

# NAJVEĆA HIDROELEKTRANA NA SVIJETU

*Niko MANDIĆ, dipl. ing.*

*Hidroelektrana Itaipu na rijeci Parani i granici Brazila i Paragvaja po proizvodnji je najveća na svijetu. Maksimalna godišnja proizvodnja električne energije od oko 94 TW h ostvarena je 2000. godine (u sadašnjim bi okolnostima Hrvatska taj iznos potrošila za nešto više od šest godina). Ukupna instalirana snaga elektrane iznosi 20 × 700 MW, odnosno 14 GW (20 puta više od ukupne instalirane snage NE Krško), a proizvodi električnu energiju za distributivnu naponsku razinu 220 V i 50 Hz za Paragvaj, odnosno 110 V i 60 Hz za Brazil čime se pokriva oko 95% paragvajskih i oko 25% brazilskih potreba. Pri tome postoji izmjenični i istosmjerni prijenos električne energije, uz tri visokonaponske interkonekcijske razine (750, 220 i 66 kV). Izgrađena je etapno, uz ulaganja dvije zemlje u omjeru 50% : 50%.*

Potrošnja električne energije jedan je od značajnih elemenata koji sudjeluju u oblikovanju svake zemlje, njezinog gospodarstva, razvoja i života ljudi te jedan od pokazatelja stanja društva, njegovog razvoja i napretka ili stagnacije. U tehničkom smislu, ona određuje veličinu i strukturu proizvodnih jedinica elektroenergetskog sustava, topologiju prijenosne i distributivne mreže te niz drugih čimbenika. U globalnom pogledu, ona može biti i sredstvo prisile ili nagrade prijateljski naklonjenim zemljama.

Hidroelektrana Itaipu je jedna od najvećih na svijetu i s najvećom godišnjom proizvodnjom energije (tablica 1). Smještena je na rijeci Parani na granici Brazila i Paragvaja (il. 1 i 2). Ukupna duljina Parane iznosi 4300 km. Nastaje u Brazilu spajanjem rijeka Paranaíba i Grande, a s Rio de la Platom na ušću u Atlantski ocean stvara veliki estuarij između Argentine i Urugvaja.

Naziv Itaipu potječe od nekadašnjeg naziva obližnjeg otočića koji na jeziku Guarani znači 'raspevana stijena'

## Hidroelektrana

Ideja o izgradnji najveće hidroelektrane na svijetu pojavila se 1966, da bi nakon opsežnih priprema izgradnja započela 1984. godine. Djelomično je završena u travnju 1991. godine, kada je instaliran osamnaesti agregat. Od tada godišnja proizvodnja energije stalno raste, uz iznimku 1997. i 1998. godine, kada su uragani na brazilskoj strani srušili velik dio prijenosne mreže pa je proizvodnja bila ograničena propusnom moći neoštećenog dijela mreže (il. 3, tablica 2).

**Tablica 1**  
Usporedni podaci za dvije najveće elektrane na svijetu

pokazatelj	HE Itaipu	HE Tri doline
lokacija	Brazil / Paragvaj	Kina
broj turbina	20 × 700 MW	26 × 680 MW
instalirana snaga	14 000 MW	17 680 MW
godišnja proizvodnja	93 400 000 MW h	84 680 000 MW h
duljina brane	7700 m	2309 m
visina brane	196 m	181 m
volumen iskopanog materijala	63,85 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	113 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
duljina akumulacijskog jezera	170 km	600 km
površina akumulacijskog jezera	1350 km <sup>2</sup>	1084 km <sup>2</sup>
broj stanovnika koji je raseljen zbog potapanja jezerom	4 000 000	1 100 000 (13 gradova)

### Napomena:

*HE Itaipu je danas najveća na svijetu po godišnjoj proizvodnji električne energije, a HE Tri doline će biti najveća po instaliranoj snazi agregata.*

