

Inozemne građevine

ITAIPU – NAJVEĆA HIDROELEKTRANA NA SVIJETU

Hidroelektrana *Itaipu*, koju su nedavno posjetili sudionici stručnog putovanja Društva građevinskih inženjera Zagreba u Južnu Ameriku, najveća je hidroelektrana na svijetu. Ima instaliranu snagu od 12.600 MW (megavata), a na godinu proizvodi između 80 i 90 milijuna megavatsati električne energije. Sa 93,4 milijuna MWh, proizvedenih u 2000., drži pojedinačni svjetski rekord u godišnjoj proizvodnji energije, a ta proizvodnja zadovoljava četvrtinu potreba Brazila (24,25 posto) i gotovo sve (93,57 posto) potrebe Paragvaja za električnom energijom.

HE *Itaipu* nalazi se na rijeci Parani, poslije Amazone drugoj po veličini južnoameričkoj rijeci, koja nastaje u Brazilu spajanjem dviju rijeka – Paranaíba i Rio Granda (istoimena i

ITAIPU - THE BIGGEST HYDROPOWER PLANT IN THE WORLD

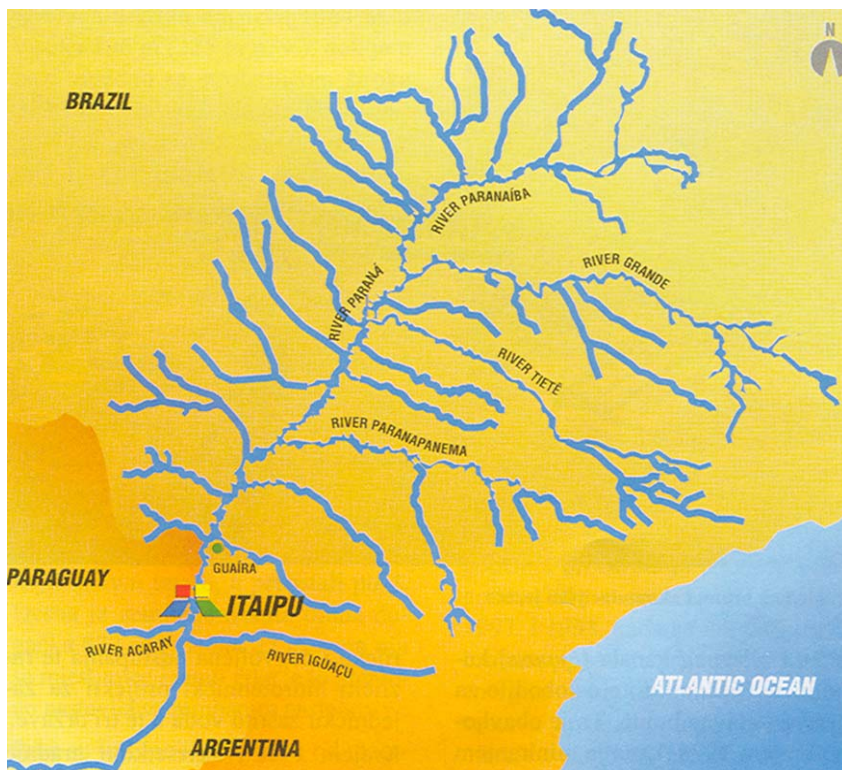
Itaipu is a hydropower plant situated on the Parana river. It was built in the period from 1974 to 1991 and is the biggest in the world when measured according to its installed power and electricity production. It was erected at the spot where the Parana defines the frontier between Paraguay and Brazil, both of which equally participated in its construction. The electricity generated in this huge plant meets more than 90 percent of Paraguay's needs and one fourth of electricity demand in Brazil. The preliminary design was prepared with participation of American and Italian companies, and everything else related to the design and construction was done by experts from both countries and by local companies. All technical properties of this vast hydropower plant, which is also a popular tourist attraction, are described in detail. The plant has so far been visited by as many as 12 million visitors from all over the world.

veća sjevernoamerička rijeka utječe u Meksički zaljev). Duljina je Parane od spoja do ušća 3100 km, a ako se pridoda duljina rijeke Paranaíba, ukupna je duljina 4300 km i po tome bi bila sedma po veličini rijeka na svijetu. Od toka pod jednim ime-

nom u Brazilu je 1800 km, a preostalih 1300 km u graničnom području Brazila i Paragvaja odnosno Paragvaja i Argentine te u Argentini. Na ušću ta vodom prebogata rijeka zajedno s rijekom Urugvaj tvori Rio de la Platu, ljevčasti estuarij na Atlantskom oceanu koji je dug gotovo 300 km, širok između 50 i 220 km, a u njemu se nalaze dvije velike južnoameričke luke – Buenos Aires i Montevideo.

