

# NAJSUVREMENIJA REVERZIBILNA HIDROELEKTRANA U EUROPI

Niko MANDIĆ, dipl. ing.

Diljem svijeta u tijeku je intenzivna izgradnja više reverzibilnih hidroelektrana i u iduće četiri godine očekuje se rast tog sektora za 60%. Te se elektrane grade na dva načina: kao novi objekti (uz etapno puštanje u pogon) ili kao proširenje postojećih. Od brojnih projekata u svijetu, valja izdvojiti dva u susjednoj Sloveniji: jedna je RHE Avče koja je već puštena u pogon, a druga je RHE Kozjak koja je u fazi planiranja.

Reverzibilna hidroelektrana Avče snage 185 MW u pogonu je od proljeća 2010. godine. Nalazi se na rijeci Soči, u neposrednoj blizini slovensko-talijanske granice (il. 1 i 2). Spojena je na 110 kV mrežu, što nije uobičajeno. To je, energetske gledano, objekt s dvije namjene koji radi ciklički, u generatorskom pa u motornom načinu rada (il. 3). U vlasništvu je tvrtke Soške elektrane Nova Gorica (SENG) koja, pored nje, ima još pet većih i 21 manju elektranu. Ukupna instalirana snaga svih njezinih elektrana iznosila je 160 MW, što je gradnjom RHE Avče udvostručeno.

To je jedna od najsvremenijih elektrana te vrste u Europi i ima iznimno povoljne tehničke karakteristike (tablica 1). Omogućava pružanje i nekih dodatnih usluga pa, primjerice, može biti sustavna pričuva, regulirati napone u mreži, izvoditi kompenzaciju jalove snage, imati način rada automatske sekundarne regulacije (ASR). Gradnja je počela u kolovozu 2005, a završena je u kolovozu 2009. godine, nakon čega su izvedeni još neki radovi te je cijeli objekt u pogon pušten početkom travnja 2010. godine.

Elektrana je spojena na mrežu 110 kV. Postrojenje ima dva sustava sabirnice 110 kV, spojno polje i vodna polja 110 kV Gorica 1, Gorica 2, Doblar i Tolmin. Pomoćno napajanje osigurano je ugradnjom agregata snage 600 kV A, 0,4 kV. Elektrana može startati bez vanjskog napajanja (crni start agregata) i ima mogućnost uključanja u sekundarnu i tercijarnu regulaciju.

Tu višenamjensku elektranu vodi dispečerski centar HSE-a u Mariboru (elektroenergetska tvrtka), a ne NDC ELES-a u Ljubljani (operator prijenosnog sustava). Ta činjenica čini još jednu posebnost u odnosu na slične objekte u regiji.

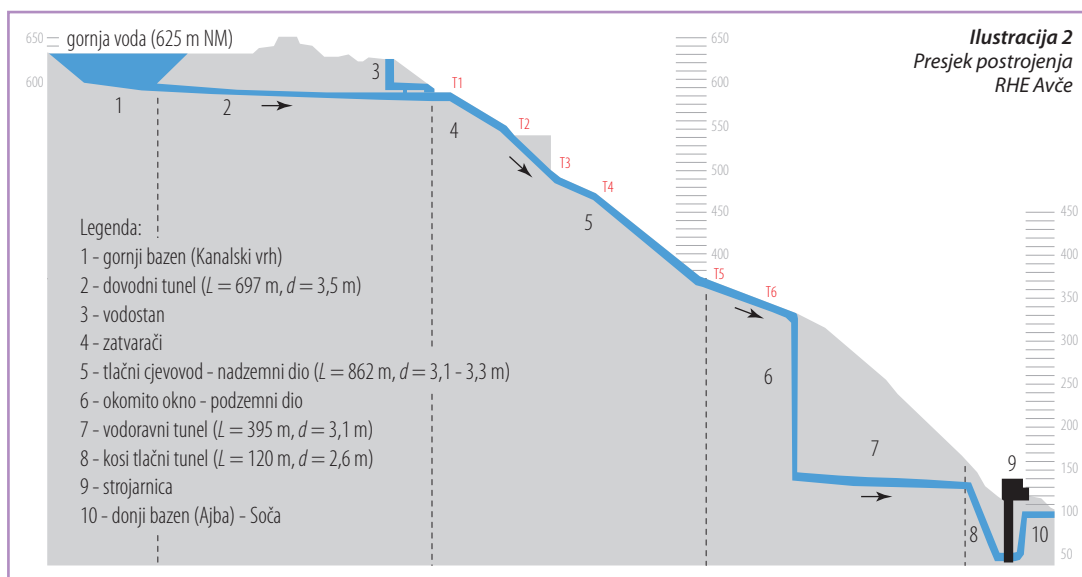
Korisan volumen gornjeg bazena Kanalski vrh prazni se brzinom 40 m<sup>3</sup>/s za 15 h, a puni brzinom 34 m<sup>3</sup>/s za 17,7 h. Pražnjenje ili punjenje traje 24 h s protokom 25 m<sup>3</sup>/s.