**Ilustracija 1**  
Satelitski snimak brane i umjetnog jezera

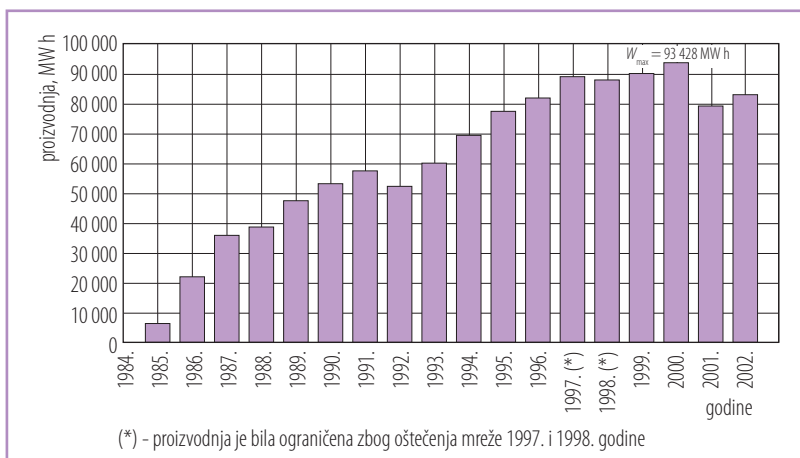




**Ilustracija 2**  
Satelitski snimak  
hidroelektrane

Legenda:

- 1 - zemljana brana na lijevoj (brazilskoj) obali
- 2 - dio kamenih nabačaja brane
- 3 - lijevo krilo brane (s pet generatora)
- 4 - odvod
- 5 - glavna brana
- 6 - strojarnica (s 15 generatora)
- 7 - desno krilo brane
- 8 - tri preljevna polja
- 9 - desno krilo brane uz nasip na desnoj (paragvajskoj) obali
- 10 - akumulacijsko jezero



završetak izgradnje, što je bio slučaj i kod gradnje HE Itaipu.

Gledano nizvodno, od desnog paragvajskog do lijevog brazilskeg krila brane nalaze se gotovo svi vitalni dijelovi hidroelektrane (il. 4). Ukupni instalirani kapacitet iznosi 14 GW. Ugrađeno je 20 generatora, no prema međudržavnom ugovoru, nije dopušteno u rad puštati više od 18 turbina istodobno.

Proizvodne jedinice instalirane su postupno, po dvije godišnje, odnosno po jedna na brazilske i paragvajskoj strani. Korištene su Francisove turbine s protokom 700 m<sup>3</sup>/s koje se najčešće koriste za srednje padove vode (il. 5). Granična crta dijeli strojarnicu na pola. Agregati koji rade za Paragvaj (50 Hz) imaju slične karakteristike kao i oni koji rade za Brazil (60 Hz). Njih 15 smješteno je u glavnoj strojarnici, a preostalih pet na brazilske strani u odvodnom kanalu.

Prosječan protok na agregate HE Itaipu 2000. godine iznosio je 10 651 m<sup>3</sup>/s, uz veliku dnevnu varijaciju (7964 - 18 962 m<sup>3</sup>/s). Prosječne godišnje padaline na tom području iznose 1400 mm, a isparenje 1200 mm, dok je prosječna godišnja temperatura 21 °C (maksimalna 40 °C, minimalna -4 °C).

U razdoblju 1982. - 2000. godine maksimalni dotok u akumulacijskom bazenu Parane ostvaren je u lipnju 1983. i iznosio je 33 064 m<sup>3</sup>/s, dok je minimalni ostvaren u prosincu 1988. i iznosio je 7904 m<sup>3</sup>/s.

Godine 2000. proizvodnja HE Itaipu bila je maksimalna: 93 TW h, no već godinu dana kasnije minimalna, svega 79 TW h. Ta je razlika ekvivalentna količini energije koju Hrvatska potroši u godinu dana!

**Ilustracija 3**  
Godišnja proizvodnja  
energije HE Itaipu

Bez obzira na to o kakvoj se gradnji proizvodnog elektroenergetskog objekta veće snage radi, izgradnja se nastoji ostvariti u etapama pri čemu je cilj pustiti u pogon barem dio gotovih objekata. Naime, proizvedena energija gotovog objekta donosi dobit koja je bitna za nastavak i

**Tablica 2**  
Proizvodnja električne energije  
u HE Itaipu po godinama

godina puštanja generatora u pogon	broj generatora u pogonu	proizvedena električna energija, GW h godišnje
1984.	0 - 2	277
1985.	2 - 3	6327
1986.	3 - 6	21 853
1987.	6 - 9	35 807
1988.	9 - 12	38 508
1989.	12 - 15	47 230
1990.	15 - 16	53 090
1991.	16 - 18	57 517
1992.	18 (svi agregati)	52 268 (*)

**Napomena**

(\*) - Proizvedena električna energija ovisi i o ostvarenim dotocima, količini raspoložive vode i ostalim elementima EES-a. Primjerice, rušenjem prijenosne mreže u Brazilu zbog orkana 1997. godine onemogućen je pun rad elektrane i ostvarivanje moguće godišnje proizvodnje energije.

