

# HAVARIJA NAJVEĆE RUSKE HIDROELEKTRANE

Niko MANDIĆ, dipl. ing.

**H**idroelektrana Sajano-Šušenskaja nalazi se na rijeci Jenisej u Republici Hakasiji, dijelu Ruske Federacije u južnom dijelu središnjeg Sibira. U pogon je puštena 1978. godine i najveća je u Rusiji. Sastoji se od 10 identičnih proizvodnih jedinica (agregata) označenih AG1 - AG10, u nizu od lijeve do desne obale (il. 1 i 2). Ukupna snaga elektrane iznosi 6500 MW, a godišnja proizvodnja 23,5 TW h.

U svakom agregatu ugrađena je Francisova turbina sa 16 lopatica. Procijenjena pojedinačna snaga agregata iznosi 650 MW, a instalirani pojedinačni protok 358,5 m<sup>3</sup>/s. Nazivna brzina vrtnje rotora turbine, odnosno generatora iznosi 142,86 okr. / min, masa rotora s lopaticama 156 t, a promjer rotora 6,77 m.

Najveća razina akumulacijskog jezera elektrane iznosi 539 m, što je nakon havarije sredinom prošloga ljeta godine spušteno na 537,57 m. Razlog za spuštanje razine jezera za 3 - 5 cm/d bilo je otvaranje devet preljevniha polja na drugoj poziciji zatvarača što omogućava istjecanje 2950 m<sup>3</sup>/s vode. Kontrolirano ispuštanje je provedeno oprezno radi izbjegavanja klizanja okolnog terena i mogućeg urušavanja u jezero.

## Francisove turbine

U velikim hidroelektranama najčešće se koriste Francisove turbine. Osnovna prednost takvih turbina je mogućnost rada na različitim konstruktivnim padovima, u rasponu 20 - 300 (700) m i stupanj djelovanja veći od 90%. Postoje inačice takvih turbina s okomitim i vodoravnim vratilom, a i za ekstremno velike snage i uvjete rada, kada vanjski izgled odudara od uobičajenog profila.

Proizvodnja električne energije i snaga postrojenja općenito ovise dva elementa:

- raspoloživom padu vode, pri čemu pad ovisi o visini brane i što je on veći, veći je energetski potencijal
- raspoloživom protoku vode, pri čemu su električna snaga i proizvedena električna energija izravno proporcionalne količini vode koja prolazi kroz turbinu.

U časopisu EGE 4/2009 prikazana je HE Itaipu na granici Brazila i Paragvaja, jedna od najvećih hidroelektrana na svijetu. U njih se ubraja i HE Sajano-Šušenskaja na rijeci Jenisej u Rusiji. U toj, najvećoj ruskoj hidroelektrani prošloga se ljeta dogodila havarija u kojoj je stradao velik broj djelatnika, a uzroci se još istražuju.



Legenda:

- 1 - armiranobetonska brana
- 2 - akumulacijsko jezero
- 3 - strojevi za čišćenje rešetke brane od krupnih plutajućih nečistoća uz vodozahvat
- 4 - strojarica s elektroenergetskim postrojenjima
- 5 - glavna komandna prostorija (uklopnica)

**Ilustracija 1**  
Pogled na krunu brane  
s naznakom osnovnih  
dijelova

### Napomena

U časopisu EGE 4/2009 predstavljena je HE Itaipu na rijeci Parani, na granici Brazila i Paragvaja, po godišnjoj proizvodnji električne energije najveća na svijetu. No, 11. studenog 2009. godine u elektrani je došlo do poremećaja i do raspada elektroenergetskih sustava u obje zemlje, pri čemu su milijunski gradovi južnog Brazila ostali u mraku. To je bio peti ili šesti raspad EES-a uzrokovan nekom od pogrešaka (izravnim ili neizravnim) na toj elektrani nakon 1984. godine.

