

ELEKTROTEHNIKA: RAZVOJ I PERSPEKTIVE U SVIJETU I HRVATSKOJ

Prof. dr. sc. Zijad H a z n a d a r, Zagreb

UDK 621.31
PREGLEDNI ČLANAK

Dan je sažeti pregled razvoja elektrotehnike kroz proteklo stoljeće i pol u svijetu i u Hrvatskoj. Posebno su obrađena područja elektroenergetike, telekomunikacija, elektronike, radiokomunikacija i računala. Detaljno su opisani razvoj Hrvatske elektroprivrede, telekomunikacija i elektroindustrije. Dane su natuknice o perspektivama na području proizvodnje i prijenosa električne energije. Znanost i obrazovanje u Hrvatskoj obrađeni su na kraju.

Ključne riječi: elektrotehnika, elektroenergetika, elektrostrojarstvo, elektronika, radiokomunikacije, telekomunikacije, računarstvo.

1. UVOD

Minulo XX. stoljeće vjerojatno će ući u povijest kao doba velikih i korjenitih promjena - političkih, socijalnih, znanstvenih, obrazovnih i tehnoloških. I dok se o onima prvima svakodnevno govori i piše, ispod prašine uskovitlane ratovima i mnogim političkim i socijalnim pokretima, zbile su se i zbivaju se duboke promjene i na ne manje važnim područjima znanosti, obrazovanja i tehnologije.

Bitna karakteristika našeg vremena i postindustrijskog društva je više nego očita povezanost znanosti, obrazovanja i tehnologije. Znanost je postala, u pravom i punom smislu, osnovna proizvodna snaga i nedjeljivi činitelj tehnoloških procesa. Sustavni pristup integrira u nerazdvojnu cjelinu tradicionalno odijeljena područja ljudskih djelatnosti, kao što su znanost, obrazovanje, proizvodnja, upravljanje, informiranje i odlučivanje.

Napredak u znanosti i tehnologiji je toliko brz i opsežan da se, prema istraživanjima provedenim na Sveučilištu u Stanfordu (SAD), ukupno ljudsko znanje stečeno do početka XX. stoljeća udvostručilo do 1950. godine, a učetverostručilo do 1960. godine. Procijenjeno je da se ono sada udvostručuje svakih pet do osam godina.

To, pak, kao posljedicu ima snažan razvoj tehnologije i prodor novih visokih tehnologija. Među njima se kao dominantne najčešće izdvajaju energetika, mikro i nanoelektronika, informatika, bioinženjering i egzotični materijali. Riječ je, dakle, o primjeni novih tehnologija, o novim izvorima energije, o (optičkim, satelitskim i mobilnim) komunikacijama, te o novim materijalima. Teži se k tehnologijama bez otpadnih tvari i zagađenja, koje bi nas trebale riješiti opasnosti od ekološkog egzodusa.

2. STOLJEĆE I POL ELEKTROTEHNIKE

Elektrotehnika kao tehnička znanost koja proučava elektricitet i djelatnosti povezane s njegovom primjenom bitno je pridonijela današnjem stupnju civilizacijskog razvoja društva. Obuhvaća grane: elektroenergetiku, elektrostrojarstvo, elektroniku, radiokomunikacije, telekomunikacije i tehničku informatiku. Bavi se proizvodnjom, prijenosom, obradom i pretvorbom dvaju ključnih resursa: energije i informacija.

Elektromagnetska teorija čini znanstvenu osnovu elektrotehnike. Istražena je u drugoj polovini XVIII. i u XIX. stoljeću. Cjelovitu klasičnu elektromagnetsku teoriju izložio je J.C. Maxwell pod kraj XIX. stoljeća u svom znamenitom djelu "A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol. I i II, London, 1873.

Početke primijenjene elektrotehnike možemo povezati s prvim elektroenergetskim sustavima građenim u XIX. stoljeću za proizvodnju električne energije, koja se koristila za rasvjetu i pokretanje motora, a potom i za telegraf i telefon, te gradsku električnu željeznicu i prva industrijska poduzeća.