Donji bazen Ajba puni se brzinom 40 m<sup>3</sup>/s za 3 h, a prazni brzinom 34 m<sup>3</sup>/s za 3,4 h. Punjenje ili pražnjenje traje 24 h s protokom 4,8 m<sup>3</sup>/s.

Pri pražnjenju donjeg bazena Ajba sadržajem većim od 0,42 · 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> moraju raditi dvije uzvodne elektrane HE Plave i HE Solkan, a pri njegovom punjenju sadržajem većim od 0,42 · 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> mora raditi nizvodna elektrana HE Doblar.

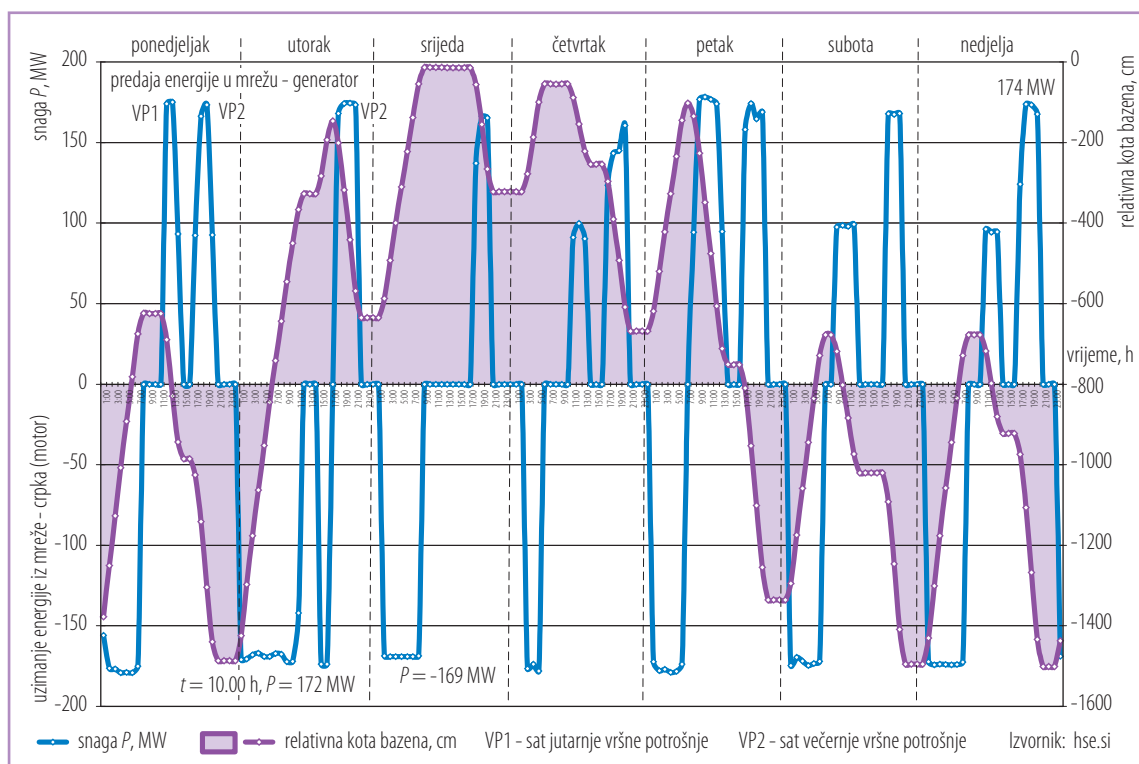


Ilustracija 1  
Položaj dijelova RHE Avče



Ilustracija 2  
Presjek postrojenja  
RHE Avče

**Ilustracija 3**  
Dnevni ciklus rada  
RHE Avče i promjena  
kote jezera



**Tablica 1**  
Osnovni tehnički  
podaci o RHE  
Avče

osnovni podaci	
maksimalni protok u generatorskom radu $Q_g$	40 m <sup>3</sup> /s
maksimalni protok u crpnom radu $Q_p$	34 m <sup>3</sup> /s
maksimalni bruto pad $H_1$	521 m
minimalni bruto pad $H_2$	491 m
srednji bruto pad za generatorski rad $H_{sr}$	498 m
instalirana snaga na pragu u generatorskom radu $P_{ig}$	185 MW
instalirana snaga crpke na pragu $P_k$	180 MW
godišnja proizvodnja električne energije $W_{pro}$	428 GW h
godišnja potrebna električna energija za crpni rad $W_c$	553 GW h
stupanj iskoristivosti elektrane $\eta$	0,77
podaci o gornjem bazenu Kanalski vrh	
maksimalna kota gornje vode	625 m NM
minimalna kota donje vode	597 m NM
korisni volumen akumulacije	2,17 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
podaci o donjem bazenu Ajba	
maksimalna kota donje vode	106,0 m NM
minimalna kota donje vode	104,0 m NM
korisni volumen dnevne akumulacije	0,42 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
podaci o strojarnici i opremi	