Razvidno je da elektrana radi za dva posve različita EES-a. Kao prvo, jedan je višestruko veći od drugoga. Proizvedena električna energija se dijeli u omjeru pola - pola i pokriva oko 25% brazilskih i čak 95% paragvajskih potreba. No, u Brazilu je distributivni napon 110 V, a frekvencija 60 Hz, dok su u Paragvaju te veličine 220 V i 50 Hz, kao u Europi. I prijenosni dalekovodi rade pod različitim naponima. U Brazilu, koji je mnogoljudniji i gospodarski jači, korišteni su različiti naponi pa i istosmjerni visokonaponski prijenos energije (il. 6 i 7). Transformatori su jednofazni, snage 825 MV A za frekvenciju 50 Hz, odnosno 768 MV A za 60 Hz. Uz svaku skupinu predviđen je po jedan pričuvni transformator. Velikoj raznolikosti u prijenosu električne energije s elektrane doprinosi brazilaska strana zbog prijenosa na velike udaljenosti (čak i do 1000 km), do velikih gradova i značajnih potrošača.

### Brana

Duljina brane iznosi 7760 m. Čine je glavna, gravitacijska armiranobetonska brana i nasute kamene, odnosno zemljane brane u nizu.

U kruni je glavna brana duga 1064 m, a visoka 196 m, a u bazi je zajedno sa strojarnicom široka 273 m. U sastavu glavne betonske brane je i gravitacijski odvod koji je u kruni širok 170 m. Njezin sastavni dio su betonska krila čija je ukupna duljina u kruni 986 m, a najveća visina 64,5 m. Na lijevoj (zapadnoj, brazilskoj) obali brana se nastavlja kamenim nasutim dijelom čija duljina u kruni iznosi 1984 m, a najveća visina 70 m te potom zemljanom nasutom branom duljine 2294 m i visine 30 m. Na desnoj (istočnoj, paragvajskoj) obali nalazi se preljev visine 40 m, širine 390 m i duljine 483 m. Ima 14 otvora u tri bloka od kojih glavni ima šest, a preostali po četiri otvora. Na



**Ilustracija 4**  
Pogled na branu s brazilске obale

desnoj obali je nasuta brana duljine 872 m i visine 25 m. Na mjestima gdje je to tehnički potrebno nastavljaju se zemljani nasipi.

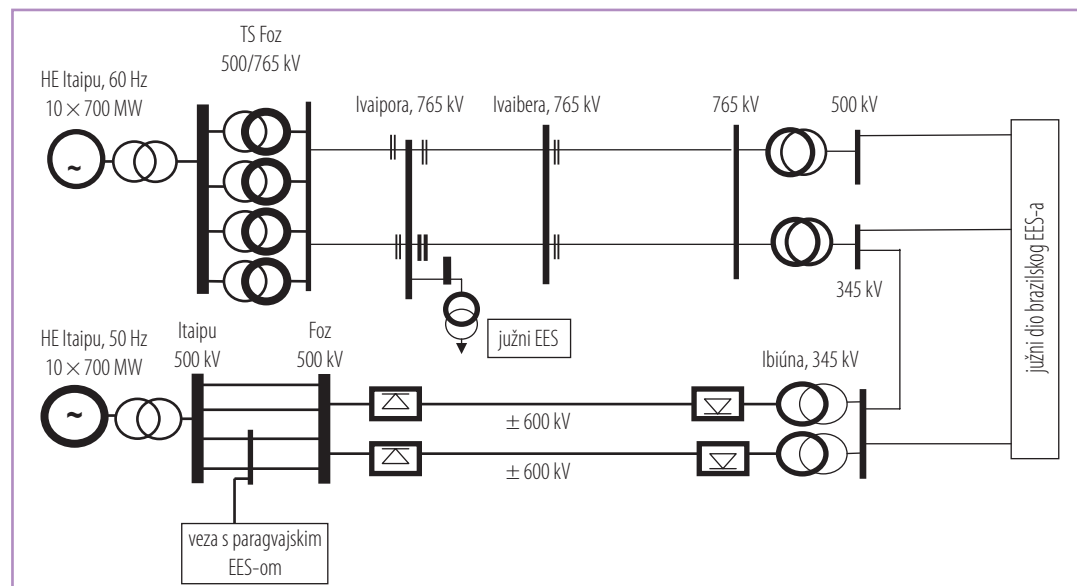
### Umjetno jezero

Umjetno jezero Itaipu je sedmo po veličini u Brazilu (najveće je jezero HE Sobradinho s površinom 4214 km<sup>2</sup>). Njegova površina iznosi 1350 km<sup>2</sup>, duljina 170 km, najveća širina 12 km, prosječna širina 7 km, najveća razina 220 m NM, a ukupni volumen 13,2 · 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

