



Najstarije hrvatske hidroelektrane

TEMELJI HRVATSKOG ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA



Prije nešto više od 125 godina, 28. kolovoza 1895., u pogon je puštena Hidroelektrana Krka i ujedno je proradio prvi cjeloviti elektroenergetski sustav na području Hrvatske. To se dogodilo samo dva dana nakon što je s radom započela jedna od povijesno najpoznatijih hidroelektrana u svijetu, ona na Nijagarinim slapovima u Sjedinjenim Američkim Državama. U godinama koje su uslijedile izgrađeno je još nekoliko hidroelektrana, od kojih HE Miljacka, također na rijeci Krki, HE Kraljevac na Cetini i HE Ozalj na Kupi i danas čine temelje cijelog hrvatskog EES-a. Zanimljivo je da će već iduće godine i HE Zeleni vir također obilježiti 100 godina proizvodnje električne energije pa će HEP u pogonu imati čak pet elektrana starijih od stoljeća.

Zahvaljujući toj tradiciji duljoj od stoljeća i tako stečenom znanju, stručnosti i iskustvu, HEP danas ide u korak sa zahtjevima energetske tranzicije, čemu su najbolji dokaz brojni projekti kao što su nove hidroelektrane, sunčane elektrane, vjetroelektrane, elektrane na biomasu, visokoučinkovita kogeneracijska postrojenja, napredne i pametne mreže, energetska učinkovitost i elektromobilnost.

Hidroelektrana Jaruga / Hidroelektrana Krka	52
Hidroelektrana Miljacka	55
Hidroelektrana Kraljevac	56
Hidroelektrana Ozalj	57

HIDROELEKTRANA JARUGA / HIDROELEKTRANA KRKA

Hidroelektrana Krka, odnosno HE Jaruga I ubraja se u povijesno važne inženjerske iskorake u svijetu kao najstarija izmjenična hidroelektrana na području Jugoistočne Europe i sastavnica jednog od prvih cjelovitih elektroenergetskih sustava u svijetu.

U doba kada su veliki gradovi poput Londona i Rima imali jednofazne sustave napajanja električnom energijom, Šibenik je imao takav dvofazni sustav. To je bio prvi cjeloviti hrvatski EES i jedan od prvih te vrste u svijetu. Upravo je u tome veliko značenje HE Krka. Investitori i graditelji tog sustava bili su tadašnji šibenski gradonačelnik Ante Šupuk i njegov sin Marko Šupuk te šibenski poduzetnik Vjekoslav pl. Meichsner.

POVIJEST

Sve je započelo 7. listopada 1892. kada je Meichsner od šibenske gradske uprave zatražio dozvolu za izgradnju nove kuće na Krki, koju je i dobio 2. prosinca iste godine. Nakon toga su pripremljeni i nacrti i projekti za iz-

gradnju hidroelektrane, prijenosnog dalekovoda do Šibenika i gradske elektroenergetske mreže za rasvjetu, a 18. prosinca 1893. godine, nakon obavljenih očevida i javnih rasprava, izdana je koncesija za iskorištavanje voda Krke. Istodobno je Meischer s ocem i sinom Šupukom osnovao tvrtku koja je s radom započela 1. lipnja 1895., kada je gradnja elektrane i dalekovoda već započela. Cijeli sustav je pušten u pogon tri mjeseca kasnije, 28. kolovoza 1895. godine.