tip crpne turbine	Francisova, okomita, jednostupanjnska, reverzibilna
nazivni broj okretaja	600 min <sup>-1</sup> (±4%)
nosivost dvoglave mosne dizalice	300 t
snaga asinkronog motora-generatora	195 MV A
proizvođač asinkronog motora-generatora	Mitsubishi (Japan)
snaga glavnog transformatora (18/110 kV)	200 MV A
izvedba spoja glavnog transformatora	Dy
izvedba električnog postrojenja	oklopljeno sa SF6

U generatorskom radu snaga agregata može se kontinuirano mijenjati u rasponu 90 - 180 MW, a u motornom-crpnom radu u rasponu 90 - 185 MW, dok se ASR ostvaruje u opsegu ±10 MW.

Europska investicijska banka (EIB) Sloveniji je posudila oko 42 milijuna eura za dovršenje njezine izgradnje, a ukupna ulaganja iznose oko 135 mil. eura. Gradnja je osigurana sindiciranim jamstvenim dogovorom slovenskih i stranih banaka, a dogovor je vodio Bank Austria Creditanstalt, dok je osiguranje posudbe dao HSE.

Elektrana je reverzibilna, dvonamjenska jer ista oprema radi u dva načina rada: generatorskom ili motornom. U prvom načinu se proizvodi električna energija i utiskuje u mrežu, a u drugom se energija uzima iz mreže pri čemu turbina radi kao crpka i podiže vodu kroz isti cjevovod do gornjeg bazena. Pri tome voda u ta dva načina rada struji u suprotnim smjerovima: jednom od gornjeg prema donjem (u generatorskom načinu rada), a potom od donjeg prema gornjem bazenu (u motornom načinu rada). Kao i sve elektrane ovog tipa, za crpni rad koristi nižu cijenu električne energije noću. U generatorskom načinu rada koji traje nekoliko sati tijekom dana, proizvodi energiju, kada je njezina cijena na tržištu najviša (u vršnim satima potrošnje). Zato se ponekad u odnosu na dnevni dijagram potrošnje elektrana naziva i vršnom.

