

Nacionalni i regionalni značaj hrvatskog prijenosnog sustava

Pastuović, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:887471>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Domagoj Pastuović

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Domagoj Pastuović

NACIONALNI I REGIONALNI ZNAČAJ HRVATSKOG
PRIJENOSNOG SUSTAVA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Igor Sutlović

Članovi ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Sutlović

Prof. dr. sc. Veljko Filipan

Izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Zagreb, rujan 2019.

Najiskrenije se zahvaljujem prof. dr. sc. Igoru Sutloviću na pomoći, odličnom mentorstvu, strpljenju, podršci te ukazanim savjetima tijekom pisanja ovog završnog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima koji su mi bili podrška tijekom preddiplomskog studija.

NACIONALNI I REGIONALNI ZNAČAJ HRVATSKOG PRIJENOSNOG SUSTAVA

SAŽETAK:

Nakon otkrića trofazne izmjenične struje pred kraj 19. stoljeća, započinje nova era razvoja čovječanstva jer je trofazna izmjenična struja najčešće korišteni oblik višefaznih struja i napona. To je jedno od najznačajnijih otkrića Nikole Tesle na kojem se i danas temelji proizvodnja, prijenos, raspodjela i uporaba električne energije.

U radu se govori o nacionalnom i regionalnom značaju hrvatskog prijenosnog sustava, a glavna uloga prijenosnog sustava neke države je sigurnost i pouzdanost isporuke električne energije kupcima. Opisane su opće karakteristike hrvatskog elektroenergetskog sustava, model upravljanja sustavom, kao i načini prijenosa i distribucije električne energije. Budući da se ni jedan oblik energije ne može u potpunosti iskoristiti, opisani su i gubici u prijenosnoj i distribucijskoj mreži.

Ključne riječi: prijenosni sustav, distribucijski sustav, nacionalni i regionalni značaj

NATIONAL AND REGIONAL ROLE OF CROATIAN TRANSMISSION SYSTEM

ABSTRACT:

After the discovery of three-phase alternating current near the end of the 19th century, a new era of human development began, as three-phase alternating current is the most commonly used form of multiphase currents and voltages. This is one of the most significant discoveries by Nikola Tesla on which electricity production, transmission, distribution and use are still based today.

The paper deals with the national and regional role of the Croatian transmission system, and the main role of a country's transmission system is the security and reliability of electricity delivery to customers. The general characteristics of the Croatian electricity system, the system management model, as well as the modes of electricity transmission and distribution are described. As no form of energy can be fully utilized, losses in the transmission and distribution networks are also described.

Keywords: transmission system, distribution system, national and regional role

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. Povijest prijenosa električne energije u svijetu	1
1.2. Povijest prijenosa električne energije u Hrvatskoj	2
2. OPĆI DIO	5
2.1. Elektroenergetski sustav Republike Hrvatske	5
2.1.1. Model vođenja elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske	7
2.2. Kapaciteti prijenosne i distribucijske mreže.....	8
2.2.1. Gubici u prijenosnoj i distribucijskoj mreži.....	11
2.4. Minimalno i vršno opterećenje hrvatskog elektroenergetskog sustava	15
2.5. Prekogranični prijenos	18
2.5.1. Dodjela prekozonskih kapaciteta	20
3. ZAKLJUČAK	23
4. LITERATURA	24

1. UVOD

1.1. Povijest prijenosa električne energije u svijetu

Energija je presudni čimbenik opstanka i razvoja ljudske vrste pa se evolucijski čovjekov put na Zemlji može uočiti praćenjem energetske povijesti. Budući da čovjek upravlja svim energetske procesima, energija sadržana u nekom izvoru energije tijekom jedne ili više pretvorbi, usmjerava se prema određenom potrošaču. Pod pojmom potrošnje energije smatramo iskorištenje većeg ili manjeg dijela energije uložene u energetske procese. Dio uložene energije koji nije iskorišten na adekvatan način nazivamo gubitkom energije. Prijenos energije je transport nekog energetske oblika na potrebnu udaljenost, a distribucija energije je raspodjela do svakog potrošača. Tako se u Londonu i New Yorku, 1882. godine, javljaju prve javne elektrane istosmjerne struje iz kojih se električna energija distribuirala na malu okolnu udaljenost. Time je započeta opskrba čovječanstva električnom energijom i označen kamen temeljac na putu svjetske javne elektrifikacije. Nedugo je nakon Londona i New Yorka, iste godine, između gradova Miesbacha i Münchena u Njemačkoj uspostavljen prijenos električne energije istosmjernom strujom na udaljenost od 57 kilometara. Nadalje, razvijaju se elektrane s pripadnom niskonaponskom mrežom istosmjerne struje u manjim mjestima i na rubovima gradova jer je nizak istosmjerni pogonski napon od nekoliko stotina volti onemogućavao prijenos većih snaga na veće udaljenosti.¹

U 1887. godine hrvatski znanstvenik Nikola Tesla ostvario je zamisao električnog prijenosa snage višefaznim sustavom te se 1891. godine ostvaruje prvi prijenos trofaznom izmjeničnom strujom na udaljenost od 175 kilometara od HE Lauffen do elektrotehničke izložbe u Frankfurtu. Također, prema Teslinim zamislima 1895. godine izgrađena je prva hidroelektrana veće snage na Niagari i njezin prijenos do Buffala.²

U ranim godinama 19. stoljeća dolazi do povećanja napona u Europi i Americi pa se tako razvijaju sustavi od 30, 50 i 110 kilovoltnog napona za prijenos električne energije iz hidroelektrana i termoelektrana do krajnjih potrošača u kućanstvima, industriji i prometu. Dvadesetih i tridesetih godina prošlog stoljeća rastu snage i udaljenosti na koje treba prenositi električnu energiju te se 1922. godine počinju primjenjivati prijenosni sustavi pri naponu od 220 kV. Zatim se četiri godine poslije u Europi ostvaruje prvi prekogranični prijenos električne energije između Njemačke i Švicarske.¹

U trenutku razvoja prijenosne mreže nakon Drugog svjetskog rata primjenjuje se sve viši napon za prijenos električne energije i od 1952. godine u Švedskoj koristi se napon od 380 kV. Danas se u Sjedinjenim Američkim državama i Rusiji koristi pogonski napon od 765 kV i 1150 kV.¹

1.2. Povijest prijenosa električne energije u Hrvatskoj

Prijenos električne energije je elektroprivredna djelatnost koja omogućuje dobavu velikih količina električne energije u glavna čvorišta mreže u skladu s trenutačnom potražnjom, odakle se ta energija neposredno predaje velikim kupcima, dalje prenosi radi izvoza ili se raspodjeljuje distribucijskim sustavom do pojedinačnih kupaca.¹ Povijest hrvatske prijenosne mreže započinje 1895. godine, što potvrđuje da je Hrvatska pratila svjetske trendove. Naime, godinu dana prije prijenosa Niagara – Buffalo, 28. kolovoza proradila je javna hidroelektrana Krka, voda duljine 11 kilometara i napona 3 kV koji se u gradu Šibeniku transformirao na napon 110 V. Hidroelektrana Krka predstavlja naš prvi prijenos izmjeničnom strujom pri visokom naponu na daljinu, a transformira se i distribuira na niskom naponu. Kasnije je u pogon puštena HE Jaruga – Šibenik napona 15 kV. Šibenik se 1906. godine spojio i s HE-om Miljacka dalekovodom napona 30 kV. Između dva svjetska rata, 1930. godine, Zagreb je povezan s Karlovcem vodom duljine 55 kilometara, napona 30 kV, radi dopunjavanja hidroelektrične proizvodnje u Karlovcu i proizvodnje električne energije u termoelektranama u Zagrebu. Budući da su ovi sustavi djelovali na lokalnoj razini, u pogon je 1953. godine puštena HE Vinodol te je ostvarena konačna snaga od 84 MW. To je prva elektrana u Hrvatskoj napona 110 kV građena za elektroenergetski sustav u cjelini koji je povezo središnju Hrvatsku s Istrom i Hrvatskim primorjem. Dvije godine poslije područje Dalmacije spojeno je na bosansko-hercegovačku mrežu dalekovodom napona 110 kV Mostar – Kraljevac – Split – Šibenik. U paralelni rad spojeni su i elektroenergetski sustavi zapadnog, središnjeg i istočnog dijela bivše države dvostrukim vodom Jajce – Zagreb. Tim spajanjem je cijela bivša država imala jedinstveni elektroenergetski sustav na razini od 110 kV. U narednim godinama dolazi do značajnog rasta potrošnje električne energije pa se 1959. godine uvodi naponska razina od 220 kV i započinje izgradnja vodova napona 220 kV. Prvi pogon koji je stavljen u rad pri naponu od 220 kV bio je vod Zakućac – Senj (Brinje) – Zagreb duljine 354 kilometra, a to je značilo povezivanje elektroenergetskih sustava Dalmacije i središnje Hrvatske, dok je spoj sa Slavonijom na hrvatskom području ostao na razini napona od 35 kV.³

U polovici sedamdesetih godina prošlog stoljeća započeli su radovi na izgradnji 400 kV mreže pa je tako 1977. u pogon puštena TS 400/110 kV Ernestinovo. Godinu poslije je slavonsko-

baranjska mreža povezana sa središnjom Hrvatskom sjevernom magistralnom linijom napona 400 kV Obrenovac (Srbija) – Ernestinovo (Osijek) – Tumbri (Zagreb) – Maribor (Slovenija), dok je na jugu puštena u pogon mreža napona 400 kV Mostar (Bosna i Hercegovina) – Konjsko (Split) – Melina (Rijeka) – Divača (Slovenija). Tim potezima izgrađena je prijenosna mreža napona 400 kV u obliku prstena koja je povezivala sva područja tadašnje Jugoslavije. Devedesetih godina dolazi do ratne agresije na Republiku Hrvatsku te su tijekom Domovinskog rata sustavno uništavani objekti prijenosne mreže. Tako je 1991. godine do temelja uništena TS 400/110 kV Ernestinovo, oštećeni su i dalekovod 400 kV Melina (Rijeka) – Konjsko (Split) te trafostanice Tumbri i Konjsko. Uništeni su i mnogobrojni drugi vodovi i trafostanice diljem Hrvatske.³



Slika 1.1. Ratno razaranje upravljačke prostorije TS 400/110 kV Ernestinovo, 1991.⁴

Nakon pobjede u Domovinskom ratu sustavno se radi na obnovi i razvitku hrvatske prijenosne mreže. Tako 1999. godine dolazi do spajanja hrvatske i mađarske prijenosne mreže puštanjem u pogon dvostruki vod napona 400 kV Tumbri – Heviz.