**Ilustracija 2**  
Pogled na branu s naznakom osnovnih dijelova i dimenzija



**Ilustracija 3**  
Pogled na mjesto početnog poremećaja u strojarnici (prije havarije)

Francisove turbine, kako je rečeno, imaju širok raspon mogućnosti korištenja na različitim konstruktivnim padovima, a izlazna snaga može iznositi od nekoliko kW do 1000 MW. Dobile su ime po britansko-američkom inženjeru Jamesu Bichenu FRANCISU koji ih je prvi konstruirao. Prvenstveno služe za proizvodnju električne energije. To su reakcijske turbine kojima je za pokretanje i rad potreban protok vode pod tlakom. Regulirajući protok vode regulira se brzina okretanja turbine, a time i kinetička energija koja se pretvara u električnu.

Kod velikih hidroelektrana najčešći su srednji konstruktivni padovi. Za njih se koriste Francisove turbine kod kojih provodni dio s lopaticama okružuje radno kolo. U provodnom djelu turbina potencijalna energija vode se samo djelomično

pretvara u kinetičku tako da s određenim nadtlakom voda dopijeva u okretno kolo rotora i pre-daje mu energiju.

Kada je riječ o istraživanju uzroka havarije u HE Sajano-Šušenskaja, ugrađene Francisove turbine imaju posebno mjesto. Naime, poznato je da se na turbini agregata AG2 dogodio inicijalni kvar, nakon čega je uslijedio niz uzročno-posljedično povezanih oštećenja i razaranja (il. 3). Danas se čini da je kvar bio popraćen praskom i tutnjavom nepoznatog uzroka i izvora. S donje strane turbine pojavio se strahovit povratni tlak pa je voda izbacila turbinu iz ležišta (il. 4). Potom je gotovo sve uokolo uništeno, a poplavni val ispunio je generatorski prostor i došlo je do sekundarnih rušenja, razaranja i oštećenja. Nakon primarnih oštećenja uslijedila su sekundarna na agregatima AG7 i AG9 smještenima bliže desnoj obali. Oba generatora su potopljena i nekontrolirano su se rotirala u vodi pokretana vlastitim turbinama. Pri padu krovne konstrukcije uništeni su do tada neoštećeni dijelovi postrojenja. Takav razarajući protutlak na turbinu po iznosu i smjeru djelovanja u normalnom višegodišnjem radu nikada nije postignut.

Oštećenja do kojih je došlo se mogu podijeliti u dvije skupine. Prva su rezultat mehaničkih oštećenja opreme, a druga potapanja postrojenja u smjesu vode i ulja. Naime, pojedini generatori su radili potopljeni u vodu nakon prodora vode u generatorsku galeriju.

### Havarija i njezini mogući uzroci

Do 17. kolovoza 2009. godine razmjerno malen broj ljudi je uopće čuo nešto o najvećoj