Isplativost investicije u RHE Avče procjenjuje se na 8 - 12 godina, ovisno o cijenama nabavne (noćne) energije. Pretpostavke o isplativosti

reverzibilnih hidroelektrana temelje se na nabavi noćne i vikend-energije čija je cijena višestruko niža od cijene vršne energije (čak ponekad noćna energija postiže negativnu vrijednost na spot-tržištu). Ta se energija načelno koristi za crpni rad. Uz to, činjenica je da će se značajnijom izgradnjom velikih termoenergetskih blokova u regiji i povećanjem udjela vjetroelektrana u strukturi izvora električne energije pojaviti značajni viškovi u razdobljima manjeg opterećenja. Nakon akcidenta u japanskoj nuklearnoj elektrani mogu se očekivati povećani pritisci i traženja za što skorijim zatvaranjem većeg broja sličnih objekata u Europi. Mnoge starije nuklearne elektrane su nakon planirane modernizacije dobile mogućnost produljenja rada. Kako se može čuti, ta suglasnost za nastavak rada će u nekim starijim objektima možda biti povučena. Stoga bi veći termoenergetski blokovi ponovo mogli biti jedna od alternativa. Time se stvara veća mogućnost za crpni rad reverzibilnih agregata. Dugogodišnje praktično iskustvo potvrđuje činjenicu postojanja značajnih noćnih viškova, koje nije uvijek moguće reducirati.

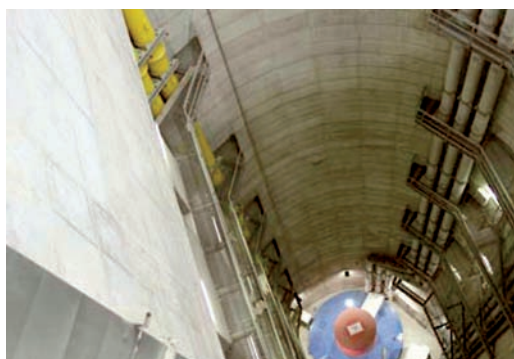
### Gornji bazen Kanalski vrh

Gornja akumulacija (bazen) locirana je sjeverno od Kanalskog vrha u kračoj, prirodno oblikovanoj kotlini. Morfologija terena omogućila je gradnju bazena volumena oko 2,2 mil. m<sup>3</sup>, koji zauzima površinu oko 16 ha. Budući da dolina nije posve zatvorena sa svih strana, izgrađena su dva bočna nasipa kojima je nastao bazen. Bočni

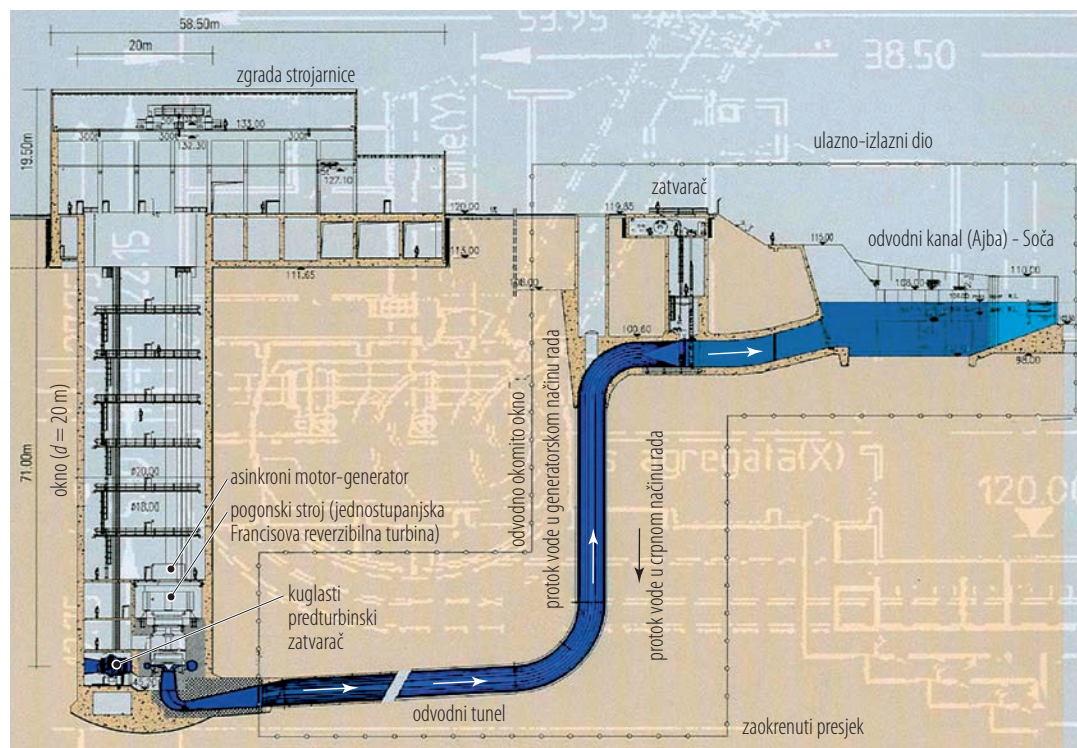
nasipi na sjeverozapadu i jugoistoku izgrađeni su od iskopanog vapnenačkog pješčenika preko čega je položen sloj tucanika debljine oko 30 cm. Tako načinjena pregradna stjenka je unatoč tome propusna pa ju je trebalo učiniti potpuno nepropusnom. Na jedan način se mogla riješiti nepropusnost vodoravnih ploha i dna bazena, no složeniji problem su bile kose stranice. Očuvanje vodonepropusnosti s kosim stranicama bio je i graditeljski izazov. Nekada se to rješavalo polaganjem žičane mreže na podlogu koja je prskana tekućim betonom u nekoliko slojeva, a za