2.1. Elektroenergetika

Iako je M.H. Jacobi 1834. godine izradio prvi elektromotor, a W. Siemens 1866. godine prvi istosmjerni dinamo-stroj (generator), izgradnjom prvih Edisonovih centrala za opskrbu gradova električnom energijom započela je *era elektroenergetike*. Prve dvije veće termoelektre izgradio je T. A. Edison 1882. godine u Londonu i New Yorku. U njima su istosmjerne generatore pokretali parni strojevi. Vrlo brzo izgrađeno je mnogo elektrana, a uglavnom su se koristile za rasvjetu gradova.

Primjena izmjenične struje riješila je problem prijenosa električne energije na veće udaljenosti. Tako je 1884. godine na izložbi u Torinu ostvaren prijenos električne energije iz jednofaznog Siemensova alternatora (2kV, 133 Hz) na udaljenost od 40 km.

Teslin pronalazak višefaznog sustava 1888. god. omogućio je efikasan prijenos električne energije velike snage na velike udaljenosti. Značajan pothvat učinjen je izgradnjom hidroelektrane velike snage na slapovima Niagare (USA) 1895. godine. U početku je elektrana imala 3 dvofazna generatora snage 5000 KS, napona 2200 V i frekvencije 25 Hz.

Samo dva dana kasnije 28. kolovoza 1895. god. puštena je u pogon hidroelektrana Krka. Bio je to značajan pothvat izgradnje prvog cjelovitog hrvatskog elektroprivrednog sustava. Taj sustav obuhvaćao je hidroelektranu (s dvofaznim alternatorom 320 KS, 3 kV, 42 Hz i s budilicom) na slapovima Krke, prijenosni dalekovod duljine 11 km do Šibenika, te u samom gradu razdjelnu mrežu 3000/120 V s dvije rasklopne i 6 transformatorskih stanica. Elektrana je u početku služila za napajanje javne rasvjete grada Šibenika.

Elektrifikacija gradova u Hrvatskoj započela je oko 1890. godine, samo desetak godina iza prvih u svijetu. Zagrebačka munjara ušla je u pogon 1907. godine. Do 1918. izgrađeno je više industrijskih elektrana koje su povezane u elektroenergetski sustav. Iza II. svjetskog rata počinje izgradnja današnjeg elektroenergetskog sustava. Godine 1950. instalirana snaga elektrana u Hrvatskoj iznosila je već 188 MW, da bi 1999. godine nakon obnove u domovinskom ratu porušenih i oštećenih, te izgradnje novih elektroenergetskih objekata Hrvatska elektroprivreda (HEP) imala ukupno oko 4580 MW (od toga 3930 MW u Hrvatskoj i 650 MW u BiH i Srbiji) instalirane snage u nuklearnoj (NE Krško), termo i hidroelektranama. Moguća proizvodnja bila je približno 17 TWh, a potrošnja 13,7 TWh. Visokonaponska mreža (400, 220 i 110 kV) bila je ukupne duljine oko 7200 km s 139 TS. Ukupna srednje i nisko-naponska mreža (0,4; 10; 20; 35) iznosila je preko 113.500 km duljine. Za očekivani rast potrošnje prema prosudbama, hrvatski energetski sustav trebao bi do 2010. godine osigurati električne energije u iznosu od 17 do 20 TWh.

Svi ovi podaci ukazuju na golemu važnost Hrvatske elektroprivrede, snažnog sustava koji osigurava Hrvatskoj elektroenergiju, jedan od bitnih resursa gospodarskog i civilizacijskog napretka naše zemlje.

2.2. Telekomunikacije

Telegrafi s kazaljkom koje su 1837. god. konstruirali C. Wheatstone i W. F. Cooke, a naročito telegrafski aparati F. Morseja označili su početak *telekomunikacijskog doba* u svijetu.