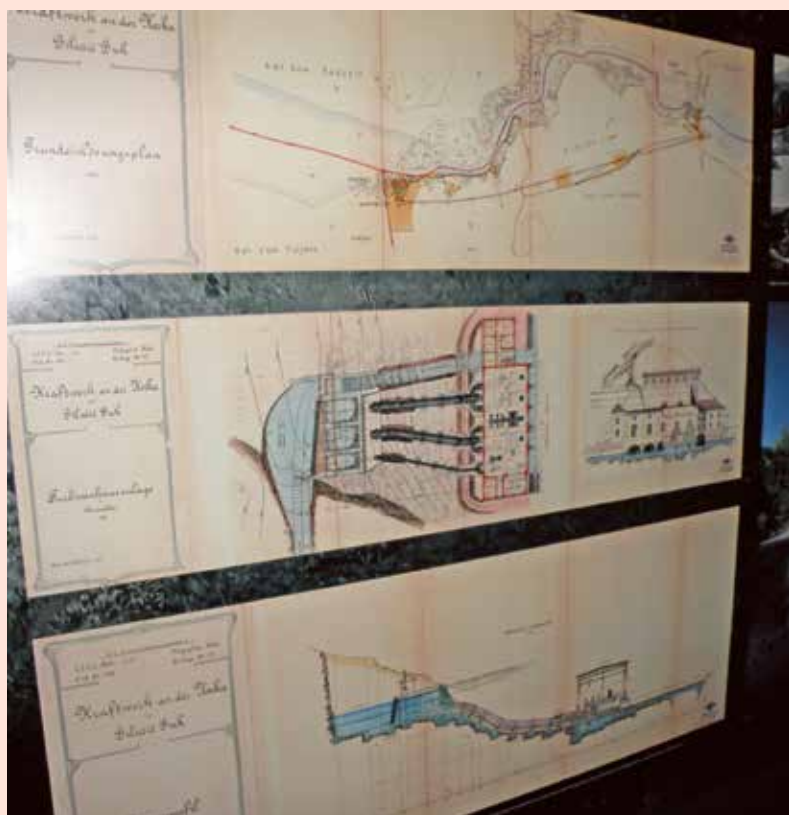
Turbina elektrane imala je snagu oko 240 kW (320 KS) i pad 10 m, a pokretala je dvofazni generator A2 proizvođača Ganz iz Budimpešte. Generator je imao nazivni napon 3000 V i frekvenciju 42 Hz te i bio je izravno spojen na dalekovod duljine 11 km, sastavljen od 360 stupova. Na svakom stupu bile su tri konzole od kojeg je najniža nosila telefonsku liniju od elektrane do Vile Meichsner, dok su gornje dvije bile opremljene staklenim izolatorima za po dva vodiča. Razvod u Šibeniku sastojao se od dvije rasklopne i šest transformatorskih stanica 3000/110V, dok je Vila Meichsner imala funkciju dispečerskog centra. U početku je najvažniji potrošač električne energije bila gradska javna rasvjeta i mlinice u Šupukovom vlasništvu.

Ipak, šibenska kućanstva su rijetko uvođila novi energent u primjenu, ponajviše zbog straha i tek je 1900. godine električnu energiju u svoje domove uvelo desetak uglednijih šibenskih obitelji.

Potom je 1. prosinca 1903. godine u neposrednoj blizini HE Krka puštena u pogon nova elektrana, za pokrivanje potreba novozgrađene tvornice kalcijevog karbida u Šibeniku. Bila je to HE Jaruga II koja je imala dva trofazna generatora i koja je, pod nazivom HE Jaruga, u pogonu i danas. Naime, HE Krka je u uporabi bila do 1914. godine, kada je demontirana zbog velikih potreba Austro-Ugarske za bakrom u vrijeme 1. svjetskog rata.

U blizini današnje HE Jaruga, uz Skradinski buk u srcu Nacionalnog parka Krka i danas se mogu vidjeti ostaci nekadašnje HE Krka. Originalna turbina je postavljena kraj ostataka zgrade, dok je na ostatku zida 1995. godine postavljena ploča u spomen te prve

▼ Neki od izvornih nacрта HE Krka





hrvatske i jedne od prvih svjetskih hidroelektrana. Uz to, 2013. godine postavljena je i spomen-ploča Instituta inženjera elektro-tehnike i energetike (IEEE).

DANAŠNJE POSTROJENJE

Od izgradnje 1903. godine do danas HE Jurga je rekonstruirana nekoliko puta: 1916., 1937., 1974., 1995. i 2002. - 2004., ali je osnovna koncepcija postrojenja zadržana u izvornom obliku pa se ona i danas ubraja u najstarija aktivna elektroenergetska postrojenja u svijetu.

Elektrana je ujedno posljednja u slivu Krke i koristi bruto pad vode od 26 m, što je dio prirodnog pada od 45 m na Skradinskom buku. S uzvodne strane buka je Visovačko jezero, a s nizvodne Krka i Prokljansko jezero pod uspornim djelovanjem mora. Radi se o tipičnoj protočnoj hidroelektrani derivacijskog tipa, bez ikakve mogućnosti izravnjanja voda, ukupne instalirane snage 7,3 MW i prosječne godišnje proizvodnje oko 35 GW h.



▲ Spomen-ploča postavljena na 100. obljetnicu elektrane

Hidroenergetski sustav započinje derivacijskim zahvatom u boku malog ujezerenog dijela rijeke na Skradinskom buku, a sastoji se od ulazne građevine, tunela izdubljenog u sedri (s gravitacijskim tečenjem), betonskog (samoregulacijskog) kanala s gotovo okomitim stranama koji završava proširenjem u

▼ Nekadašnja turbina HE Krka





▼ Današnje postrojenje HE Jaruga i Skradinski buk



◀ Strojarnica elektrane...