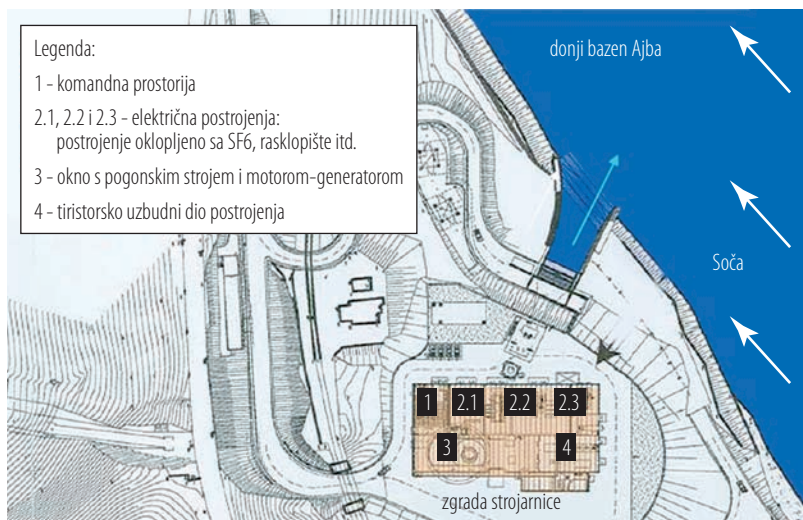
**Ilustracija 4**  
Izrada nepropusnog asfaltnog sloja gornjeg jezera



**Ilustracija 5**  
Okno s generatorom RHE Avče



**Ilustracija 6**  
Presjek strojarnice



**Ilustracija 7**  
Položaj strojarnice i donjeg bazena Ajba

ostvarivanje nepropusnosti korištene su i posebne plastične folije. U slučaju bazena Kanalski vrh vodonepropusnost je postignuta nanošenjem bitumenske obloge u dva sloja i završnog sloja vrelog bitumena (il. 4). To nije uobičajeni postupak izoliranja pa je za tu vrstu posla izolacija na kosim stijenkama rađena prema novoj proceduri s odgovarajućim strojevima, ostalom opremom i metodama. Završni bitumenski sloj štiti izolaciju bazena od starenja, razarajućih ultraljubičastih zraka i održava vodonepropusnost.

### Dovodni tunel i tlačni cjevovod, strojarnica i okno

Dovodni tunel i tlačni cjevovod ukupne su duljine 2216 m. Na tunel se nastavlja tlačni cijevovod povezujući gornji i donji bazen. Iz gornjeg bazena polazi dovodni tunel. Čelični tlačni cijevovod sastoji se od dva dijela, pri čemu se nadzemni i podzemni prepoznaju na presjeku terena.