Izgradnjom prve telegrafske linije Celje-Zidani Most-Zagreb priključen je Zagreb na telegrafsku liniju Beč-Celje-Ljubljana-Trst. U rujnu 1850. god. proradila je i

prva telegrafska postaja u Zagrebu. Izgradnju telegrafske mreže u Hrvatskoj možemo smatrati početkom javne primjene elektrotehnike u našoj zemlji. Tijekom vremena telegrafska mreža u Hrvatskoj brzo se širila, tako da su pored Morseovih uvedeni od 1870. god. Hughesovi sinkroni telegrafi, zatim od 1931. god. teleprinterski aparati, te konačno od 1994. god. telefaks- uređaji.

Nakon što je A.G. Bell na Svjetskoj izložbi u Philadelphiji 1876. god. izložio svoju jednostavnu konstrukciju telefona, njegova primjena širi se u svijetu vrlo brzo. Prvi telefon postavljen je u Zagrebu 1881. god., a već 1886. god. proradila je u Zagrebu i prva ručna telefonska centrala. Prva automatska telefonska centrala u Hrvatskoj za 5000 pretplatnika postavljena je 1928. god., a 1981. god. također u Zagrebu ušla je u promet prva elektronička telefonska centrala. Godine 1990. započelo se u Hrvatskoj s polaganjem svjetlovodnih kabela. Proradio je i mobilni sustav telefonije u Hrvatskoj, pa broj pretplatnika raste veoma brzo.

2.3. Elektronika, radiokomunikacije, računala

Smatra se da je *elektronička era* započela 1883. god. kada je T.A. Edison demonstrirao otkriće o prolazu električne struje između metalne elektrode i zagrijane niti (katode) u vakuumskoj cijevi. Godine 1904. A. Fleming konstruirao je diodu, a 1906. godine L. De Forest triodu, prvo pojačalo.

Godine 1947. započela je *poluvodička era*. Te su godine W.B. Shockley, J. Barden i W.H. Brattain prikazali prvi tranzistor u tvrtki Bell Telephone Laboratories. Već 1958. god. u Texas Instruments Co. razvijen je prvi integrirani sklop, a 1961. proizveden je prvi komercijalni integrirani sklop (chip) u Fairchild Co. Današnja tehnologija visoko integriranih sklopova omogućuje da se postigne smještanje i preko 100 milijuna tranzistora u višeslojnom chipu. Takva miniturizacija i niz drugih pogodnosti omogućuju danas neslućeno brz eksponencijalni razvoj elektronike i elektrotehnike, kao i informatike.

H.R. Hertz proizveo je 1887. god. elektromagnetske valove u laboratoriju, a 1896. je G. Marconi poslao telegrafski signal na udaljenost od 2,5 km. Na tom području ističu se doprinosima i N. Tesla i A.S. Popov, pa Marconi 1901. god. uspostavlja prvu radio vezu preko Atlantika. Zlatne godine radija bile su tridesete godine XX. st. Prva radio postaja u Jugoistočnoj Europi počela je emitirati 1926. god. u Zagrebu, a 1935./36. izgrađen je odašiljač veće snage. Godine 1949. Radio Zagreb pušta u pogon novi odašiljač od 135 kW.

Iako je P. Nipkow već 1884. god. započeo s istraživanjima prijenosa slike, tek se 1929. god. uzima kao početak *televizijske ere*, kada je ostvaren simultani prijenos slike i zvuka elektromagnetskim valom. Godine 1932. instalirana je prva komercijalna televizijska antena na vrhu Empire State Buildinga u New Yorku. Godine 1960. postaje popularna televizija u boji. U Zagrebu je 1956. godine započelo prvo emitiranje televizijskog programa u Hrvatskoj.

Godine 1946. na University of Pennsylvania prikazano je prvo elektroničko računalo pod imenom ENIAC. Sadržavalo je 18.000 elektronskih cijevi i bilo je teško oko 30 tona. Tek pojavom visoko integriranih poluvodičkih sklopova događaju se posljednjih godina drastične promjene u veličini, brzini i kapacitetu računala. Primjena osobnih računala (PC) i korištenje računalne mreže (INTERNET) širi se neviđenom brzinom u svijetu.