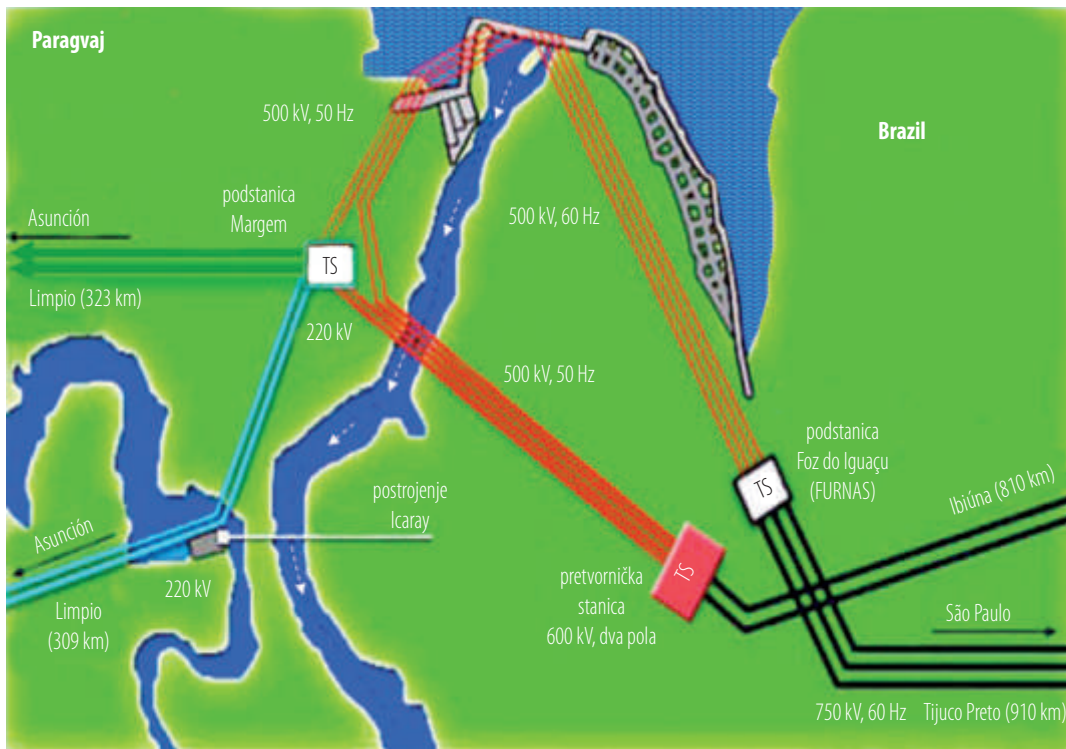
Sva umjetna jezera imaju veći ili manji utjecaj na okoliš. Zato je 1997. - 2000. godine izrađivana studija sustava rijeke Parane koja je pokazala da postojeća akumulacija nema značajnijeg štetnog utjecaja na okoliš, a slični su podaci dobiveni tijekom prvog punjenja. Nakon završetka radova na izgradnji brane, uz dobre hidrološke uvjete, tj. velike dotoke, jezero je postupno punjeno približno dva tjedna, a za to je vrijeme povjerenstvo za zaštitu okoliša obilazilo poplavljene terene i spašavalo mnogobrojne ugrožene životinjske vrste. No, vodom su potopljeni slapovi Salto de Guaira