Obnova TS 400/110 kV Ernestinovo nakon ratnih razaranja započinje 2002. godine, kao i izgradnja TS 400/220/110 kV Žerjavinec. Završetkom izgradnje TS 400/220/110 kV Žerjavinec, iz Nacionalnog dispečerskog centra (NDC) u Zagrebu ponovo su povezane 1. i 2.

sinkrona zona Unije za koordinaciju prijenosa električne energije (UCTE), koje su zbog rata na području Republike Hrvatske bile razdvojene 13 godina te je time cijela kontinentalna Europa postala jedno sinkrono elektroenergetsko područje u kojoj 450 milijuna ljudi, u 22 države, godišnje troši 2300 TWh električne energije. Zadnja značajnija investicija u hrvatsku prijenosnu mrežu zbilja se 2009. godine kada je ratom razrušen dalekovod napona 220 kV Mraclin – Jajce ponovo osposobljen i uključen u pogon kao dalekovod Mraclin – Prijedor.³

2. OPĆI DIO

2.1. Elektroenergetski sustav Republike Hrvatske

Elektroenergetski sustav (EES) neke države je najveći, najrasprostranjeniji, najutjecajniji najskuplji i najsloženiji tehnički sustav, a sama složenost proizlazi iz činjenice da je električnu energiju nemoguće skladištiti pa se razina proizvodnje mora neprekidno izjednačavati s trenutačnim potrebama potrošnje. Elektroenergetski sustav Republike Hrvatske obuhvaća proizvodnju, prijenos, raspodjelu i potrošnju električne energije, a čine ga elektrane, prijenosni sustav načinjen od rasklopnih i transformatorskih postrojenja, vodova za prijenos i raspodjelu te uređaji za potrošnju električne energije. Radi sigurne i kvalitetne opskrbe elektroenergetski sustav jedne države uobičajeno radi u sinkronom pogonu sa sustavima susjednih država te je međusobna povezanost sustava bitna zbog međunarodne razmjene električne energije.⁹

Tako je hrvatski elektroenergetski sustav povezan sa ostalim sustavima članica Europske mreže operatora elektroprijenosnih sustava (ENTSO-E) koji zajedno tvore sinkronu mrežu kontinentalne Europe. Opskrba kupaca električnom energijom u Republici Hrvatskoj odvija se iz elektrana na području Hrvatske, iz elektrana izgrađenih za hrvatske potrošače u susjednim državama i nabavom električne energije iz inozemstva. Hrvatski elektroenergetski sustav spada u manje sustave u Europi, dok se električna energija u većem dijelu godine prenosi s juga na sjever i obrnuto te sa sjevera prema istoku zbog svojstvenog geografskog položaja i rasporeda proizvodnih objekata.⁵

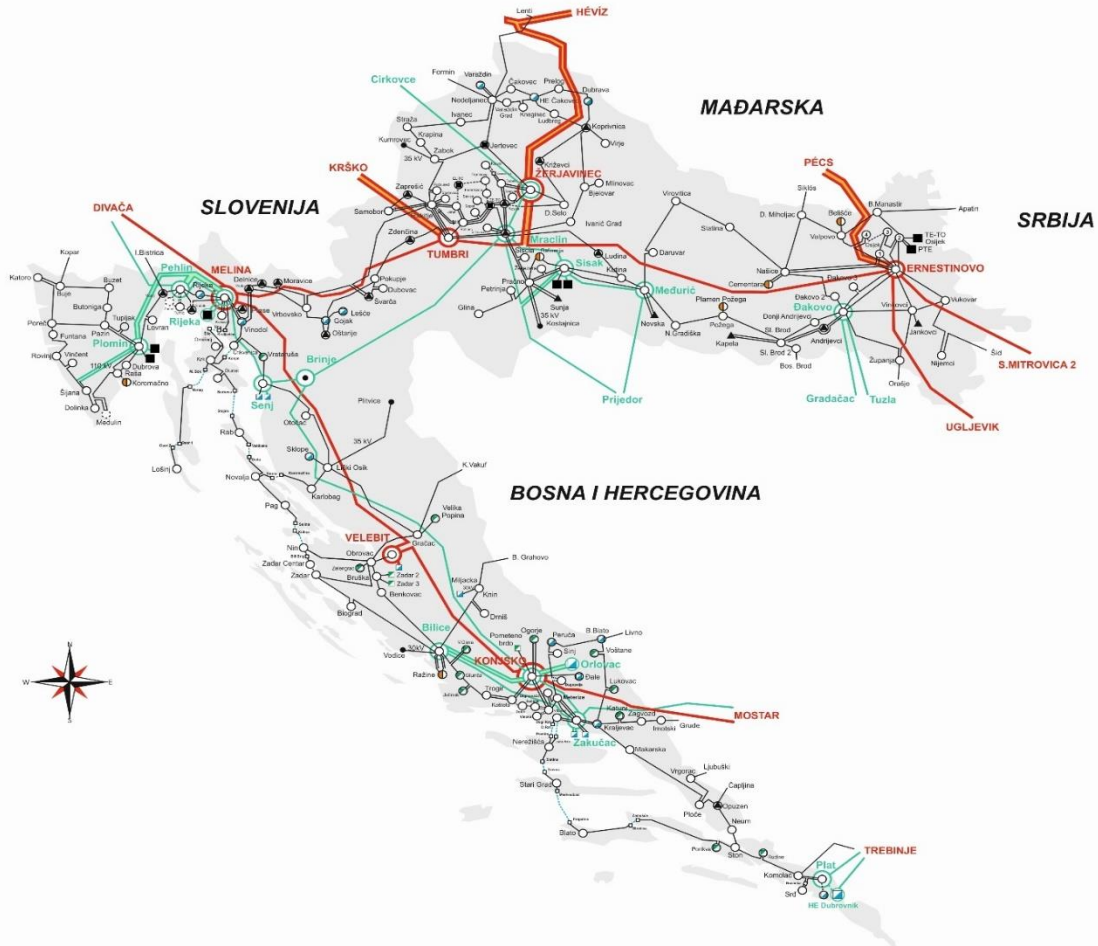
Budući da je težište konzuma električne energije u Zagrebu i sjevernoj Hrvatskoj zbog razvijenije industrije i većeg broja potrošača, postoji potreba prijenosa električne energije iz Dalmacije ka sjeveru zemlje jer se značajniji proizvodni kapaciteti električne energije nalaze južno od dalekovoda napona 220 kV Brinje – Senj. No, postoji problem prijenosa proizvedene električne energije s juga prema sjeveru jer je izgrađen samo jedan dalekovod napona 400 kV Konjsko – Velebit – Melina i jedan dalekovod napona 220 kV Konjsko – Brinje.¹¹

Također, pouzdanost i energetska moć hrvatskog elektroenergetskog sustava značajno se povećala puštanjem u rad novoizgrađene transformatorske stanice 400/220/110 kV Žerjavinec i obnovljene transformatorske stanice 400/110 kV Ernestinovo, posebice u sjeverozapadnom i istočnom dijelu.

Nakon ponovnog povezivanja 1. i 2. zone Unije za koordinaciju prijenosa električne energije (UCTE), zahvaljujući ovim transformatorskim stanicama, hrvatski elektroenergetski sustav postao je opet značajan za tranzitni sustav.⁵



HRVATSKA PRIJENOSNA MREŽA



Legenda:

- 400 kV dvostruki nadzemni vod
- 400 kV nadzemni vod
- 220 kV dvostruki nadzemni vod
- 220 kV nadzemni vod
- 220 kV kabelski vod
- 110 kV nadzemni vod
- 110 kV kabelski vod
- 110 kV podmorski kabel
- TS 400/220/110 kV
- TS 400/110 kV
- TS 220/110 kV
- TS 220/35 kV
- TS 110x kV
- TS (RP) 110 kV + EVP
- TS 110x kV U IZGRADNJI
- TS 35x kV
- TS (RP) 220 kV + TE
- TS (RP) 220 kV + HE
- TS (RP) 110 kV + VE
- TS (RP) 110 kV + HE
- TS (RP) 110 kV + TE
- TS (RP) 110 kV kupca
- 110 kV Kabelsko postrojenje
- EVP
- TE
- HE
- VE