Sustavna primjena računala u Hrvatskoj započela je osnivanjem Računskog centra na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu 1967. god. Prvo postavljeno elektroničko računalo bilo je IBM 1130. Godine 1971. u Centru za obradu podataka grada Zagreba postavljeno je za to vrijeme vrlo snažno računalo IBM 370/155. Sveučilište u Zagrebu 1971. god. osnovalo je Sveučilišni računski centar (SRCE), koji je opremljen snažnim računalom UNIVAC 1106. U rujnu 1992. puštena je u rad Hrvatska akademska istraživačka mreža (CARNET), s nekoliko računalnih sustava u Zagrebu. U lipnju 1995. god. postavljeno je super-računalo IBM RISC SYSTEM/600 Scalable Parallel System na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.

3. ELEKTROINDUSTRIJA U HRVATSKOJ

Elektroindustrija u Hrvatskoj započela je krajem XIX. stoljeća s malim radionicama i pogonima da bi pod kraj XX. stoljeća izrasla u nekoliko relativno velikih tvrtki i više tvornica na područjima energetike i elektrostrojarstva, automatike, telekomunikacija, elektronike, radiokomunikacija, transporta, brodogradnje, rasvjete, mjerne tehnike itd.

Godine 1919. osnovana je Tvornica motora u Zagrebu, koja 1921. god. postaje Siemensova tvornica elektromotora. Nastavila je 1946. god. kao Poduzeće "Rade Končar". Nakon 1990. god. pretvorbom je ustrojena nova tvrtka "Končar-Elektroindustrija" Zagreb. Ta najveća hrvatska elektroindustrijska tvrtka posluje na području industrije, energetike i trgovine, te ima ustrojen Institut za elektrotehniku.

Tijekom vremena stavljen je u pogon cijeli niz tvornica od kojih spominjemo samo neke: Munja (1921.), Elka (1926.), Kontakt (1925.) itd. Do II. svjetskog rata, točnije 1938. god. u hrvatskoj elektroindustriji djeluje oko 60 poduzeća. Nakon rata osnivaju se nove tvornice: Radioindustrija Zagreb-RIZ (1948.), Tvornica električnih proizvoda (TEP), Tvornica električnih žarulja-TEŽ (1949.), Dalekovod, Elektroprojekt (1949.), ATM, Digitron itd.

Krajem 1949. god. počela je u Zagrebu s radom Tvornica telefonskih uređaja-Nikola Tesla. Proizvodila je automatske telefonske centrale. Godine 1953. uspostavila je poslovno-tehničku suradnju sa švedskom tvrtkom Ericsson, da bi nakon 1990. god. pretvorbom postala snažna telekomunikacijska tvrtka "Ericsson-Tesla" Zagreb.

4. PERSPEKTIVE ELEKTROTEHNIKE

Opstanak suvremenog društva na dostignutom stupnju razvoja, kao i daljnji napredak u osnovi ovise o industrijskoj proizvodnji, transportu ljudi i dobara i prijenosu informacija, ali iznad svega o odgovarajućoj i pouzdanoj opskrbi energijom. Budući da električna energija ima goleme tehničke prednosti s obzirom na proizvodnju i prijenos, a ne uzrokuje ni posebne probleme za prirodni okoliš, nezamjenjiva je u mnogim područjima primjene. Kako su se potrebe za električnom energijom u razvijenim zemljama udvostručivale svakih deset godina, može se očekivati znatan porast potrošnje i ubuduće. S druge strane, dobro je poznata činjenica da prirodni izvori energije, kao ugljen, nafta, prirodni plin i hidroenergija nisu više raspoloživi u neograničenim količinama. U namjeri da se popuni "energetski gap" (približno period predvidiv od 1980. do 2070. godine) sve se više iskorišćuje nuklearna energija. Predviđa se nastavak toga trenda i ubuduće.

Stalni porast potrošnje energije i prisila prema većoj ekonomičnosti proizvodnje i prijenosa jasno ukazuju na potrebu stalnog unaprjeđenja i na nove razvoje u proizvodnji, prijenosu i distribuciji električne energije. S tim ciljem poduzimaju se značajna znanstveno-tehnološka istraživanja i bitne organizacijsko-strukturalne promjene u elektroenergetskim sustavima.