**Ilustracija 5**  
Turbinsko kolo Francisove turbine HE Itaipu



**Ilustracija 6**  
Jednopolna shema dijela sustava spojenog na HE Itaipu



**Ilustracija 7**  
Shema dijela prienosnog sustava neposredno uz elektranu

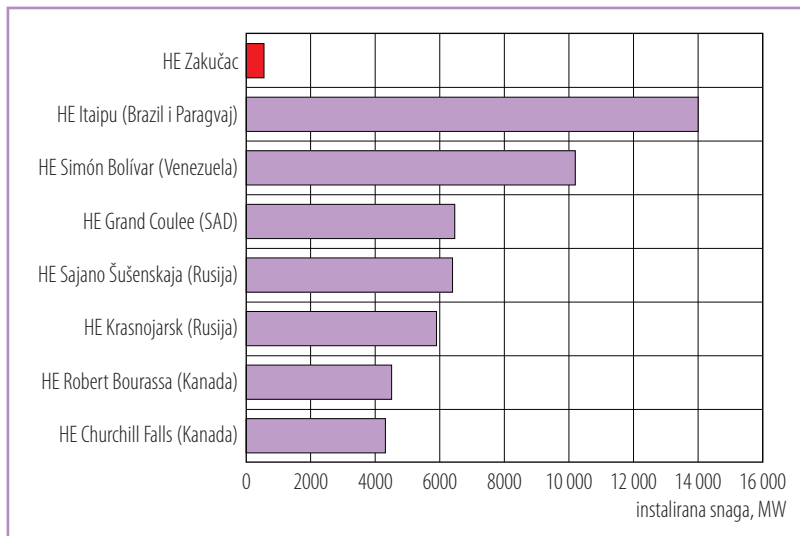
koji su smatrani najvećima na svijetu. Uz to, svakodnevno se i dalje uzimaju podaci te bilježe sve klimatske promjene.

Valja napomenuti da su još davne 1904. godine hrvatski istraživači Mirko i Stjepan SELJAN za potrebe paragvajske vlade geološki i hidrografski istražili to područje i napravili prve točne zemljovide slapova Iguaçu.

### Cijena

Vrlo često se postavlja opravdano pitanje: kolika je bila cijena cijelog projekta? Procijenjena je na približno 12 milijardi dolara, odnosno na oko 1 mil. USD/MW instalirane snage! Ako se tome dodaju pristigle kamate i inflacija, cijena se penje na nekih 16 mlrd. dolara. O tom segmentu

**Ilustracija 8**  
Najveće do sada izgrađene hidroelektrane u svijetu, uz usporedbu s najvećom hrvatskom hidroelektranom



poslovanja brine brazil-ska elektroenergetska tvrtka Elektrobrás koja je, na temelju ugovora, zadužena za podmirenje anuiteta kredita i troškova pogona, a prodajom ustupljene električne energije podmiruje i dio paragvajskih troškova.

Dvije nove proizvodne jedinice koštale su dodatnih 190 milijuna dolara.

### Neke činjenice i usporedbe

Godine 1995. elektranu je Američko društvo građevinskih inženjera (ASCI) uvrstilo u 'sedam svjetskih čuda'. Kada bi se njezina proizvodnja od oko 90 TW h godišnje

ostvarivala u termoelektrani na ugljen, emisije ugljičnog dioksida iznosile bi 81 mil. t godišnje. Ekvivalentna energija bi se mogla dobiti u termoelektrani na mazut, uz potrošnju goriva od 434 000 bbl/d. Čelik ugrađen u elektranu bio bi dovoljan za izgradnju 380 Eiffelovih tornjeva, dok je količina betona utrošenog za izgradnju 15 puta veća nego za izgradnju tunela ispod La Manchea, a za ugrađeni bi se materijal moglo izgraditi 210 stadiona Maracana u Rio de Janeiru. Isto tako, njezina je proizvodnja ekvivalentna ukupnoj proizvodnji 20 elektrana veličine NE Krško!

Koji su konkurentni objekti? To su HE Simón Bolívar (Guri) u Venezueli, HE Grand Coulee u SAD-u, HE Sajano Šušenskaja i HE Krasnojarsk u Rusiji te HE Robert Bourassa (La Grande 2) u Kanadi (il. 8).

Već se dulje vrijeme na rijeci Jangce u pokrajini Hubei u Kini etapno gradi HE Tri doline. Predviđeno je da će njezina proizvodnja, kada potkraj 2010. godine bude posve dovršena, podmirivati 10% ukupnih kineskih potreba za električnom energijom. Tada bi njezina instalirana snaga trebala iznositi 18 000 MW. Za sada je planirana ugradnja 26 agregata pojedinačne snage 680 MW. No, Jangce nema tako bogate i uravnotežene dotoke pa se računa da, bez obzira na veće instalirane snage agregata, njezina godišnja proizvodnja energije neće prelaziti 84 TW h, što je oko 20% manje nego kod HE Itaipu. No, ona će prema instaliranoj snazi generatora zauzeti prvo mjesto u svijetu. Pri tome će njezina instalirana snaga biti 26 puta veća od snage NE Krško. ■