Prosinac, 2018.
Izradio: Marijo Kosević, PPH Zagreb

Slika 2.1. Shema hrvatskog elektroenergetskog sustava krajem 2018. godine.¹⁰

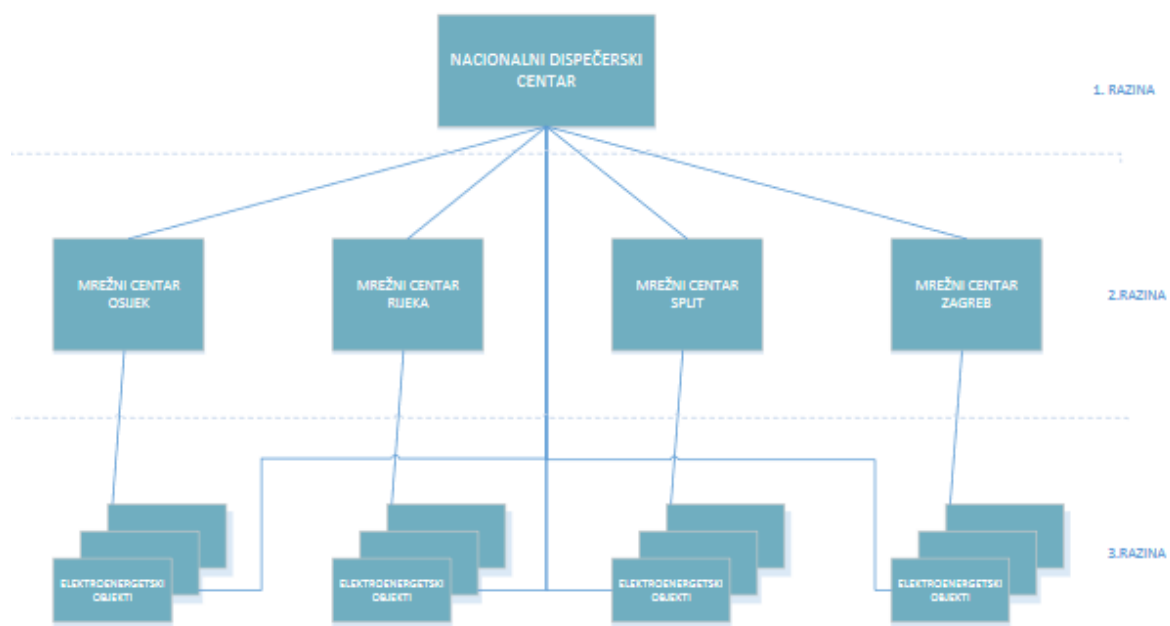
Na slici 2.1. prikazano je stanje postojeće hrvatske prijenosne mreže na kraju 2018. godine kojeg čine sljedeće naponske razine:

- Prijenosna mreža s naponima od 400 kV, 220 kV i 110 kV¹²
- Srednjenaponska distribucijska mreža s naponima od 35 kV, 20 kV i 10 kV
- Niskonaponska distribucijska mreža s naponom od 0,4 kV⁶

2.1.1. Model vođenja elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske

Sustav vođenja elektroenergetskog sustava obuhvaća širok i složeni spektar zahvata tijekom pogona elektroenergetskog sustava s ciljem optimiziranja rada sustava i održavanja zadanih parametara. Hrvatski elektroenergetski sustav mora biti dobro vođen, od proizvodnje i prijenosa pa do distribucije kako bi funkcionirao u cijelosti. Nadalje, vrlo je važno usklađivanje sustava sa susjednim državama i sinkronim područjem ENTSO-E regije.¹

Hrvatski elektroenergetski sustav temelji se na modelu vođenja "1+4", odnosno na strukturi jednog glavnog i četiri centra druge razine vođenja.¹³



Slika 2.2. Model vođenja elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske.⁷

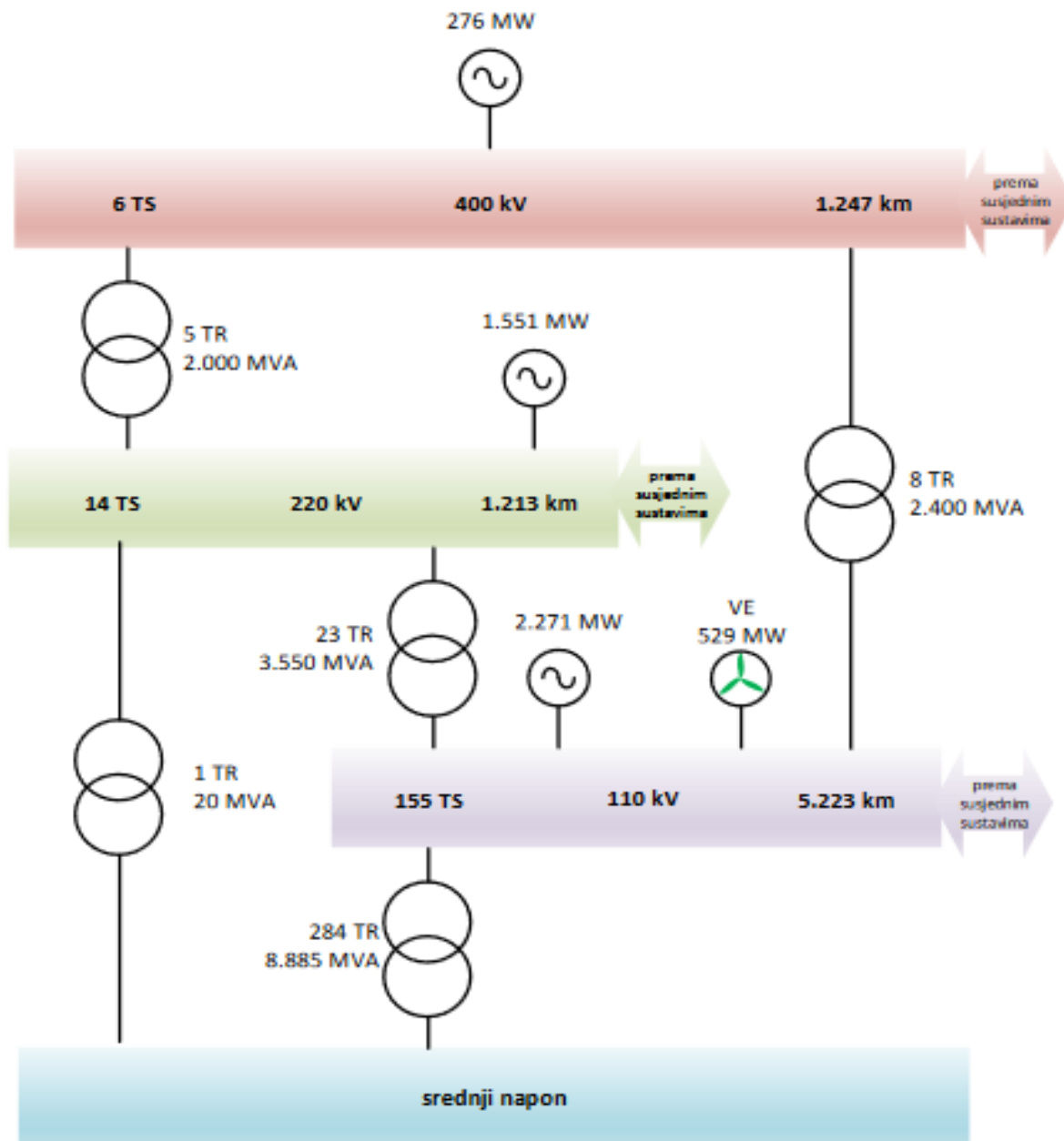
Iz slike 2.2. vidljivo je da se hrvatski elektroenergetski sustav hijerarhijski organizira u tri razine. Na najvišoj razini nalazi se Nacionalni dispečerski centar (NDC) koji je smješten u Zagrebu te predstavlja glavni centar vođenja elektroenergetskog sustava kao cjeline. Na drugoj razini nalaze se četiri mrežna centra upravljanja smještena u Rijeci, Splitu, Osijeku i Zagrebu.

Mrežni centar upravljanja u Zagrebu se organizacijski i fizički nalazi u prostoru TS Žerjavinec, dok se na trećoj razini nalaze elektroenergetski objekti (transformatorske stanice i elektrane), centri daljinskog upravljanja, centri vođenja lanca elektrana i centri vođenja elektrana na slivovima. Mrežni centri nadziru, i prema nalogima Nacionalnog dispečerskog centra upravljaju mrežom od 400, 220 i 110 kV te samostalno nadziru i upravljaju mrežom od 110 kV koja nije od sistemskog značaja u svom prijenosnom području.¹³

2.2. Kapaciteti prijenosne i distribucijske mreže

Glavna zadaća elektroenergetskog sustava neke države je opskrba kupaca električnom energijom pri čemu sudjeluju svi dijelovi tog sustava: generatori, transformatori i vodovi. Uz to, električna energija koja se dostavlja potrošačima mora biti kvalitetna, a mjerila kvalitete su napon, frekvencija i raspoloživost.¹ Budući da su prijenos i distribucija električne energije regulirane energetske djelatnosti koje se obavljaju kao javne usluge, u Republici Hrvatskoj Hrvatski operator prijenosnog sustava obavlja javnu uslugu prijenosa električne energije. HOPS je odgovoran za pouzdanost, održavanje, razvoj i izgradnju prijenosne mreže uz odgovornost za vođenje elektroenergetskog sustava na način kojim se postiže sigurnost isporuke električne energije.⁶