Brana i hidroelektrana *Itaipu* smještena je u blizini tromeđe Brazila, Argentine i Paragvaja i petnaestak kilometara uzvodno od spajanja Parane s rijekom Iguassu (portugalski Iguaçú, španjolski Iguazú) na kojoj se nedaleko ušća nalaze svjetski poznati slapovi i nacionalni parkovi Brazila i Argentine. Riječ 'itaipu' potječe iz jezika Guarani Indijanaca, a znači "raspjevana stijena", što upućuje na to da je Parana na mjestu gdje se danas nalazi brana snažno bučila.

Izgradnja je goleme hidroelektrane zamišljena još 1966. kada su ministri vanjskih poslova Brazila i Paragvaja zaključili sporazum o izradi studije za izgradnju zajedničke energetske građevine na graničnoj rijeci. Sljedeće je godine utemeljena zajednička brazilsko-paragvajaska stručna



Prikaz gornjeg toka rijeke Parane s pritocima i smještaj HE *Itaipu*



Situacija akumulacijskog jezera HE Itaipu

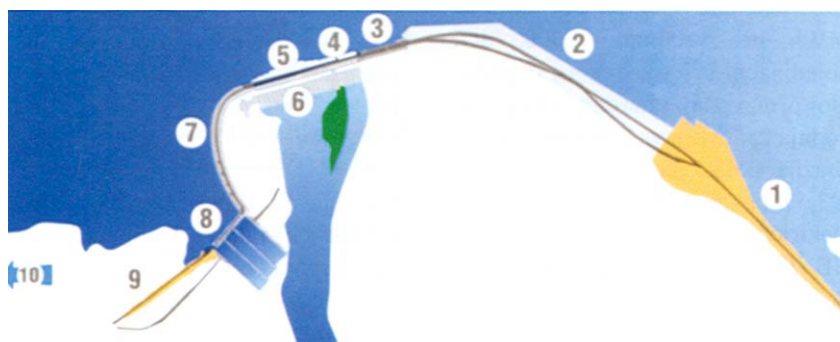
komisija koja je utvrdila tehničke uvjete. Potom je 1970. konzorcij sastavljen od tvrtki *IECO (Industrial Electric Company)* iz Sjedinjenih Država i talijanske ispostave međunarodne konzalting tvrtke *ELC (Electroconsult)* izradio projektnu dokumentaciju za *feasibility* studiju i projekte. Istražni su radovi dokazali ono u što se i prije vjerovalo da je pretežno bazaltni sastav tla na ovom dijelu toka Parane (s nešto malo breše) izuzetno pogodan za gradnju brane i akumulacije. Te su studije ujedno potvrdile da vijek uporabe ne može biti kraći od 200 godina.

Studiju i idejne projekte izradili su projektanti američke tvrtke *Morrison-Knudsen Corp.* i talijanskog dijela *ELC*-a, a oni su bili i tehnički koordinatori. Izvedbene projekte uglavnom su izradili brazilski i paragvajski inženjeri. Ugovor o izgradnji hidroelektrane između Brazila i Paragvaja potpisan je 1973., a sadržavao je odluku o iskorištavanju vodnih potencijala rijeke Parane između velikih slapova Guairá (portugalski *Quedas*) i ušća rijeke Igussu. Sljedeće, 1974. godine osnovana je zajednička tvrtka *Itaipu Binacional* za upravljanje izgradnjom i proizvodnjom električne energije. Utemeljile su je s podjednakim udjelom kapitala brazilске i paragvajске državne elektroenergetske tvrtke – *Eletróbrás* i *Ande*.

Građevinski su radovi započeli početkom 1975., a izvoditelj je bio *Union-Conenba*, konzorcij lokalnih građevinskih tvrtki. Počelo se s grad-

drenažni radovi u riječnom koritu, a potom i gradnja armiranobetonske brane. To je vrijeme najvećih radova na gradilištu koje je tada imalo gotovo 30.000 radnika.