► ... i proizvodne jedinice

► Osnovni podaci o današnjoj HE Jaruga

proizvodno postrojenje	HE Jaruga A, B
aktualni raspoloživi proizvodni kapacitet, MW	7,3
sliv	Krke
tip elektrane	protočna, srednjotlačna, derivacijska
tip agregata	dvije Francisove turbine
proizvod	električna energija
instalirani protok, m ³ /s	2 × 15,5
godina puštanja u pogon	1903.
spoj glavnih agregata na EES	6 kV (HEP ODS)

kompenzacijski bazen - vodnu komoru otvorenog tipa, razdjelne građevine i dva tlačna cjevovoda na koje se nastavljaju bačvasta kućišta turbina agregata na koji su zakovičnim spojevima vezani čelični difuzori s izlazom u Krku.

U elektrani su ugrađene dvije istovjetne proizvodne jedinice s Francisovim turbinama s pojedinačnim instaliranim protokom 15,5 m³/s. Pri osuvremenjavanju 2002. - 2004. godine snage turbina su povećane s 2,942 na 3,65 MW, a nazivne snage generatora A i B s 4 na 4,5 MVA pa elektrana danas može isporučiti ukupnu snagu 7,3 MW. Rasklopno postrojenje 6,3 kV rekonstruirano je 1995. godine.

Elektrana danas organizacijski pripada skupini Glavne elektrane (GHE) Miljacka i dio je Proizvodnog područja Jug HEP Proizvodnje. Upravljanje proizvodnjom provodi se iz Centra proizvodnje Dalmacije, pri čemu način rada određuju i uvjeti NP Krka.



HIDROELEKTRANA MILJACKA

Hidroelektrana Miljacka je protočno derivacijsko hidroenergetsko postrojenje snage 20 MW. Nalazi se na rijeci Krki, 15 km nizvodno od Knina, na području NP Krka.

U pogon je puštena 1906. godine, kada je bila jedina elektrana u Europi iz koje je generatorski napon od 30 kV odvođen do 35 km udaljene tvornice kalcijeveg karbida u Šibeniku. Do 1910. godine bila je po snazi najveća hidroelektrana u Europi, a kako od početka neprestano radi, danas se također smatra jednom od najstarijih aktivnih hidroenergetskih postrojenja na svijetu. Zbog svega toga predstavlja važnu energetska, industrijsku i kulturnu baštinu i posebnost pa je 2018. godine uvrštena u 'Hydro Hall of Fame'.

Hidroenergetski sustav pri tome čine akumulacijsko jezero Brljan za dnevno poravnanje protoka s kapacitetom 4 hm³, brana, ulazna građevina s dva segmentna zatvarača, dovodni tunel, vodna komora, cjevovod, strojarnica i 35 kV rasklopište. U strojarnici se nalaze četiri Francisove turbine, a ukupna instalirana snaga iznosi 24 MW. Raspoloživi konstruktivni pad vode je 102 m, dok ukupni instalirani volumni protok iznosi 30 m³/s.

Duljina tunela kojim se voda od jezera Brljan dovodi do elektrane iznosi 1588,9 m, površina poprečnog presjeka 10 m², uzdužni pad 0,248% i protok 24 m³/s. Tunel je neobložen, a na izlaznoj strani se račva i dovodi vodu u dvije vodne komore. Zbog specifične lokacije, smještaja na rijeci i slapovima Krke, cijelo postrojenje, uključujući i tunel, građeno je ručno (što je, doduše, u to vrijeme bilo uobičajeno).

Elektrana isporučuje električnu energiju preko 35 i 10 kV mreže. Srednja godišnja proizvodnja električne energije iznosi 122 GW h,



▲ Elektrana i kanjon Krke

dok je najveća proizvodnja ostvarena 1974. godine i iznosila je 147 GW h.