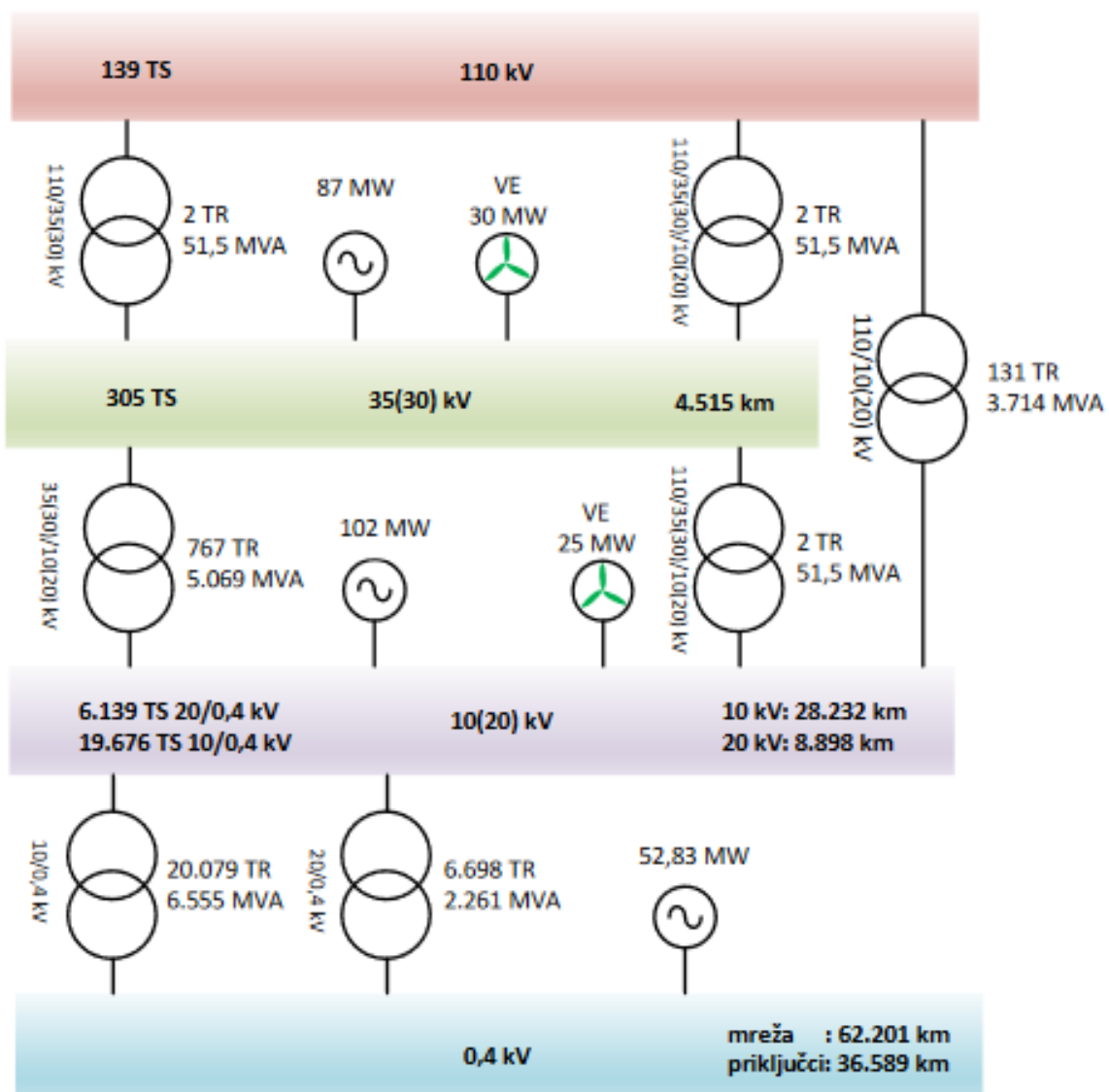
Na slici 2.3. uočava se da je u hrvatskoj prijenosnoj mreži krajem 2017. godine u vlasništvu HOPS-a 7.683 km visokonaponske mreže od 110 kV, 220 kV, 400 kV. Od toga 1.247 km prijenosne mreže otpada na dalekovode napona 400 kV, 1.213 km dalekovoda na napone od 220 kV, dok se 5.223 km odnosi na dalekovode napona 110 kV.⁶ Također je u vlasništvu HOPS-a i dalekovod napona 110 kV do TS Livno koja je smještena na teritoriju Bosne i Hercegovine. Okosnicu hrvatskog elektroenergetskog sustava krajem iste godine čini i 6 transformatorskih stanica naponske razine 400 kV, kao i 14 transformatorskih postrojenja napona 220 kV, dok je 155 transformatorskih postrojenja naponske razine od 110 kV.⁷



Slika 2.3. Udjeli prijenosnih dalekovoda u pogonu u vlasništvu HOPS-a, po naponskim razinama u hrvatskom EES-u krajem 2017. godine.⁶

Nadalje, u europskim selima i gradovima distribucija električne energije praktički postaje nevidljiva, ali je sveprisutna, jer se vodovi i postrojenja sve više izvode podzemno, od niskonaponskih do sredjenaponskih.¹ Za pogon, vođenje, održavanje, razvoj i izgradnju distribucijske mreže u Republici Hrvatskoj odgovoran je HEP-ODS, koji osigurava dugoročnu sposobnost mreže da zadovolji razumne zahtjeve za distribucijom električne energije.⁶

HEP-ODS je tvrtka u sastavu HEP grupe i ima 21 distribucijsko područje na teritoriju cijele Republike Hrvatske.⁸

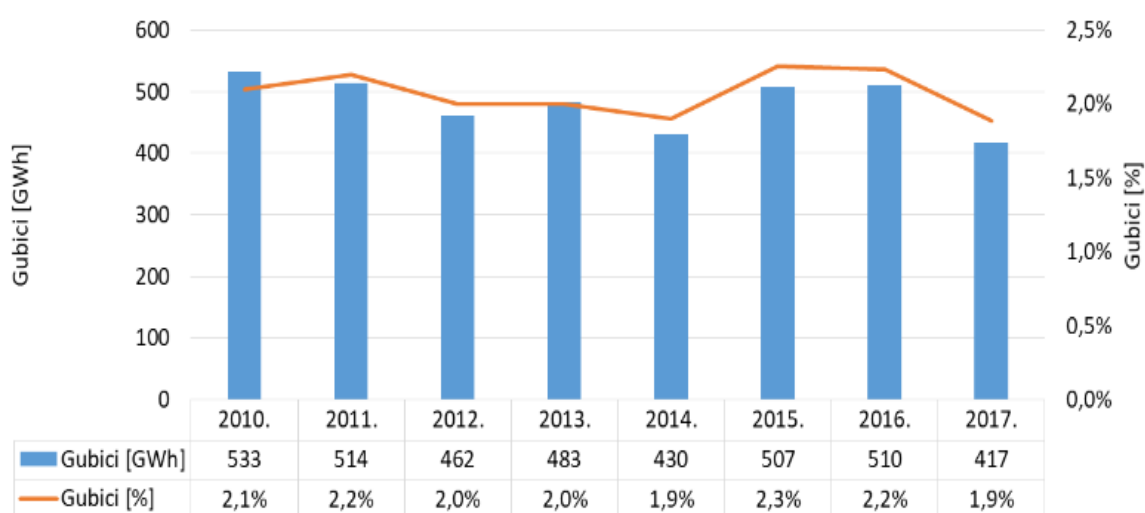


Slika 2.4. Duljina vodova distribucijske mreže u Republici Hrvatskoj na kraju 2017. godine.⁶

Na slici 2.4. vidljivo je da distribucijsku mrežu u Republici Hrvatskoj čine vodovi naponske razine od 0,4 kV do 35 kV ukupne duljine 140.435 km. 35 kilovoltnu mrežu čine vodovi duljine 4.515 km, a 20 i 10 kilovoltnu mrežu vodovi duljine 8.898 km i 28.232 km. Ukupni priključci su duljine 36.589 km, dok se 0,4 kV naponska mreža odnosi na duljinu od 62.201 km.⁶

2.2.1. Gubici u prijenosnoj i distribucijskoj mreži

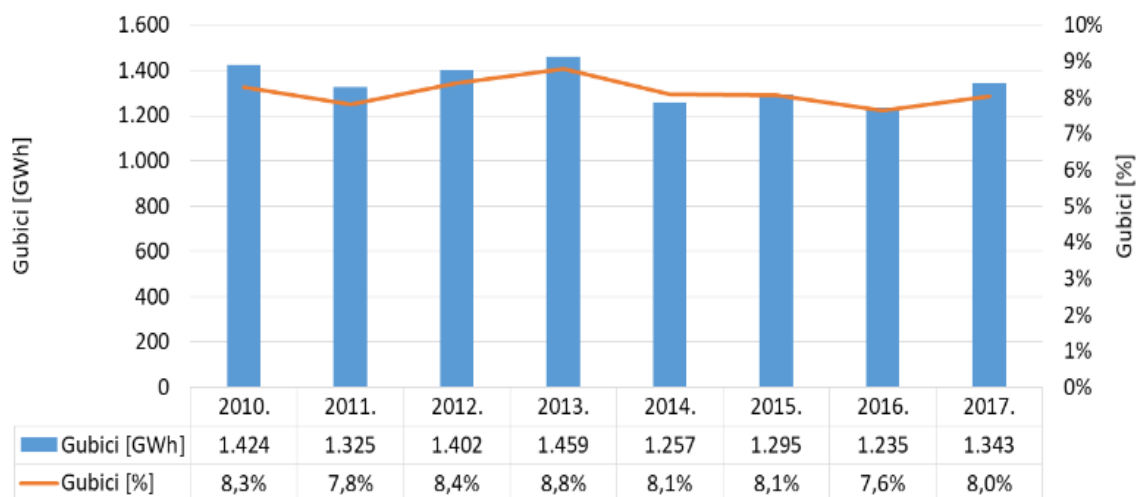
Iz fizikalnog zakona o očuvanju energije znamo da se energija ne može ni iz čega stvoriti niti uništiti, već samo pretvoriti iz jednog oblika energije u drugi oblik energije pri čemu ukupna energija u procesu pretvorbe ostaje očuvana. Tako nije moguće svu ulaznu energiju pretvoriti u korisnu energiju, nego se jedan dio energije pretvara u procesu pretvorbe u nekoristan oblik. Taj dio energije koji ne možemo iskoristiti naziva se gubitkom energije. Osim u vodovima, energija se gubi i u transformatorima.¹ U svrhu smanjenja gubitaka električne energije, dugi niz godina se provode investicijske i operativne mjere.⁸ Na veličinu gubitaka utječe konstrukcijska starost transformatora pa se smanjenje gubitaka svodi na zamjenu velikog broja starih transformatora uz velika ulaganja. Osim gubitaka u prijenosnoj mreži, postoje gubici električne energije i u distribucijskoj mreži te tako dolazimo do ukupnih gubitaka u mreži.¹ Također, u gubitke u distribucijskoj mreži uračunavaju se i netehnički gubici električne energije kao posljedica neizmjerene, neobračunate ili neovlašteno preuzete električne energije koju su potrošili kupci.⁸