U međuvremenu su zaključeni diplomatski sporazumi između Brazila, Paragvaja i Argentine o iskorištavanju vodnog potencijala rijeke Parane od slapova Guairá do ušća u Rio de la Platu. Ujedno su utvrđene razine



Glavni dijelovi hidroelektrane (1. lijeva zemljana brana, 2. kamena brana, 3. lijevo krilo brane, 4. odvod, 5. glavna brana, 6. strojnica, 7. desno krilo brane, 8. preljev, 9. desno krilo brane, 10. nasip)



Pogled na branu i akumulacijsko jezero

njom obilaznog kanala (*bypass*) kako bi se riječno korito oslobodilo za gradnju glavne brane. To je obavljeno krajem 1978. kada je miniranjem otvoren kanal za skretanje riječnog toka. Sljedeće su godine započeli

rijeke i dozvoljena odstupanja te različiti hidrotehnički projekti za zajedničku zaštitu voda u te tri države. Krajem 1982., završetkom gradnje brane i zatvaranjem kanala za skretanje, započelo je punjenje akumu-

lacije. Umjetno jezero površine 1350 km² punilo se gotovo dva tjedna. Istodobno je posebno povjerenstvo za zaštitu okoliša obilazilo poplavljeni dio i spašavalo na stotine ugroženih životinjskih vrsta. Jezero je dugo 170 km, najveća mu je širina 12 km, a prosječna 7 km. Najveća mu je razina 220 m nadmorske visine, a ukupan obujam 13,2 x 10⁶ m³. Njime su potopljeni i slavni slapovi Salto de Guairá (Guairski pad – španjolski naziv) koji su nekada smatrani najvećima na svijetu. Svojedobno su tim slapovima bili zadivljeni naši slavni istraživači braća Seljan koji su ih 1904., prema ugovoru zaključenom s paragvajskom vladom, geološki i hidrografski podrobno istražili te izradili njihove zemljovide. Uostalom Mirko Seljan je tada izradio i prve točne zemljovide (u razmjeru 1:25.000) slapova Iguassu.

Brana je dugačka 7760 m, a sastoji se od gravitacijske armiranobetonske brane i nasutih kamenih odnosno zemljanih brana u nastavku. Glavna je brana u kruni dugačka 1064 m, a visoka 196 m (225 m n. v.), dok je u bazi zajedno sa strojarnicom široka 273 m. U sastavu glavne brane je i gravitacijski odvod koji je u kruni dug 170 m. Brana se sastoji od betonskih krila koja su u kruni ukupne duljine 986 m, a najveća im je visina 64,5 m. Na lijevoj se zapadnoj (brazilskoj) strani brana nastavlja sa svojim kamenim nasutim dijelom koji je u kruni dugačak 1984 m, najveća mu je visina 70 m, te potom zemljanom nasutom branom dugačkom 2294 m i visokom 30 m. Na desnoj je paragvajskoj strani preljev koji je visok 40 m, širok 390 m i dugačak 483 m. Ima 14 otvora u tri bloka od kojih glavni ima 6, a preostali po 4. Desna je zemljana nasuta brana dugačka 872 m i visoka 25 m, a na nju se mjestimice i tamo gdje je to potrebno nastavlja sa zemljanim nasipom.

Prve su turbine i generatori od ukupno 18 u strojarnicu ugrađeni 1984. Proizvodne su jedinice instalirane



Ispuštanje vode kroz preljev



Glavna brana sa strojarnicom

postupno, po dvije na godinu, po jedna na brazilskoj i paragvajskoj strani. Posljednje su turbine i generatori ugrađeni 1991. i od tada je godišnja proizvodnja energije svake godine bila u porastu, s izuzetkom 1997. i 1998. kada su uragani srušili brojne stupove za prijenos električne energije u brazilskom prijenosnom sustavu pa se zbog toga proizvodnja morala smanjivati. Na ukupnu godišnju proizvodnju utječe, dakako, i raspoloživa količina vode.

Od 1997. do 2000. rađena je studija meteorološkog sustava rijeke Parane koja je pokazala da postojeća akumulacija nema nikakva štetnog utjecaja na okolicu. To je potvrdilo podatke koji su prikupljeni od trenutka punjenja akumulacije. No stručnjaci na hidroelektrani i dalje pažljivo proučavaju i bilježe sve klimatske promjene, kako bi pravodobno ustanovili bilo kakve promjene vremenskih uvjeta u proteklih dvadesetak godina.



Prostor ispred glavne brane i strojarnice

Rečeno je već da ukupna proizvodnja električne energije zadovoljava gotovo sve potrebe malog i nerazvijenog Paragvaja (koji veći dio električne energije iz *Itaipu* hidroelektrane prodaje Brazilu) te četvrtinu brazilskih potreba. Struja iz HE *Itaipu* u cijelosti zadovoljava potrebe najvećeg i industrijski najrazvijenijega brazilskog grada Sao Paola, koji je s više od 15 milijuna stanovnika najveći južnoamerički grad i jedan od najvećih na svijetu.