Elektrana je organizacijski vodeća u skupini Glavne elektrane (GHE) Miljacka, u kojoj su sve hidroelektrane na Krki i dio je Proizvodnog područja Jug HEP Proizvodnje. Upravljanje proizvodnjom provodi se također iz Centra proizvodnje Dalmacije

▼ Unutrašnjost strojarnice elektrane



proizvodno postrojenje	HE Miljacka A, B, C, D
aktualni raspoloživi proizvodni kapacitet, MW	20
sliv	Krke
tip elektrane	protočna, niskotlačna, derivacijska s dnevnom akumulacijom
tip agregata	četiri Francisove turbine
proizvod	- električna energija - pomoćne usluge (tercijarna regulacija)
instalirani protok, m ³ /s	6 + 3 × 8
godina puštanja u pogon	1906.
spoj glavnih agregata na EES	35 kV (HEP ODS)

◀ Osnovni podaci o HE Miljacka

HIDROELEKTRANA KRALJEVAC

Kada je početkom 1912. godine, nakon višegodišnjih priprema i gradnje, dovršena HE Kraljevac na izlazu iz uskog kanjona i prirodnom padu (110 m) rijeke Cetine kod Zadvarja, to je bila prvorazredna senzacija. Naime, elektrana nije bila samo veliko hidrauličko postrojenje, već je obilježila cijelu fazu razvoja europske elektroenergetike (generator snage 16 000 kVA, transformator snage 21 000 kVA). Izgrađena je za opskrbu električnom energijom tvornice kalcijevog karbida i kalcijevog cijanamida u Dugom Ratu, a također je omogućila elektrifikaciju Omiša 1924. izgradnjom 15 kV dalekovoda Dugi Rat - Omiš i Splita 1927. godine izgradnjom 50 kV dalekovoda Dugi Rat - Split. U tridesetim godinama prošlog stoljeća, s ukupnom instaliranom snagom 67,2 MW, bila je najveća hidroelektrana u Jugoistočnoj Europi.

Kada je 1980. godine završena druga faza izgradnje HE Zakućac, danas po snazi najveće hrvatske hidroelektrane, HE Kraljevac je izgubila prvotni značaj, ali i dalje ima svoju ulogu u hrvatskom EES-u te predstavlja je-

dan od najljepših primjera hrvatske industrijske baštine.

Elektrana je protočno visokotlačno derivacijsko hidroenergetsko postrojenje snage 46,4 MW. Smještena je u blizini mjesta Zadvarje pokraj Omiša, na lijevoj obali Cetine. Za svoj rad koristi vode biološkog minimuma i međutoka i prelivne vode iz brane Prančevići kojom je stvorena akumulacija HE Zakućac.

Postrojenje se sastoji od ulaznog uređaja, gravitacijske brane duljine 25 m i visine 18 m, obilaznog tunela duljine 180 m potkova-stog oblika i površine 48 m², dovodnog kanala duljine 244 m trapeznog poprečnog presjeka s temeljnim ispuštima i tablastim zatvaračima, dovodnog tunela duljine 1265 m, vodne komore, tlačnih cjevovoda, strojarnice i odvodnog kanala. Srojarnica je smještena koso prema cjevovodima. U zgradi je smještena strojarska i elektro-oprema (turbine, generatori, dizalica, komanda itd.). Zgrada strojarnice je duljine 85 m, širine 26 m i visine 13 m, dok je kota poda za 2,20 m viša od najvišeg vodostaja u odvodnom kanalu. Pri radovima na osuvremenjavanju 1990. - 1991. godine elektrani je dograđen agregat biološkog minimuma snage 4,8 MW.

Elektrana je spojena je na EES na 110 kV, a agregat biološkog minimuma na 35 kV. Godišnja proizvodnja je s godinama i puštanjem u pogon uzvodnih elektrana postupno smanjivana s rekordnih 471 GW h, koliko je iznosila 1960. godine, na današnjih prosječnih 56 GW h.

Elektrana organizacijski pripada Glavnoj elektrani (GHE) Zakućac, koja je dio Proizvodnog područja Jug HEP Proizvodnje. Upravljanje proizvodnjom provodi se iz Centra proizvodnje Dalmacije.

▼ Srojarnica, tlačni cjevovodi i dio kanjona Cetine



► **Osnovni podaci o HE Kraljevac**

proizvodno postrojenje	HE Kraljevac A, B	ABM HE Kraljevac C
aktualni raspoloživi proizvodni kapacitet, MW	41,6	4,8
sliv	Cetine	
tip elektrane	protočna, visokotlačna, derivacijska	
tip agregata	Francisov vodoravni s dvije turbine	
proizvod	• električna energija • pomoćne usluge (tercijarna regulacija)	električna energija
instalirani protok, m ³ /s	2 × 25	5
godina puštanja u pogon	1912.	1990.
spoj glavnih agregata na EES	110 kV (HOPS)	35 kV (HEP ODS)



HIDROELEKTRANA OZALJ

Hidroelektrana Ozalj zapravo se sastoji od dvije odvojene elektrane, na dvije obale rijeke Kupe: HE Ozalj 1 snage 3,54 MW na desnoj i HE Ozalj 2 snage 2,2 MW na lijevoj obali. Pri tome je HE Ozalj 1 jedna od najstarijih hidroelektrana u Hrvatskoj i još proizvodi električnu energiju u izvornom objektu otako je puštena u rad 1908. godine za potrebe rasvjete u Karlovcu pod nazivom 'Munjara grada Karlovca'.