Slika 2.5. Gubici električne energije u prijenosnoj mreži od 2010. do 2017. godine.⁶

Iz slike 2.5. može se uočiti da su gubici električne energije u 2017. godini iznosili 417 GWh ili 1,9 % ukupno prenesene električne energije, a samim time je apsolutna i relativna vrijednost gubitaka električne energije u prijenosnoj mreži najniža u razdoblju od proteklih osam godina, što potvrđuje ulaganja u prijenosnu mrežu u svrhu smanjenja gubitaka električne energije.

Budući da su planski gubici za 2017. godinu iznosili 490 GWh, što predstavlja pogrešku u planiranju od skoro 15 %, jer se plan zasniva na prosječnim ostvarenim gubicima u prijenosnoj mreži iz prethodnih godina ne uzimajući u obzir brojne druge činitelje koji utječu na gubitke električne energije, kao što su vremenske prilike ili očekivano opterećenje sustava.⁶



Slika 2.6. Gubici električne energije u distribucijskoj mreži od 2010. do 2017. godine.⁶

Na slici 2.6. vidljivo je da su gubici električne energije u distribucijskoj mreži u 2017. godini iznosili 1343 GWh ili 8,0 % od ukupne nabave električne energije u toj mreži, a to znači porast po apsolutnom i relativnom iznosu u odnosu na 2016. godinu kada su gubici električne energije u distribucijskoj mreži iznosili 1235 GWh ili 7,6 %. No, gubici električne energije u distribucijskoj mreži mogu se razlikovati po pojedinim distribucijskim područjima zbog udjela neovlaštene potrošnje, klimatskih uvjeta i vanjske temperature, gustoće potrošnje, kao i tehničkih značajki distribucijske mreže. Osim navedenih čimbenika, na gubitke utječe i proizvodnja električne u proizvodnim postrojenjima priključenim na distribucijsku mrežu, a gubici se smanjuju ako na lokaciji distribuirane proizvodnje postoji potrošnja koja se vremenski podudara s proizvodnjom jer dolazi do smanjenja tokova kroz mrežu. Ukoliko se na lokaciji distribuirana proizvodnja električne energije vremenski ne poklapa s potrošnjom ili potrošnje nema, tada dolazi do povećanja tokova kroz mrežu, a samim time i povećanja gubitaka u distribucijskoj mreži.⁶

2.3. Kapaciteti za proizvodnju električne energije

U Republici Hrvatskoj instalirani kapaciteti za proizvodnju električne energije obuhvaćaju hidroelektrane i termoelektrane, velik broj vjetroelektrana i drugih elektrana na obnovljive izvore energije u privatnom vlasništvu te određeni broj industrijskih termoelektrana.¹⁴

Također, javlja se pojam tzv. distribuirane proizvodnje, odnosno riječ je o malim proizvodnim jedinicama na obnovljive izvore energije uz kogeneraciju disperziranu po srednjenaponskoj ili niskonaponskoj mreži, praktički do dvorišta pojedinih kućanstava.¹ Prema literaturi⁶ priključna snaga svih elektrana na kraju 2017. godine iznosila 4911 MW, što je u odnosu na 2016. porast od 111 MW, vidi se trend stalnog rasta zbog priključenja novih postrojenja iz kojih će se preuzimati električna energija kroz sustav proizvodnje iz obnovljivih izvora energije i visokoučinkovite kogeneracije. Najmanji udio u priključnoj snazi elektrana imaju solarne elektrane (1,22%), elektrane na biomasu (1,62%) i vjetroelektrane (11,71%), dok najveći udio zauzimaju termoelektrane (41,12%) i hidroelektrane (44,33%).

Krajem 2017. godine kapaciteti za proizvodnju električne energije obuhvaćali su 17 pogona velikih hidroelektrana, 7 pogona termoelektrana, polovinu instaliranih kapaciteta u nuklearnoj elektrani Krško koja se nalazi u Sloveniji te veći broj lokacija koji koriste obnovljive izvore energije, kao što su vjetar i Sunce.¹⁴

Tablica 1. Proizvodni kapaciteti Republike Hrvatske u sastavu HEP grupe u 2017. godini ¹⁴

Kapaciteti za proizvodnju električne energije Electricity generation capacity	Raspoloživa snaga Available power (MW)	Proizvedena električna energija u 2017. godini (na generatoru) Gross Electricity produced in 2017 [GWh]
Hidroelektrane / Hydro power plants	2 206,5	5 507,7
Akumulacijske / Storage	1476,9	507,4
Crpne / pumped-storage	293,1	1486,1
Protočne / Run-of-river	403,2	3417,5
Male HE / Small HPP	33,3	96,7
Termoelektrane / Thermal power plants	2 152,0	5193,1
Ugljen / Coal	315,5	1372,7
Prirodni plin, loživo ulje / Natural gas, fuel oil	1452,9	3294,8
Loživo ulje / Fuel oil	303,0	0
Biomasa / Biomass	42,0	215,9
Bioplin / Biogas	44,6	309,7
Vjetroelektrane / Wind power plants	576,1	1204,0
Sunčane elektrane / Solar power plants	60,0	78,7
Ukupno / Total	5.000,6	11 983,5

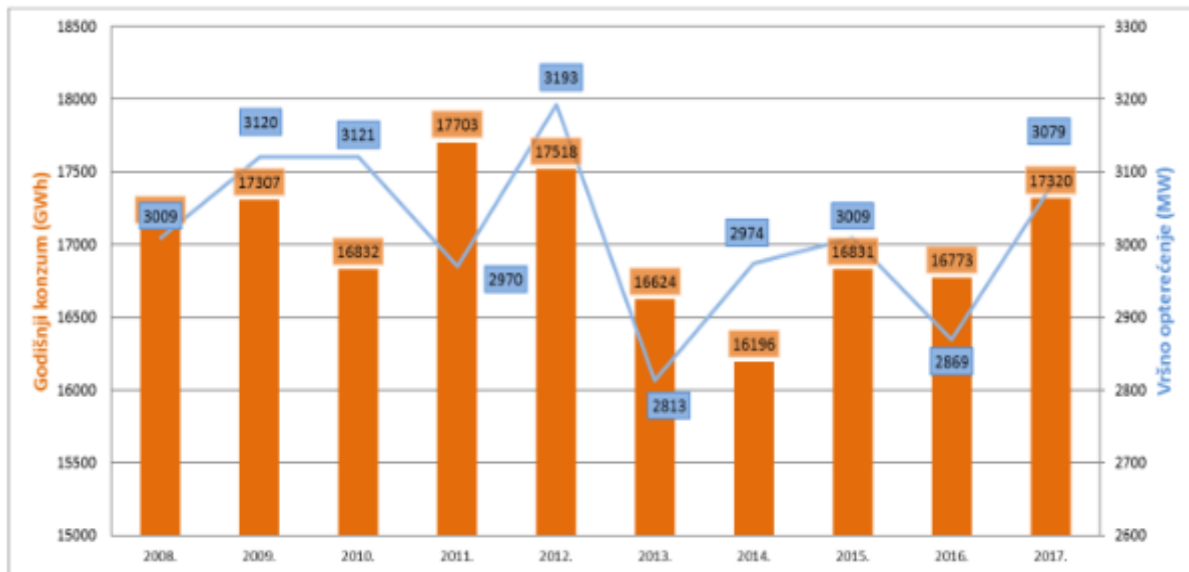
Prema tablici 1.¹⁴ može se uočiti da je ukupna raspoloživa snaga elektrana na području Republike Hrvatske krajem 2017. godine iznosila 5.000,6 MW, od čega je u termoelektranama sadržano 2.152,0 MW, a u hidroelektranama 2.206,5 MW. Naša termoelektrana najveće raspoložive snage je TE-TO Sisak i iznosi 631 MW s proizvedenom električnom energijom na generatoru u 2017. godini od 836,1 GWh, dok je HE Zakučac na rijeci Cetini hidroelektrana najveće raspoložive snage od 535 MW s proizvedenom električnom energijom na generatoru od 925,6 GWh u 2017. godini. U obliku vjetroelektrana instalirano je 576,1 MW, a u sunčanim elektranama 60 MW. Za potrebe elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske koristi se i 348 MW iz NE Krško, odnosno 50% ukupno raspoložive snage elektrane u skladu s vlasničkim udjelima. NE Krško u 2017. godini proizvela je 2.983,6 GWh električne energije za potrebe Republike Hrvatske, što u bilancu električne energije ulazi kao uvoz. Osim NE Krško, u navedenu snagu elektrana nisu uračunati proizvodni kapaciteti na teritoriju drugih zemalja iz kojih hrvatski elektroenergetski sustav ima pravo isporuke električne energije na temelju zakupa snage i energije ili vlasničkih udjela.