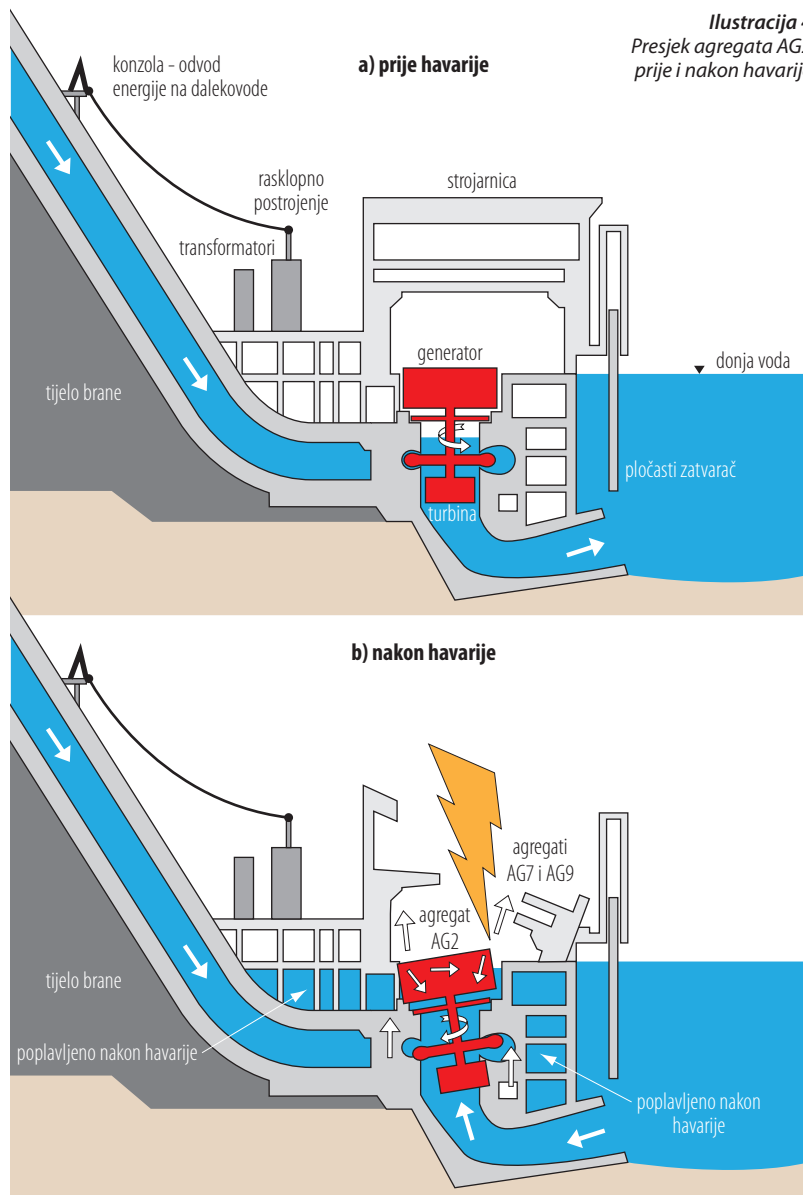
ruskoj hidroelektrani. Naime, najveći dio električne energije koju proizvodi usmjeren je u industrijsku potrošnju (proizvodnju aluminija) pa nije zanimljiva široj javnosti.

No, nakon havarije informacije o njoj izbile su u prvi plan. To su uglavnom informacije o samoj havariji i nagađanja u vezi uzroka poremećaja i šteta izazvanih razaranjem postrojenja. No, malo je dostupnih tehničkih pojedinosti, što je i razumljivo jer istraga još traje.

Što se može očekivati na osnovi dosadašnjih iskustava i izvještavanja o velikim poremećajima elektroenergetskih sustava? Valja se sjetiti kalifornijskog poremećaja i nekoliko velikih raspada europskih sustava pa i onog najvećeg u studenom 2006. godine. Pri objašnjenju inicijalnih poremećaja u takvim slučajevima često se koristi izraz 'obična grana drveta'. Zbog toga više stvarnih tehničkih pojedinosti i informacija o havariji u HE Sajano-Šušenskaja ne treba očekivati do završetka istrage. Bez obzira na to kakav će biti konačni izvještaj, informacije će ipak tijekom vremena manje ili više, na ovaj ili onaj način, izaći na svijetlo dana.

No, temeljem oskudnih informacija i fotografija valjalo bi pokušati predočiti havariju, odnosno njezin najvjerojatniji tijek. Mnoga saznanja i detalji nedostaju, a prvenstveno točan i cjelovit kronološki slijed događanja. Sve informacije temelje se na djelomičnim saznanjima, no iskazana nagađanja ipak su bolja od ničega. Primjerice, temeljem uvida u fotografije, na osnovi razbacanih i prepoznatih dijelova transformatora ili generatora, opreme i dijelova postrojenja moglo se zaključiti o kakvoj vrsti oštećenja je riječ, gdje su nastala i kako su se dogodila (il. 5, 6, 7 i 8). Pri odabiru fotografija za ilustracije krenulo se od skromnog dostupnog materijala. Osnovna ideja za taj odabir bila je prepoznavanje oštećenih vitalnih dijelova elektrane i njihovog stupnja oštećenja. To nije bilo jednostavno jer je pri pregledu trebalo izdvojiti ključne elemente. Često se u takvom istraživanju iz samo jedne fotografije može krivo prepoznati vitalni dio. No, to je bio jedini mogući put za nastanak ovog članka.