Sve je počelo još 1905. godine kada su gradske uprave Karlovca i Zagreba došle do iste ideje: izgraditi hidroelektranu na slapovima Kupe u Ozlju. Pitanje tko će dobiti koncesiju za gradnju i iskorištavanje vodnih snaga riješio je 1906. godine car Franjo Josip i dodijelio je - Karlovcu. Već slijedeće godine sklopljen je ugovor o gradnji s poduzetnikom i inženjerom Valerijanom Reisznerom, a pri gradnji je korišten projekt poznatog arhitekta Hermana Bollea.

Strojarnica HE Ozalj 1 je građena u stilu neoromantizma i izvanredan je primjer industrijske arhitekture s početka dvadesetog stoljeća i 2007. godine je upisana u Registar kulturnih dobara. Na drugoj obali Kupe nalazi se HE Ozalj 2 koja je izgrađena 1952. godine.

Prije nekoliko godina HEP je nedaleko od elektrane započeo projekt tehnološkog par-



◀ Spomen-ploča na ulazu u postrojenje HE Ozalj 1

▼ Fotografija s početka rada elektrane



◀ Turbinski agregat u strojarnici HE Ozalj 1 ...

▼ ... i detalj njegovog vratila



▼ Obje elektrane, brana i akumulacijsko jezero za vrijeme visokog vodostaja i stari grad Ozalj u pozadini



ka. Tu će biti izloženi dijelovi postrojenja kao što su generatori i turbine kako bi se javnosti moglo prikazati kako elektrana zapravo radi.

Elektrane su izvedene kao protočne pri-

branske s dnevnom akumulacijom. Smještene su u srednjem toku Kupe, u samom gradu Ozlju. Koriste vode s oborinskog područja gornjeg i srednjeg toka rijeke Kupe ukupne površine oko 2190 km².

Izgradnjom brane visine 7,5 m i duljine 77 m na prirodnoj stepenici u koritu Kupe stvoreno je akumulacijsko jezero ukupnog volumena 1,4 milijuna m³ i korisnog volumena 0,55 mil. m³. Brana je gravitacijska s preljevom po cijeloj duljini, a izgrađena je od kamenih blokova povezanih cementnim mortom i ima četiri temeljna i dva muljna ispusta. Ukupni instalirani protok obje elektrane je 85 m³/s, dok neto pad iznosi 9,2 m.

U tijeku je četvrta etapa rekonstrukcije HE Ozalj 1. Tim će se radovima završiti ciklus revitalizacije kojim će se produljiti vijek trajanja elektrane, povećati sigurnost rada, odnosno raspoloživost agregata i elektrane, optimirati rad agregata i elektrane s poboljšanim karakteristikama opreme, što je moguće više iskoristiti dotoci voda i time povećati proizvodnja. Radovi se odvijaju prema predviđenom vremenskom planu, a njihov završetak predviđen je za kraj ove godine.

Veza obje elektrane s EES-om ostvarena je na 10/35 kV. Za napajanje vlastite potrošnje koriste se otcjepe s 10 i 35 kV, a u slučaju pada mreže može se koristiti i 'crni start' pomoću dizelskog agregata u HE Ozalj 1.

Elektrane organizacijski pripadaju skupini Glavne elektrane (GHE) Gojak, u kojoj su još HE Gojak i HE Lešće na rijeci Dobri, a sve one su dio Proizvodnog područja Zapad HEP Proizvodnje. Upravljanje proizvodnjom provodi se iz Centra proizvodnje Zapad. ■

► Osnovni podaci o HE Ozalj

proizvodno postrojenje	HE Ozalj 1 A, B, C	HE Ozalj 2 D, E
aktualni raspoloživi proizvodni kapacitet, MW	3,54	2,2
sliv	Kupe	
tip elektrane	protočna, pribranska, s dnevnom akumulacijom	
tip agregata	tri Francisove turbine	dvije Kaplanove turbine
proizvod	električna energija	
instalirani protok, m ³ /s	3 × 17	2 × 17
godina puštanja u pogon	1908.	1952.
spoj glavnih agregata na EES	10/35 kV (HEP ODS)	