Tako se u Bosni i Hercegovini nalazi TE Gacko na ugljen instalirane snage 300 MW u kojoj Republika Hrvatska ima udio u vlasništvu na razdoblje od 25 godina i to 1/3 snage i proizvedene energije. Također, Republika Hrvatska je temeljem kredita za izgradnju stekla pravo zakupa snage i energije u Republici Srbiji iz TE Obrenovac na ugljen snage 305 MW, no snaga i električna energija još uvijek nisu dostupni potrošačima jer još uvijek nije riješen njihov status.¹⁴

Iz elektrana koje se nalaze na teritoriju Republike Hrvatske proizvedeno je 59 % električne energije, dok je ostatak pokriven fizičkim neto uvozom od 41%. Uključujući i gubitke hrvatskog elektroenergetskog sustava, ukupna potrošnja električne energije u Republici Hrvatskoj u 2017. godini iznosila je 18.197,0 GWh, što je povećanje od 2,96 % u odnosu na 2016. godinu te je istovremeno najveća zabilježena potrošnja od 2000. godine. Značajna količina električne energije nabavljala se iz uvoza jer je izrazita suša u većem dijelu godine utjecala na smanjenu proizvodnju električne energije iz hidroelektrana, a u mnogim termoelektranama je vršen dugotrajni remont i revitalizacija agregata sukladno važećoj ekološkoj regulativi pa su te termoelektrane bile neraspoložive i van pogona.⁶

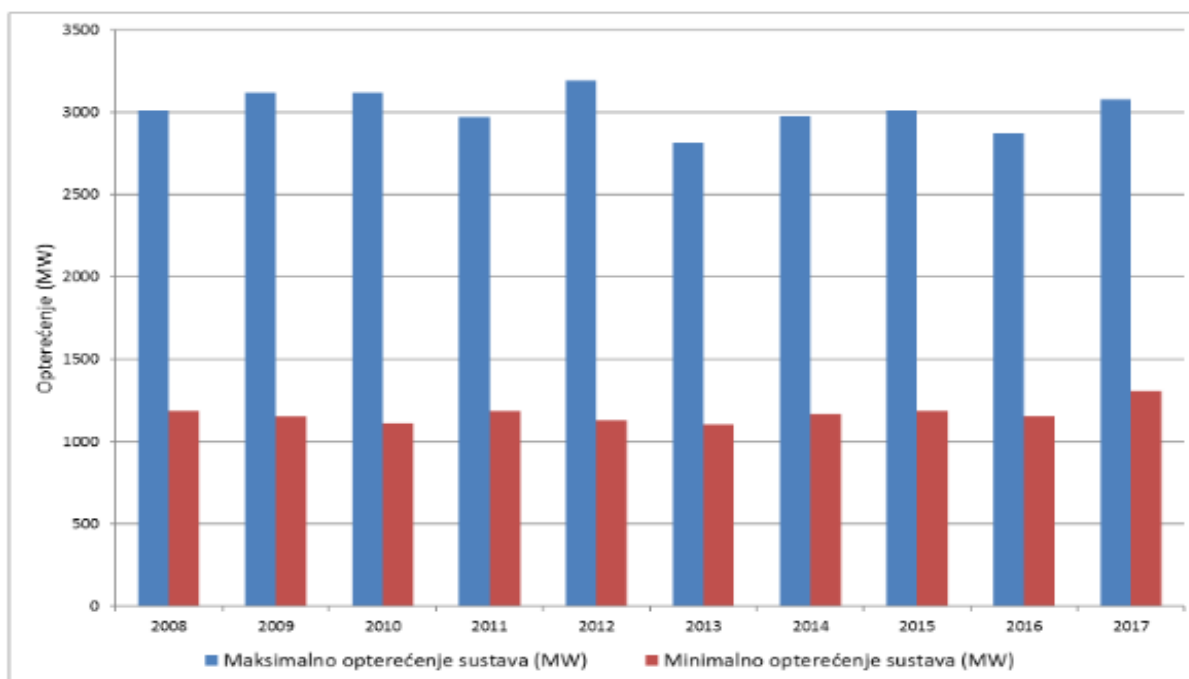
2.4. Minimalno i vršno opterećenje hrvatskog elektroenergetskog sustava

Općenito se teži smanjiti vršno opterećenje i potražnju energije te ravnomjernije rasporediti potražnju prebacivanjem iz opterećenijih razdoblja u manje opterećena, ali i punjenjem razdoblja nedovoljnog iskorištenja kapaciteta novom potražnjom.¹ Unutar elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske postižu se vršna opterećenja u iznosu do 3200 MW.⁷



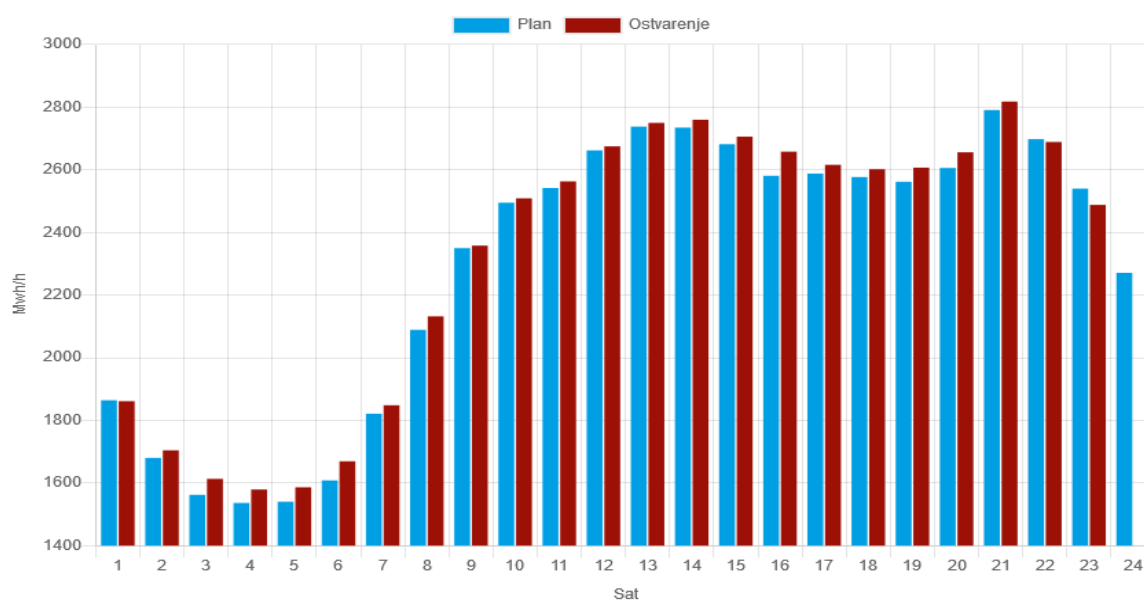
Slika 2.7. Godišnji konzum i vršno opterećenje hrvatskog elektroenergetskog sustava.⁷

U posljednje vrijeme raste i ljetna potrošnja radi ubrzane ugradnje klima uređaja i potrošnje električne energije za hlađenje prostora te je minimalno opterećenje hrvatskog elektroenergetskog sustava u 2017. godini zabilježeno 18. rujna i iznosilo je 1305 MW, dok je vršno opterećenje zabilježeno 4. kolovoza i iznosilo je 3079 MW. Tako je 2017. treća godina zaredom u kojoj se vršno opterećenje hrvatskog elektroenergetskog sustava ostvarilo tijekom ljetnih mjeseci, dok se u prijašnjim godinama vršno opterećenje javljalo u zimskim mjesecima.⁶ Vršno opterećenje najčešće se javlja u predvečernjim satima i to upućuje na značajnu potrošnju električne energije u kućanstvima.⁷



Slika 2.8. Odnos minimalnog i maksimalnog opterećenja (MW/h) hrvatskog EES-a.⁷

U hrvatskom elektroenergetskom sustavu odnos minimalnog i maksimalnog dnevnog opterećenja iznosi oko 0,45, dok se odnos minimalnog i maksimalnog godišnjeg opterećenja kreće u rasponu 0,3 do 0,4, a minimalna godišnja opterećenja se uglavnom bilježe u kasno proljeće, najčešće u svibnju i lipnju.⁷



Slika 2.9. Dnevni dijagram opterećenja hrvatskog EES-a na datum 20. kolovoza 2019.¹⁵

Na slici 2.9. prikazan je dijagram dnevnog opterećenja hrvatskog elektroenergetskog sustava na datum 20. kolovoza 2019. godine te se zaključuje da se minimalno opterećenje javlja u ranim jutarnjim satima između 3-5 sati. Nadalje, zapaža se sve veća potrošnja električne energije i oko 14 sati hrvatski elektroenergetski sustav bilježi svoj prvi maksimum opterećenja, dok u popodnevним satima dolazi do blagog rasterećenja te se oko 21 sat bilježi drugi maksimum potrošnje električne energije.¹⁵