Tako se u području izgradnje rotacionih strojeva za proizvodnju električne energije postupno i stalno postižu unaprjeđenja. Vodom hlađeni generatori grade se već do snaga od 1500 MW, a predviđa se da će se tehnička i ekonomska ogranočenja ubuduće pomaknuti do snage od približno 2500 MW. Istraživanja generatora sa supravodljivim (uzbudnim) namotom upućuju na granice od 3000 MW i više.

Sve više se istražuju i razvijaju i alternativni izvori energije kao solarna energija, energija vjetra, bioenergija, gorivi elementi, te razni obnovljivi izvori energije itd. Oni se mogu koristiti u suradnji sa stabilnim elektroenergetskim sustavom, kao dodatni izvori, pogotovo u sustavima distribuirane generacije energije.

U području prijenosa energije uz prelazak na sve više i više prijenosne napone događaju se mnoga tehnološka unaprjeđenja. Velik napredak predstavlja upotrebu kompozitnih izolacionih materijala. Uz ostalo istražuje se i prijenos suprovodljivim kabelima. Tako su npr. u pokusima s trofaznim suprovodljivim kabelom pri prijenosu snage od 2.000.000 kW gubici snage u kabelu iznosili oko 80 kW/km, a isto toliko snage se gubilo i za hlađenje.

U razvijenim zemljama s velikom potrošnjom i snažnim elektroenergetskim sustavima uvode se sofisticirane metode upravljanja prijenosnim sustavima. Tako npr. da bi maksimirao prijenos energije, Institut za istraživanja u elektroenergetici u SAD (EPRI) izgradio je na energetskej elektronici utemeljen Prilagodljivi izmjenični prijenosni sustav (FACTS). Taj sustav, koji selektivno koristi tiristorsko upravljanje pruža velike mogućnosti, kao visoku stabilnost sustava jer po-

moću tiristora može neusporedivo brzo (trenutno) kontrolirati sve prijelazne poremećaje u sustavu, itd. Napredak u komunikacijama i elektronici je više nego iznenađujući.

5. ZNANOST I OBRAZOVANJE

Razvoj elektrotehnike pratilo je zanimanje naših znanstvenika za elektromagnetsku teoriju. Tako je već 1900. L. Stjepanek objavio opsežnu raspravu *Maxwellova teorija o elektricitetu*. Od 1927. do 1929. Josip Lončar (1891.-1973.) objavio je u Zagrebu knjigu *Konstrukcija radiostanica za primanje*, 1937. knjigu *O savremenoj televiziji*, 1939. *Uvod u električna mjerenja*, a 1940. počeo je s objavljivanjem temeljnog djela *Osnovi elektrotehnike*.

Osnivanje *Visoke tehničke škole* u Zagrebu 1919. predstavljalo je prekretnicu u razvoju elektrotehnike u Hrvatskoj. Na Elektroinženjerskom odjelu prvi su se put 1921./22. predavali elektrotehnički predmeti, a predavači su bili Josip Lončar, Raimund Fantoni, Edgar Montina i Robert Tijanić. Odjel su tvorili Zavod za elektrotehniku (kasnije Zavod za elektrostrojarstvo) i Laboratorij za električna mjerenja (kasnije Zavod za osnove elektrotehnike i električna mjerenja). Pečat studiju elektrotehnike, osim prof. Lončara, dali su i profesori Miroslav Plohl st. (1881.-1939.) i Juro Horvat (1882.-1954.). Godine 1926. Tehnička visoka škola ušla je u sastav Sveučilišta u Zagrebu kao Tehnički fakultet. Podjelom Tehničkog fakulteta 1956. osnovan je *Elektrotehnički fakultet* Sveučilišta u Zagrebu, a prof. Anton Dolenc (1905.-84.) postao je prvi dekan. Studij je prema tadašnjoj podjeli obuhvaćao smjerove jake i slabe struje. Godine 1995. fakultet je, u skladu sa svoja dva studija, promijenio ime u *Fakultet elektrotehnike i računarstva*. Studij elektrotehnike ima slijedeće smjerove: elektroenergetika, elektrostrojarstvo i automatizacija, industrijska elektronika, telekomunikacije i informatika, automatizacija, radiokomunikacije i profesionalna elektronika. Studiji elektrotehnike osnovani su i u Splitu 1960., u Osijeku 1992. i u Rijeci 1999. godine.

