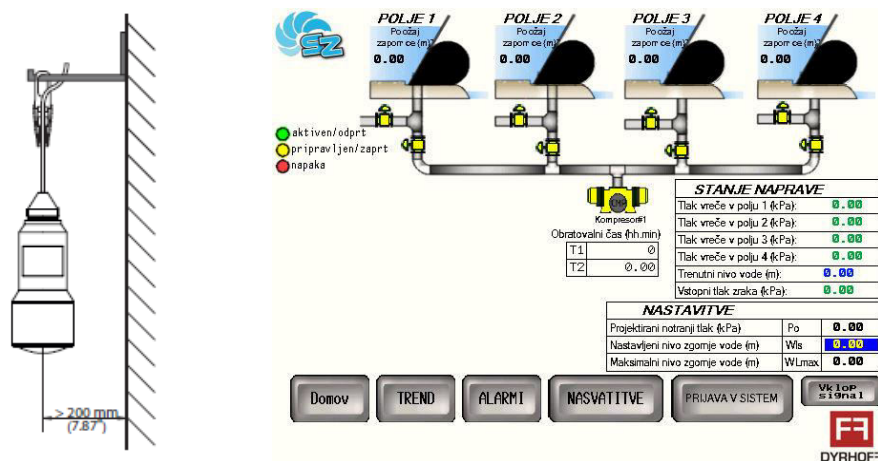
Na najnižji točki tlačnega cevovoda iz obeh smeri je izvedena vertikalno obrnjena kljuka v kateri se zbira kondenz. Na kljuko cevi DN40 je privarjena cev $\phi 12$ mm speljana vertikalno navzgor do roba pregrade (na nizvodni strani – Slika 6). V zaklenjeni omarici so vgrajeni ventili za ročno izpihovanje kondenza s tlačnim zrakom.



Slika 6: Zračni tlačni cevovodi speljani na dolvodni strani pregrade [1].

Upravljalni sistem vključuje merilnik višine vode v akumulacijskem bazenu. Sistem omogoča ločeno upravljanje zapor vsakega posameznega polja od štirih pretočnih polj (Slika 7). Upravlja se lahko ročno na pnevmatski plošči ali programsko na LCD zaslonu krmilnika. Sistem ima v "avtomatskem" režimu več možnih načinov delovanja. Eden od primerov je tudi način »poplava«, kar pomeni, da sistem spremlja trend porasta vode v določenem času. Če se ugotovi, da trend raste prehitro, se smatra, da gre za poplavo. Pri čemer bo sistem začel počasi spuščati zapornice eno po eno, ter tako pri vsakem spustu analiziral trend gladine vode. V primeru, da padec gladine ni zadosten, se spusti še naslednja zapornica itd. Postopno puščanje je zato pomembno, saj se s tem preprečuje poplavni val, ki bi nastal, v primeru spusta le teh na enkrat.

V našem primeru pa zapornica ne deluje v avtomatskem režimu. Na željo uporabnika je za vsakršno odpiranje potreben ročni poseg. Avtomatsko delovanje je namenjeno vzdrževanju potrebnega tlaka v napihljivi vreči (ko je voda višja od polovice zapornice – nad koto 631,00 m.n.m. je v vreči nominalni obratovalni tlak, če je voda nižja pa se v vreči tlak spusti na približno polovično vrednost obratovalnega tlaka. Zapornica se avtomatsko odpira samo v primeru previsokega nivoja vode v bazenu to pomeni višja od 20 cm preliva (nad koto 631,70 m.n.m) takrat se zapornica avtomatsko odpira in drži maksimalni nivo v bazenu (to je tudi nivo maksimalne obremenitve zapornice). Res pa je, da do tega nivoja dejansko ne sme priti, saj je obratovalno osebje dolžno zapornico ročno odpreti že prej.



Slika 7: Merilnik višine vode in pogled na LCD panelu [4].

4. ZAKLJUČKI

Sistem jeklenih zapornic z gumijasto podporo omogoča enostavno prilagajanje nivoja kote vode v akumulacijskem jezeru. Lahko bi rekli, da je upravljanje takšnih zapornic na željo uporabnika popolnoma samodejno. Krmilnik lahko tako z merjenjem nivoja vode spremlja trend, in ga primerja zoper uporabniško nastavljene kote zaježitve. V primeru, presežka vode zapornico spusti oziroma pri primanjkljaju zapornico dvigne. Sistem zapornic je tudi povezan na center vodenja, ki omogoča tudi oddaljen pregled delovanja. Tako se vrši beleženje zgodovine in diagnostika delovanja, ki pa je dostopna tudi lokalno (Slika 7 - LCD panel krmilnika). Zapornica je tako na željo uporabnika sposobna avtomatsko držati nivo vode v bazenu oz. zagotavljati stalen pretok preko nje, kar lahko pride prav pri reševanju problematike manjših hidroelektrarn.

Poleg že naštetih prednosti, je sistem tako povečal poplavno varnost na pregradi Završnica, saj s svojo avtonomnostjo omogoča prilagajanje na trenutne vodne razmere.

Zapornice res da ne delujejo čisto brez zunanjega vira energije, vendar smo se z izbrano tehnologijo relativno dobro približali našim željam. Tlačni zalogovnik kompresorja, lahko kljub izpadu omogoča manjše manipulacije na vrečah. Zapornice se lahko vedno spuščajo ročne ne glede na zunanje vplive. V primeru okvare kompresorske enote lahko pnevmatsko ploščo priklopimo tudi na pomožni kompresor. Vgrajena baterija v krmilni omari ohranja sistem "živ" dobrih 3 ure.

V primeru okoljske sprejemljivosti pa lahko poudarimo, da je sistem vodenja zapornic brez hidravlike prijaznejši okolju saj ni tveganja za puščanje olj. Hidravlična enota ni potrebna, zato lahko privarčujemo tudi na prostoru. Manj je tudi gibljivih delov, ki so izpostavljeni obrabi – npr. ležaji, cilindri. Kar posledično privede tudi do enostavnega in relativno manj zahtevnega vzdrževanja.

REFERENCE

- [1] SEL.: Dokumentacija – arhiv, Savske elektrarne Ljubljana d.o.o., 2019.
- [2] GEATECH.: Hidrološko – hidravlična preveritev prelivnega organa pregrade HE Završnica do sotočja s Savo, Geatech d.o.o., 2011.
- [3] IKB.: HE Završnica, vgradnja zapornih elementov na prelivu; Idejne rešitve št. 21-16, IKB d.o.o., 2016.
- [4] OBERMAYER.: Tovarniška dokumentacija, DYRHOFF LTD, 2018.