2.5. Prekogраниčni prijenos

Stvaranje učinkovitog tržišta električne energije potiče se putem intenziviranja trgovine električnom energijom, što uključuje i prekogranične tokove električne energije. Pojam interkonekcija ili interkonekcijski vod odnosi se na spojni vod dva susjedna elektroenergetska sustava, što često podrazumijeva prijenosni vod koji prelazi preko državnih granica i koji povezuje nacionalne prijenosne sustave država. Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća ostvareno je znatno povećanje interkonekcija između elektroenergetskih sustava zbog potrebe veće pouzdanosti i sigurnosti pogona te ekonomičnijeg rada elektroenergetskog sustava. Na kraju, kroz razmjenu električne energije ostvaruje se i dobit.⁹

Povezani elektroenergetski sustavi mogu trgovati električnom energijom na dva načina, a to su da mogu uvoziti ili izvoziti električnu energiju ili mogu upotrebljavati jedan sustav za prolaz (tranzit) električne energije iz jednog u drugi sustav. Predmetni elektroenergetski sustavi trebaju imati spojne točke. Te su točke u svojoj biti fizički prijenosni vodovi ograničenog broja i kapaciteta.⁹

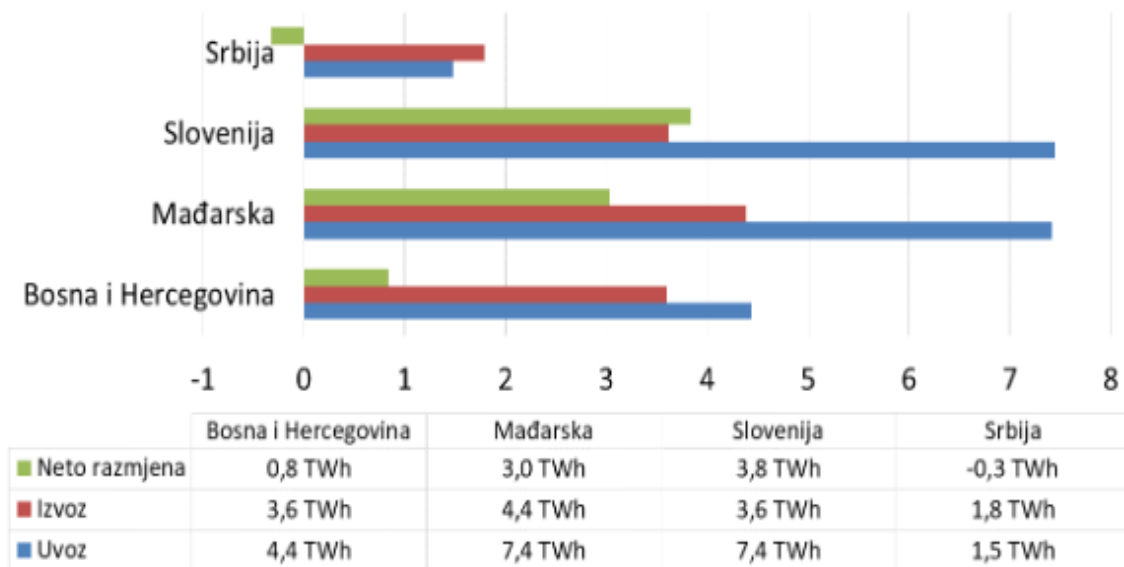
Hrvatski elektroenergetski sustav povezan je sa sustavima susjednih zemalja naponskim razinama od 400 kV, 220 kV i 110 kV. Ukupno sedam dalekovoda (tri dvostruka i četiri jednostruka dalekovoda) naponske razine od 400 kV povezano je s elektroenergetskim sustavima:

- Bosne i Hercegovine (DV 400 Ernestinovo – Ugljevik i DV 400 kV Konjsko – Mostar)
- Srbije (DV 400 kV Ernestinovo – Sremska Mitrovica 2)
- Mađarske (DV 2x400 kV Žerjavinec – Heviz i DV 2x400 kV Ernestinovo – Pecs)
- Slovenije (DV 2x400 kV Tumbri – Krško i DV 400 kV Melina – Divača)

Osim 400 kV dalekovoda, interkonekcijska povezanost hrvatskog elektroenergetskog sustava sa susjednim članicama ENTSO-E ostvarena je i s 8 dalekovoda 220 kV.

Nadalje, hrvatski sustav umrežen je sa zemljama u okruženju sa 18 dalekovoda na naponskoj razini od 110 kV te tako svrstava Republiku Hrvatsku u važnu poveznicu elektroenergetskih

sustava srednje i jugoistočne Europe. Prijenosna mreža dovoljno je izgrađena da omogućí značajne razmjene električne energije, prvenstveno uvoz. Tako se značajne količine energije, sa zadovoljavajućom sigurnošću, uvoze iz smjera EES Slovenije (NE Krško), EES BiH te iz smjera Mađarske. No, hrvatska prijenosna mreža sadrži značajan tehnički problem u smislu nemogućnosti regulacije napona i jalove snage na mreži od 400 kV i 220 kV.⁷



Slika 2.10. Trgovinska razmjena po granicama Republike Hrvatske sa susjednim zemljama u 2017. godini.⁶

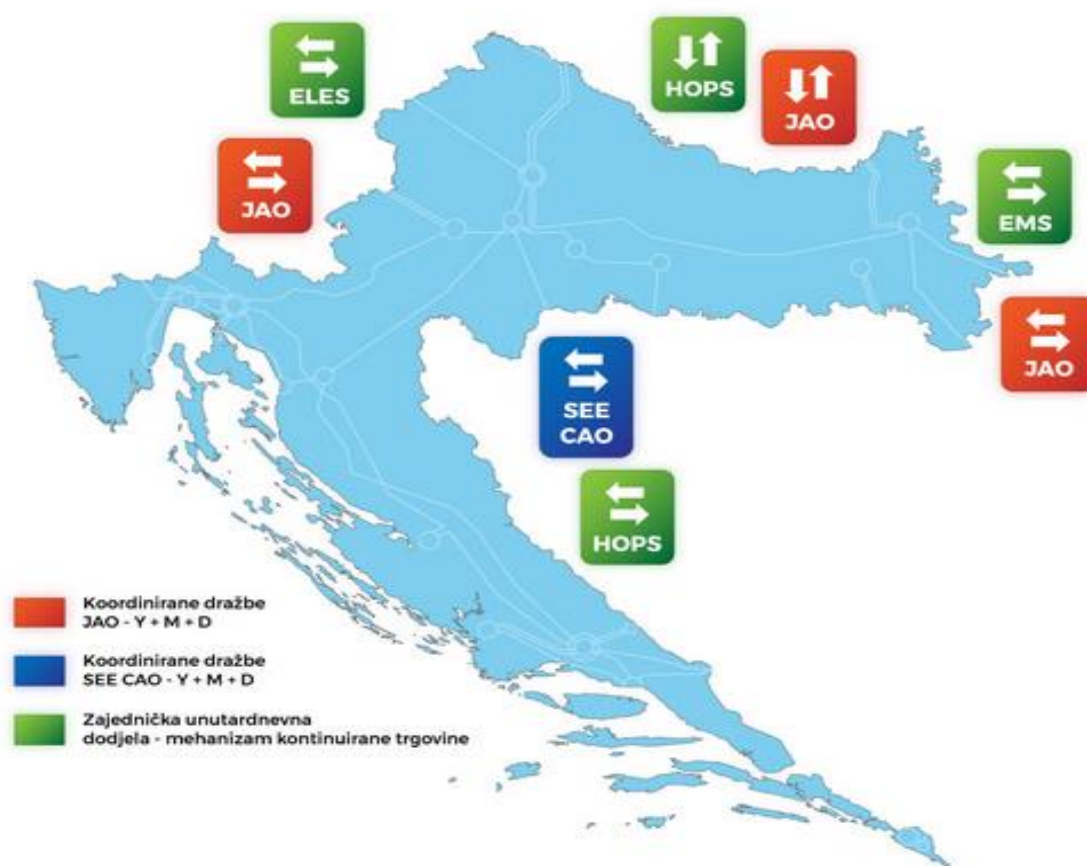
Na slici 2.10. prikazana je neto razmjena prekozonskim trgovanjem električnom energijom po granicama Republike Hrvatske sa susjednim državama u 2017.godini prema iznosima iz ugovornih rasporeda energetske subjekata, pri čemu je vidljivo da je na svim granicama ostvaren uvoz, osim na granici sa Srbijom gdje je ostvaren neto izvoz. U ukupan neto uvoz iz Slovenije uračunata je i električna energija proizvedena u NE Krško od 3,0 TWh. U pogledu unutardnevnog trgovanja, na prekozonskim prijenosnim kapacitetima uvoz u Republiku Hrvatsku iznosio je 782 GWh, a izvoz 902 GWh. Iz toga je vidljivo kako tržišni sudionici na unutardnevnoj razini poduzimaju sve aktivnosti u svrhu uravnoteženja ugovornih rasporeda s očekivanim ostvarenjima proizvodnje i potrošnje.⁶

2.5.1. Dodjela prekozonskih kapaciteta

Na trgovanje električnom energijom i održanje sigurnosti rada elektroenergetskog sustava u tržišnim uvjetima veliko značenje ima određivanje prijenosnih kapaciteta na spojnim dalekovodima između elektroenergetskih sustava susjednih država. Bitni elementi ekonomsko-tehničkog vrednovanja prijenosne mreže su postupci proračuna ukupnih, mrežnih i raspoloživih prijenosnih kapaciteta (TTC, NTC, ATC), poznavanje prijenosnih ograničenja te učinkoviti postupci raspodjele prekograničnih prijenosnih kapaciteta u kratkoročnom i dugoročnom razdoblju.¹⁶