Svaka proizvodna jedinica ima po jednu Francis turbinu snage od 700 MW (točnije 715 MW), a to, kao što smo rekli, daje instaliranu snagu od 12.600 MW. Protočnost turbina je od 700 m³/s, a uspijeva se postići efikasnost od 93,8 %. Generatori međutim postižu efikasnost od 98,6%.

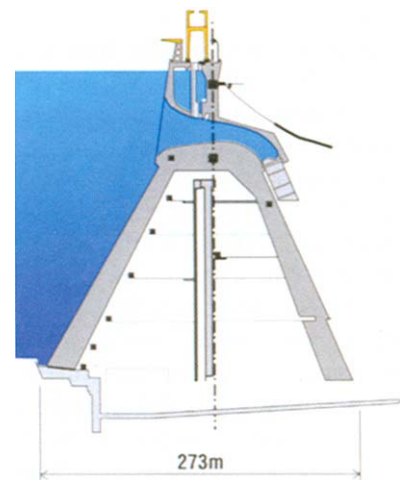
Strojarnica se nalazi točno na sredini, na granici Brazila i Paragvaja. Čak se u vanjskom i unutrašnjem prostoru (u upravljačkom centru i u upravnoj zgradi) dobro uočava granična crta koja dijeli dvije zemlje. U to smo se uvjerali tijekom posjeta. Svaka strana ima po 9 proizvodnih jedinica, s tim da ih je 15 smješteno u glavnoj strojarnici, a preostale 3 na brazilskoj strani u odvodnom kanalu.

Međutim, sve i nije baš jednostavno, budući da se u Paragvaju troši struja od 220 V, a u Brazilu od 110 V. Stoga 9 generatora na paragvajskoj strani proizvodi struju s frekvencijom od 50 herca, a 9 generatora na brazilskoj strani struju od 60 herca. Tome su prilagođeni i transformatorski i dalekovodni sustavi, a situaciju dodatno otežava i činjenica što se jedan dio paragvajske struje prodaje Brazilu.

Izvorni projekt hidroelektrane *Itaipu* uključivao je ugradnju 20 generatorskih jedinica, a bilo je predviđeno da se to učini kada se s tim suglase obje strane. To je i učinjeno 2000. kada su na hidroelektrani ondašnji predsjednici Brazila i Paragvaja, Fernando Henrique Cardoso i Luis Gonzáles Macchi, potpisali ugovor o ugradnji dviju novih proizvodnih jedinica. Radovi i ugradnja povjereni su na međunarodnom natječaju *Ceitaipu* konzorciju. Ugovor je predviđao da jedinica sa 50 Hz bude puštena rad u veljači, a jedinica od 60 Hz u svibnju 2004. To međutim nije učinjeno na vrijeme pa se pretpostavlja da će barem jedna jedinica biti u rad puštena tijekom 2005. Tako su članovi stručnog putovanja DGI Zagreba ipak zapravo posjetili jedno gradilište. Doduše, čini se,

sudeći i prema velikim dovodnim cijevima koje vodu dovode u strojarnicu, da su svi građevinski radovi ipak završeni i da su problemi vjerojatno iskrsnuli s isporukom i montažom opreme. Kada konačno bude kompletno završena, hidroelektrana *Itaipu* imat će instaliranu snagu od 14.000 MW, a proizvodit će više od 100 milijuna MWh električne energije na godinu.

Cijena cijelog projekta iznosila je približno 12 milijardi dolara (procjenjuje se naime da prosječno jedan megavat instalirane snage stoji milijun dolara). No tom iznosu treba pridodati kamate i inflaciju pa se on penje na 16 milijardi dolara. To su sada ekskluzivni troškovi *Eletróbrasa* koji se brine o podmirivanju otplate zajma i troškovima pogona, a dio paragvajskih troškova namiruje prodajom ustupljene struje. Nove generatorske jedinice koje se upravo ugrađuju stoje dodatnih 184,6 milijuna dolara.