Pri tome se nastojao izbjeći prikaz srušene metalne konstrukcije staklene plohe strojarnice, krovne konstrukcije i sl, iako srušeni materijal djeluje vrlo upečatljivo. No, treba znati da se sva konstrukcija može obnoviti u vrlo kratkom vremenu, a elektrana i bez tih dijelova može raditi u slučaju nužde. Zato su na fotografijama tražena i prepoznata vitalna oštećenja elektropostrojenja po subjektivnom sudu, prodori vode u generator ili transformator. Najjednostavnije je oštećene strojeve zamijeniti novim, no to nije uvijek



**Ilustracija 4**  
Presjek agregata AG2  
prije i nakon havarije

**Ilustracija 5**  
Pogled na oštećenja u podnožju elektrane...



**Ilustracija 6 ... razorenu strojarnicu...**



**Ilustracija 7 ... i uništene agregate**



**Ilustracija 8 Mjesto havarije obišli su ruski premijer Vladimir PUTIN i ministar za izvanredna stanja Sergej ŠOJGU sa suradnicima**



moгуće. Svaki mehanički neoštećeni generator koji je bio u kontaktu s vodom mora proći duge procese provjere svih elemenata. Ne treba zaboraviti činjenicu da se rotor mase veće od 156 t treba vrtjeti brzinom od 142,86 okr./min i pri tome se normalno ponašati. Određeni zahtjevi postoje i za ostale dijelove postrojenja.

Do prvog poremećaja je došlo pogrešnim zatvaranjem zatvarača protoka vode na agregatu AG2. Ne zna se pouzdano i činjenično zašto je dan signal za njegovo zatvaranje, a isto je tako upitan uzrok nastanka signala. Valjalo bi nastaviti slijedom te pretpostavke. Pri tome se stvorila snažna povratna reakcija, tj. 'hidraulički čekić' u kućištu regulatora protoka vode (zatvarača). Pretpostavlja se da je tako snažna sila uništila masivnu strukturu iznad kućišta zatvarača (ukupna masa izbačene opreme prelazi 900 t). Na dalje, rušenjem krovne konstrukcije oštećeni su agregati AG3, AG4, AG5, dok je AG6 u to vrijeme bio u remontu, bez napona. To je bitna činjenica jer mu nije naštetio velik broj kratkih spojeva koji su nastali pod utjecajem poplave. U eksploziji je uništen barem jedan mrežni transformator.

Informacije iz više izvora se samo djelomično slažu s do sada iznesenim i pojavljuju se značajne razlike u nagađanjima uzroka havarije. Govori se čak i da je neki 'drveni predmet' ili slični otpad slučajno prošao mimo rešetaka na ulaznoj građevini zahvata vode u tlačni cjevovod, što se događa vrlo rijetko. Nagađanja se razvijaju dalje, tvrdeći da je otpad, krećući se u vodenoj struji, udario u zatvarač izazivajući reakciju električne zaštite u smislu davanja impulsa zatvaranja servomotoru zatvarača. Naglim zatvaranjem zaporce agregata AG2 započeli su problemi. No, sve to čini kao nevjerovatan niz slučajnosti. Je li to bilo moguće? Naime, ako se to i dogodilo pa je drveni otpad došao u turbinsko kolo rotora i pri tome se manje-više okretao s lopaticama u struji vode ili otežavao vrtnju, nije mogao kočiti rotirajuću masu od 156 t!

### **Zaključak**

Za kraj, još treba reći da HE Sajano-Šušenskaja ima vrlo stabilnu proizvodnju. Gotovo 2/3 proizvedene energije isporučuju se pogonu za preradu aluminija RUSAL koji je najveći proizvođač aluminija na svijetu. Proces prerade aluminija, osobito taljenja, zahtjeva velike i ujednačene količine električne energije. Za rad elektrane to znači uravnoteženu proizvodnju tijekom dana i duljeg razdoblja. Oštećenje HE Sajano-Šušenskaja uzrokovalo je dodatnu štetu i probleme u proizvodnji aluminija. ■