Strojarnica se nalazi na lijevoj obali Soče uz donji bazen (akumulaciju) Ajba i u obliku je okna (il. 5 i 6). Izgradnja okna bila je posebno zahtjevna i korištene su posebne vrste zgušnjavajućeg betona. Kružnog je presjeka s promjerom 20 m i dubine oko 80 m. U njoj je smješten reverzibilni agregat (turbina-crpka) snage 185 MW, s nazivnim protokom koji varira u rasponu 26 - 32 m<sup>3</sup>/s i promjenjivim brojem okretaja (600 min<sup>-1</sup> ±4%). Nad oknom je zgrada strojarnice s tlocrtnim dimenzijama 60 × 35 m. Najveća visina zgrade je 20 m.

### Motor-generator i sustav uzbude

Dvonamjenski stroj radi u jednom načinu rada kao motor (crpka), a drugi put kao generator koristeći vodu iz gornjeg bazena. Temeljna razlika motornog i generatorskog rada se sastoji u zadatku pogonskog stroja (Francisove turbine). Kada na njega dolazi voda iz gornjeg bazena s velikom brzinom i tlakom te padom većim od

500 m, stroj na zajedničkom vratilu radi kao generator i proizvodi energiju za mrežu. No, kada isti stroj uzima energiju iz mreže, pokreće pogonski stroj (turbinu) koja crpi vodu u gornji bazen.

To je dvostruko napajani indukcijski stroj s promjenjivom brzinom vrtnje. Promjena brzine vrtnje obavlja se tiristorskim uzbudnim sklopom (eng. ICGT - Integrated Gatecommutated Thyristor). Primjereno načinu rada, stroj ima i različite smjerove vrtnje, kao i strujanje vode kroz tunel i cjevovod. Tiristorska uzbuda pruža bolji odaziv agregata, bržu sinkronizaciju na mrežu i regulaciju snage u crpnom načinu rada.

Elektrana je priključena na postojeću mrežu 110 kV sjevernoprimske petlje, na dijelu HE Doblar - RTP Gorica s dvostrukim dalekovodom 110 kV i kabelima duljine oko 2 km te preko mrežnog transformatora 200 MV A. Rasklopno postrojenje 110 kV izvedno kao oklopljeno sa SF<sub>6</sub>.

### Donji bazen Ajba

Donji bazen čini već postojeća akumulacija Ajba (il. 7). Nastao je između kota 106,00 i 104,50 m NM te omogućava normalan pogon lanca elektrana HE Doblar i HE Plave. Ima volumen 416 000 m<sup>3</sup>, uz moguće povećanje dodavanjem vode iz HE Doblar za crpni rad RHE Avče.

### Neki planovi za daljnju izgradnju

Slovenija se opredijelila za stratešku izgradnju reverzibilnih (crpnih) hidroelektrana. Uz RHE Avče, u pripremi je izgradnja RHE Kozjak snage 2 × 220 MW. Planirana godišnja proizvodnja iz te dvije elektrane iznosit će 1226 TW h, a ukupna potrošnja u crpnom načinu rada 1,594 TW h godišnje.

Nova RHE Kozjak kao donji bazen koristit će akumulaciju HE Fala na Dravi, a kao gornji bazen akumulaciju od 3 km<sup>2</sup>. Planira se da će punjenje bazena trajati 17 h, a pražnjenje 13 h, dok je planirani bruto pad 713 m. Tlačni cjevovod bit će duljine 2,4 km i promjera 4 m, a instalirani protok 2 × 32/24 m<sup>3</sup>/s i očekivana godišnja proizvodnja 860 GW h. Priključak elektrane ostvarit će se dvostrukim spojnim dalekovodom na 400 kV dalekovod Maribor - Kainachtal. Vrijednost projekta se procjenjuje na oko 400 mil. eura.

Zaključno, Slovenija planira proizvesti 1,3 TW h energije iz reverzibilnih elektrana. Na taj način bi se mogli prikupiti svi 'viškovi noćne energije u regiji' čime bi se ostvarila aktivna uloga na regionalnom tržištu električne energije prema načelu: 'jeftino kupiti noćne i vikend-viškove električne energije iz termoelektrana i potom neplaniranu proizvodnju vjetroelektrana te zatim prodati po najvećim satnim cijenama vršne energije.' ■