Poprečni presjek kroz glavnu branu

Valja reći da je *Itaipu* hidroelektrana i prava turistička atrakcija, jer ju posjećuju brojni turisti koji posjećuju obližnje slapove Iguassu, jednu od najvećih turističkih atrakcija Južne Amerike. Tako je od 1977. do srpnja 2004. ovu veliku hidroelektranu razgledalo 12.451.122 posjetitelja iz čak 187 zemalja, a iz naše zemlje samo 279 pa će tridesetak

sudionika stručne ekskurzije biti značajno povećanje. Turistička otvorenost hidroelektrane *Itaipu* ujedno omogućuje posjetiteljima da saznaju mnogo dodatnih i zanimljivih podataka. Tako smo saznali da je ASCI (American Society of Civil Engineers) 1995. svrstao tu hidroelektranu na listu najvećih svjetskih građevina, a lista se po analogiji s onom iz antike (iako ih ima znatno više) također naziva – Sedam svjetskih čuda. Uz *Itaipu* tu je između ostalog tunel ispod La Machea, *Empire State Building* u New Yorku, Eiffelov toranj, most *Golden Gate* u San Francisku, *Opera House* u Sydneyu, Panamski kanal, Kremlj i Crveni trg u Moskvi, *CN Tower* u Torontu te još neki, a među njima i *World Trade Center* u New Yorku, kojega na žalost više nema. Iznesen je i podatak da je snaga ove elektrane veća od desetak prosječnih nuklearnih elektrana, te da bi godišnja proizvodnja veća od 90 milijuna MWh električne energije proizvela 81 milijun tona ugljičnog dioksida u klasičnim termoelektranama na ugljen. Istodobno i to da bi za istu godišnju proizvodnju električne energije u jednoj termoelektrani trebalo na dan potrošiti po 434.000 barela nafte.

I brojke o utrošenim građevnim materijalima zaista su impresivne. Čelik ugrađen u elektranu bio bi dovoljan za čak 380 Eiffelovih tornjeva, a količina ugrađenog betona je 15 puta veća od one koja je ugrađena u tunel ispod La Manchea ili u 210 stadiona kao što je Maracana. Ugrađeno je ili iskopano više od 50 milijuna tona kamena i zemlje, što je dvostruki iznos od onoga što ga imaju granitne stijene sa slavnom *Glavom šecera* na ulazu u Rio de Janeiro. Vrtoglave su i brojke koje se vezuju uz količinu proizvedene električne struje. Samo jedna proizvodna jedinica od sadašnjih 18 bila bi dostatna za podmirivanje svih potreba



Pogled nizvodno s krune brane

grada od približno 1,5 milijuna stanovnika (gotovo dva Zagreba). Četvrtina generatora bila bi dovoljna za podmirivanje svih potreba Rio de Janeira i njegovih 5,5 milijuna stanovnika, a ukupna sadašnja snaga od 12.000 MW bila bi dovoljna za podmirivanje gotovo svih potreba Kalifornije za električnom energijom.

Instalirana snaga te hidroelektrane uspoređena je i s konkurentskim elektranama. Tako je u usporedbi s HE *Guri* u Venezueli sa 10.000 MW veća 22 posto, *Grand Coule* u SAD-u sa 6494 MW 48 posto veća, a s dvije velike ruske hidroelektrane Sajano Šušenskaja i Krasnojarsk sa 6400 MW i 6000 MW 49 odnosno 52 posto snage veća. Još su impresivniji podaci o odnosu poplavljenih veličina i instalirane snage. S površinom jezera od 1350 km², *Itaipu* proizvodi prosječno 9,3 MW, što znači da svakih 0,11 km² poplavljenih površina generira jedan megavat struje. Usporedba s ostalim brazilskim hidroelektranama pokazuje da je na *Maribundu* potrebno 0,32 km², *Itambluri* 0,35 km², *Tucuru* 0,38 km², *Ilha*

Solteiri 0,39 km², a na *Furnasu* 1,19 km². Inače jezero HE *Itaipu* je sedmo po veličini među umjetnim brazilskim jezerima. Najveće je jezero hidroelektrane *Sobradinho* sa 4214 km², a slijede ga *Tucurai* i *Porto Primavera* sa 2430 odnosno 2250 km².

Dakako da nam ljubazni domaćini nisu uskratili ni podatak na pitanje koje im se najčešće postavlja: hoće li nova kineska hidroelektrana *Tri klisure*, koja se gradi na rijeci Jangce, kada 2009. bude završena biti veća od HE *Itaipu*? Odgovor je da će biti s instaliranom snagom od 18.200 MW, ali da neće biti veća prema proizvedenoj energiji. Naime rijeka Jangce često, za razliku od vodom bogate Parane, neće moći zadovoljiti te kapacitete pa godišnja proizvodnja neće prelaziti 84 milijuna MWh. To je 20 posto manje od HE *Itaipu* koja će i dalje zadržati svjetski primat.

Branko Nadilo

Slike: B. Nadilo i iz arhive investitor