Napretku studija elektrotehnike i znanosti u Hrvatskoj u početnoj fazi pored već spomenutih doprinijeli su također Vladimir Žepić, Hrvoje Požar, Božidar Stefanini, Mladen Dokmanić, Tomo Bosanac, Radenko Wolf, Zlatko Plenković, Vojislav Bego, Mladen Hegeđušić, Vinko Albert, Đuro Švarc, Tihomil Jelaković, Miroslav Plohl ml., Vladimir Muljević, Vladimir Matković, kao i mnogi njihovi suradnici i sljedbenici. Tijekom 80 godina postojanja samo na FER-u u Zagrebu diplomiralo je preko 11.000 inženjera elektrotehnike i računarstva. Svi oni predstavljaju golem znanstveni i stručni potencijal na području elektrotehnike.

Godine 1924. u Zagrebu je počeo izlaziti časopis *Radio-šport*, a 1948. časopis *Elektrotehničar*. Sa zadovoljstvom možemo istaknuti da je Hrvatska elektroprivreda prije 50 godina, tj. 1951. počela izdavati časopis *Energija*, koji je značajno utjecao na razvoj elektroenergetike u Hrvatskoj. Uz časopis *Elektroteh-*

nika, koji je počeo izlaziti 1958., objavljuje se danas u Hrvatskoj još nekoliko kvalitetnih časopisa iz područja elektrotehnike i računarstva.

Na kraju istaknimo činjenicu da su snažan razvoj elektrotehnike i računarstva u Hrvatskoj u proteklom stoljeću imali velikog utjecaja na razvoj gospodarstva uopće. Hrvatska danas ima snažnu i organiziranu elektroprivredu, jake radio i telekomunikacije i dobre perspektive za unaprjeđenje elektroindustrije.

LITERATURA

- [1] V. MULJEVIĆ, "Elektrotehnika-Kronologija razvitka u Hrvatskoj", Zagreb, 1999.
- [2] Monografija: *Stoljeće Hrvatske elektroprivrede*, Zagreb, 1995.
- [3] K. SIMONYI, "Kulturgeschichte Der Physik", Akademiai Kiado, Budapest, 1990.
- [4] Z. HAZNADAR, Ž. ŠTIH, "Electromagnetic Fields, Waves and Num. Methods", Amsterdam 2000.
- [5] Siemens AG, Research and Development, München.
- [6] IEEE Spectrum, Analysis and Forecast Issue Technology 1994.
- [7] MITI Japan, Agency of industrial Science and Technology.

DEVELOPMENT AND PERSPECTIVES IN CROATIA AND IN THE WORLD

The paper offers a short review on electrical engineering in the past century and a half in Croatia and in the world. Electric energy supply, telecommunications, electronics, radio-communications and computers are elaborated separately. The development of the Croatian electric energy company, telecommunications and electric industry are described in detail. Some assumptions on the perspectives of electric energy production and transmission are also given. Finally, the Croatian scientific research and education are approached.

ENTWICKLUNG UND AUSSICHTEN IN DER WELT UND IN KROATIEN

Im Artikel ist eine kurzgefasste Entwicklungsübersicht der Elektrotechnik in der Welt und in Kroatien, das vergangenen Andtrhalbjahrhundert hindurch dargestellt. Besonders bearbeitet sind Bereiche der Elektroenergetik, des Fernmeldewesens, der Elektronik, des Rundfunkwesens und der Datenverarbeitung. Ausführlich beschrieben sind die Entwicklung der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft, des Fernmeldewesens und der Elektroindustrie in Kroatien. Es sind Hinweise auf Aussichten im Bereich der Erzeugung und Übertragung der elektrischen Energie gegeben.

Zum Schluss sind Wissenschaft und Unterrichtswesen bearbeitet.

Naslov pisca:

Prof. dr. sc. Zijad Haznadar, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Unska 3
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2001-03-20.