Na granicama hrvatskog elektroenergetskog sustava provode se analize i proračuni prekograničnih prijenosnih kapaciteta u svrhu učinkovitog iskorištenja raspoloživih prijenosnih kapaciteta uz održanje sigurnosti rada hrvatskog elektroenergetskog sustava. Proračun prekograničnih prijenosnih kapaciteta obavlja HOPS u skladu s definicijama i metodologijama iz Pogonskog priručnika Unije za koordinaciju prijenosa električne energije (UCTE), odnosno ENTSO-E regionalne grupe za kontinentalnu Europu, i ostalim aktima ENTSO-E.¹⁶

Iz slike 2.11. vidljivo je da su hrvatske granice sa Slovenijom, Mađarskom i Srbijom uključene u koordinirane dražbe koje se provode u okviru ureda za dodjelu kapaciteta JAO-a. Ovaj Ured je zadužen za održavanje koordiniranih godišnjih, mjesečnih i dnevnih dražbi za dodjelu kapaciteta u oba smjera na navedenim granicama. Na granici s Bosnom i Hercegovinom ured za dodjelu kapaciteta je SEE CAO (engl. Coordinated Auction Office in South East Europe) te održava koordinirane dražbe u SEE (engl. South East Europe) regiji za kapacitete na godišnjoj, mjesečnoj i dnevnoj razini. Dodatno, na granici s Bosnom i Hercegovinom i Mađarskom bilateralnu dodjelu ukupnih unutar dnevnih kapaciteta u oba smjera održava HOPS, dok na granicama sa Slovenijom i Srbijom održavaju slovenski operator prijenosnog sustava (ELES) i srbijanski operator prijenosnog sustava (EMS).⁶



Slika 2.11. Prikaz dodjela koordiniranih dražbi Republike Hrvatske sa susjednim zemljama.¹⁶

Tako se mrežni prekogranični prijenosni kapaciteti u smjeru uvoza i izvoza utvrđuju za sve granice hrvatskog elektroenergetskog sustava. Na internetskim stranicama ENTSO-E objavljuju se indikativne NTC vrijednosti za zimu i ljeto, dok se bilateralne NTC vrijednosti usuglašavaju s operatorima sustava susjednih zemalja.¹⁶

Tablica 2.2. Prosječne zimske i ljetne vrijednosti NTC-a po granicama za 2016. i 2017.⁶

Zimske vrijednosti [MW]					Ljetne vrijednosti [MW]				
Smjer		2016.	2017.	Promjena	Smjer		2016.	2017.	Promjena
BA	→ HR	999	965	-3%	BA	→ HR	851	970	14%
HR	→ BA	814	945	16%	HR	→ BA	786	966	23%
SI	→ HR	1.483	1.483	0%	SI	→ HR	1.500	1.483	-1%
HR	→ SI	1.433	1.483	3%	HR	→ SI	1.457	1.478	1%
RS	→ HR	528	583	10%	RS	→ HR	438	512	17%
HR	→ RS	583	540	-7%	HR	→ RS	546	407	-25%
HU	→ HR	1.200	1.200	0%	HU	→ HR	1.200	1.200	0%
HR	→ HU	1.000	1.000	0%	HR	→ HU	1.000	1.000	0%
Uvoz		4.210	4.231	0%	Uvoz		3.989	4.165	4%
Izvoz		3.830	3.968	4%	Izvoz		3.789	3.851	2%

Tablica 2.2. prikazuje prosječne zimske i ljetne vrijednosti NTC-a za 2016. i 2017. godinu te se ljetne vrijednosti odnose na travanj, svibanj, lipanj, srpanj, kolovoz i rujan, dok se zimske vrijednosti odnose na siječanj, veljaču, ožujak, listopad, studeni i prosinac. U 2017. godini količina ponuđenih kapaciteta na godišnjim dražbama na pojedinim granicama identična je količini kapaciteta ponuđenoj prethodne godine. Iz prethodno prikazane tablice vidljivo je da se više prekozonskih kapaciteta nudi tijekom zimskog perioda u odnosu na ljetno razdoblje. Na granici s Bosnom i Hercegovinom značajno su porasli iznosi NTC-a, a posebno u izvoznom smjeru, dok je na granici sa Srbijom došlo do značajnijeg porasta vrijednosti NTC-a u uvoznom smjeru, a istovremeno je došlo do značajnog pada vrijednosti NTC-a u izvoznom smjeru. Na granicama s Mađarskom i Slovenijom dodijeljeno je najviše kapaciteta, a ujedno su na njima i zabilježeni najveći prihodi HOPS-a. Na kraju, u oba smjera na granici sa Slovenijom tijekom svih mjeseci u 2017. godini nakon dodanih proračuna operatori sustava su stavili na raspolaganje tržišnim sudionicima dodatni kapacitet koji se nudio na dnevnim dražbama.⁶

3. ZAKLJUČAK

Do pred kraj 19. stoljeća bilo je potrebno dopremiti energiju na mjesto korištenja iz tada raspoloživih izvora energije, poput nafte i ugljena, ili se mjesto korištenja energije moralo nalaziti na mjestu dobivanja energije, kao što su vodne snage i vjetar. Otkrićem električne energije omogućilo se iskorištavanje prirodnih oblika energije na najpovoljnijem mjestu, pretvorbu u električni oblik te prijenos u tom obliku do mjesta korištenja. Tako se električna energija s vremenom prometnula u jedan od najvažnijih oblika energije te je i danas sveprisutna u životima ljudi. No, električni oblik nije pogodan za neposredno korištenje, već se mora preoblikovati u koristan oblik, kao što su svjetlost i toplina te mehanički ili kemijski oblik. Budući da u 20. stoljeću dolazi do naglog porasta stanovništva te razvoja industrije, raste i potrošnja električne energije, a to je zahtijevalo razvoj infrastrukture za prijenos i distribuciju električne energije do mjesta korištenja.

Danas hrvatsku prijenosnu mrežu čine dalekovodi napona od 400 kV, 220 kV i 110 kV, dok distribucijsku mrežu čine vodovi naponske razine od 35 kV do 0,4 kV čime se zadovoljava 59 % potreba za električnom energijom iz vlastitih kapaciteta za proizvodnju električne energije koji obuhvaćaju 17 pogona velikih hidroelektrana, od kojih je najveća HE Zakućac na rijeci Cetini instalirane snage 535 MW. HE Zakućac isporučuje oko trećinu ukupne električne energije proizvedene u hidroelektranama. Na području Republike Hrvatske se nalazi i 7 pogona termoelektrana od kojih je najveća TE-TO Sisak sa 631 MW raspoložive snage te veći broj lokacija koji koristi energiju vjetra i Sunca. Također, Republika Hrvatska je u vlasništvu polovine instaliranih kapaciteta u nuklearnoj elektrani Krško koja se nalazi u Republici Sloveniji. Budući da se nuklearna elektrana Krško nalazi na području susjedne države, potrebni su dalekovodi koji će omogućavati razmjenu električne energije preko granica Republike Hrvatske. Tako je Hrvatska interkonekcijski povezana sa zemljama u okruženju, a to su Slovenija, Mađarska, Bosna i Hercegovina te Srbija. U 2017. godini je Hrvatska na svim granicama ostvarila neto uvoz, osim na granici sa Srbijom gdje je ostvaren neto izvoz. Zbog svojeg geografskog položaja, Republika Hrvatska je glavna poveznica između srednje i jugoistočne Europe te predstavlja vrlo važnu tranzitnu zemlju u prijenosu električne energije.

4. LITERATURA

1. Kalea M., Prijenos električne energije, što je to?, Kigen d.o.o, Zagreb, 2006., str. 11.-151.
2. Sutlović I., Energetika, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018., str. 2.-10.
3. <https://www.hops.hr/povijest> (pristup 13. kolovoza 2019.)
4. <http://www.uhbhep.hr/domovinski-rat-i-hep/> (pristup 13. kolovoza 2019.)
5. <https://www.hops.hr/hrvatski-prijenosni-sustav> (pristup 13. kolovoza 2019.)
6. Republika Hrvatska, Hrvatska energetska regulatorna agencija, Godišnje izvješće za 2017. godinu, 2018., Zagreb, str. 1.-100.
7. Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2019.-2028., s detaljnom razradom za početno jednogodišnje i trogodišnje razdoblje, Zagreb, 2018., str. 1.-36.
8. HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Godišnje izvješće 2017., 2018., str. 10.-40.
9. Tešnjak S., Banovac E., Kuzle I., Tržište električne energije, Graphis d.o.o., 2009., str. 1.-210.
10. <https://www.hops.hr/shema-ees-a> (pristup 13. kolovoza 2019.)
11. Šumonja I., Hrvatski operator prijenosnog sustava, Obnovljivi izvori energije u hrvatskom prijenosnom sustavu, Zagreb, 2018., str. 1.-18.
12. <https://www.hops.hr/prijenosna-mreza> (pristup 13. kolovoza 2019.)
13. <https://www.hops.hr/model-vodenja-ees-a> (pristup 14. kolovoza 2019.)
14. Republika Hrvatska, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Energija u Hrvatskoj, Godišnji energetske pregled 2017., 2018., str. 153.-166.
15. <https://www.hops.hr/dijagram-opterecenja-dnevni> (pristup 20. kolovoza 2019.)
16. <https://www.hops.hr/prekogranicni-prijenos> (pristup 21. kolovoza 2019.)