Utjecaj VE na tržišnu cijenu

Dejanović, Dragan

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:178479

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-27**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

UTJECAJ VE NA TRŽIŠNU CIJENU

Diplomski rad

Dragan Dejanović

Osijek, 2019.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. VJETROELEKTRANE 2
   2.1.Pregled trenutnog stanja vjetroelektrana 8
   2.2.Pregled stanja vjetroelektrana u Hrvatskoj 14
3. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV I BURZA ELEKTRIČNE ENERGIJE 22
   3.1. Prijenosna mreža i opterećenje 24
   3.2. CROPEX i Dan unaprijed tržište 27
   3.3. Cijene električne energije na tržištu Dan unaprijed 30
4. SIMULACIJA HRVATSKOG TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE 33
   4.1. Izvođenje simulacije bez vjetroelektrana priključenih na mrežu 38
   4.2.Izvođenje simulacije s priključenim vjetroelektranama na mrežu 44
      4.2.1. Dodanih 17.15 MW vjetroelektrana 45
      4.2.2. Dodanih 339.25 MW vjetroelektrana 48
      4.2.3. Dodanih 572.95 MW vjetroelektrana 51
5. ZAKLJUČAK 57
6. POPIS LITERATURE 58
7. SAŽETAK 59
8. ŽIVOTOPIS 60

1. UVOD

Tema ovog rada je analiza elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske i cijena električne energije na Hrvatskoj burzi električne energije u trenutcima prije i nakon isteka tarifa za povlaštene proizvođače vjetroelektrane. Strukturno se rad sastoji od pet poglavlja. U drugom poglavlju opisan je rad vjetroelektrana, vrste i tipovi vjetroelektrana te je prikazano trenutno stanje vjetroelektrana kako u Hrvatskoj, tako i u svijetu. Prikazan je i razvoj tehnologije i izgradnje vjetroelektrana na kopnu i pučini te su obrađene i sve tarife povlaštenih proizvođača vjetroelektrana. Treće poglavlje je usmjereno na burzu električne energije i tržišta koja postoje na burzi. Najviše pažnje se posvećuje tržištu Dan unaprijed. Četvrto poglavlje sadrži simulaciju u računalnom programu Power World u kojem je modelirana 400 kV mreža hrvatskog elektroenergetskog sustava, napravljen je proračun optimalnih tokova snaga i simulirano je tržište električne energije u Hrvatskoj.

2. VJETROELEKTRANE

Korištenje energije vjetra datira još iz desetog stoljeća gdje se osim za pogon jedrenjaka ta energija rabila i za pokretanje mlinova. U 18. stoljeću se počinje znanstveno pristupati radu vjetrenjača gdje intenzivnim istraživanjima i mjerenjima John Smeaton dolazi do tri osnovna i danas primjenjiva pravila: brzina vrhova lopatica rotora je idealno proporcionalna brzini vjetra, maksimalni moment je proporcionalan kvadratu brzine vjetra i maksimalna snaga je proporcionalna trećoj potenciji brzine vjetra. Ova zadnja tvrdnja lako se dokaže osnovnim matematičkim izrazima preko energije vjetra i njegovog volumena.

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \tag{2-1}$$

E_k predstavlja kinetičku energiju vjetra, m njegovu masu i v brzinu. Ukoliko se masa prikaže kao umnožak gustoće ρ i volumena V, dobivamo sljedeći izraz:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho V v^2 \tag{2-2}$$

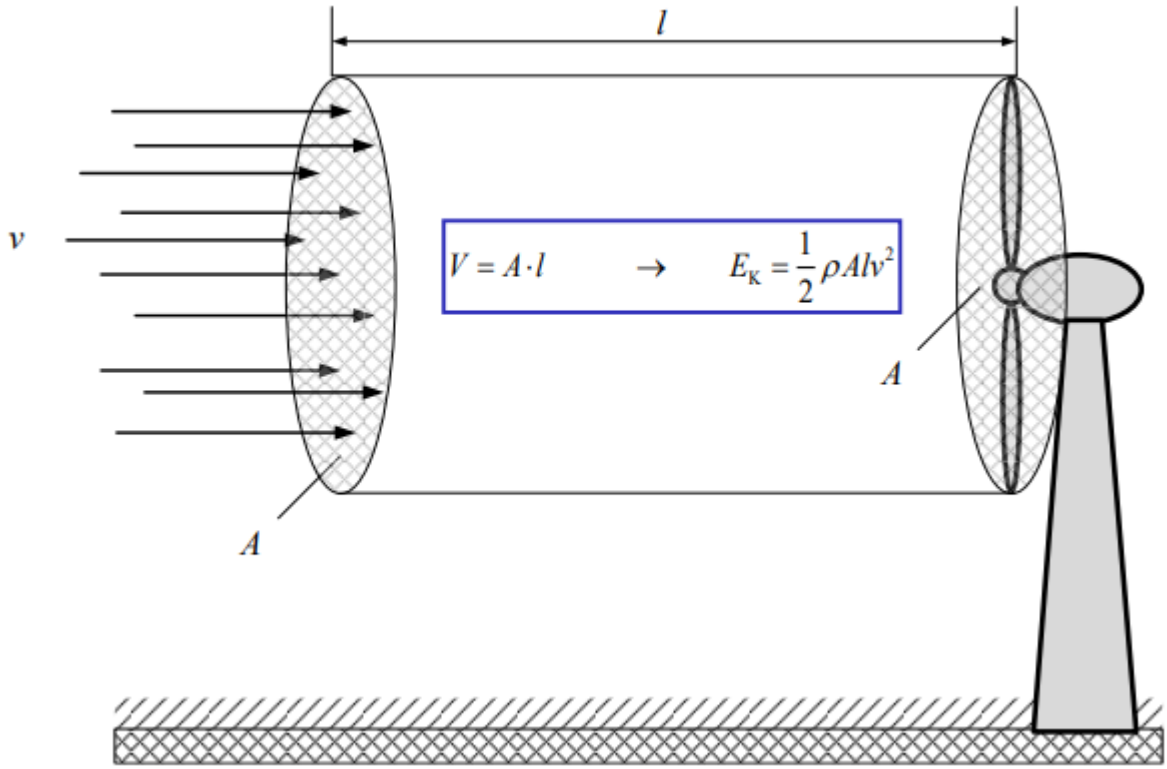
Pošto lopatice pri vrtnji ocrtavaju krug, vjetar koji prilazi ima oblik valjka volumena koji je jednak umnošku površine tog kruga A i udaljenosti l s koje dolazi, vidljivo na slici 2.1. Ubacivanjem izraza za volumen u jednadžbu dobije se izraz

$$E_k = \frac{1}{2} \rho A l v^2 \tag{2-3}$$

Tada teorijska snaga vjetra P_v koji prolazi kroz vjetroturbinu iznosi

$$P_v = \frac{1}{2} \rho A v^3 \tag{2-4}$$

što dokazuje Smeatonovu tvrdnju da je maksimalna snaga proporcionalna trećoj potenciji brzine vjetra.

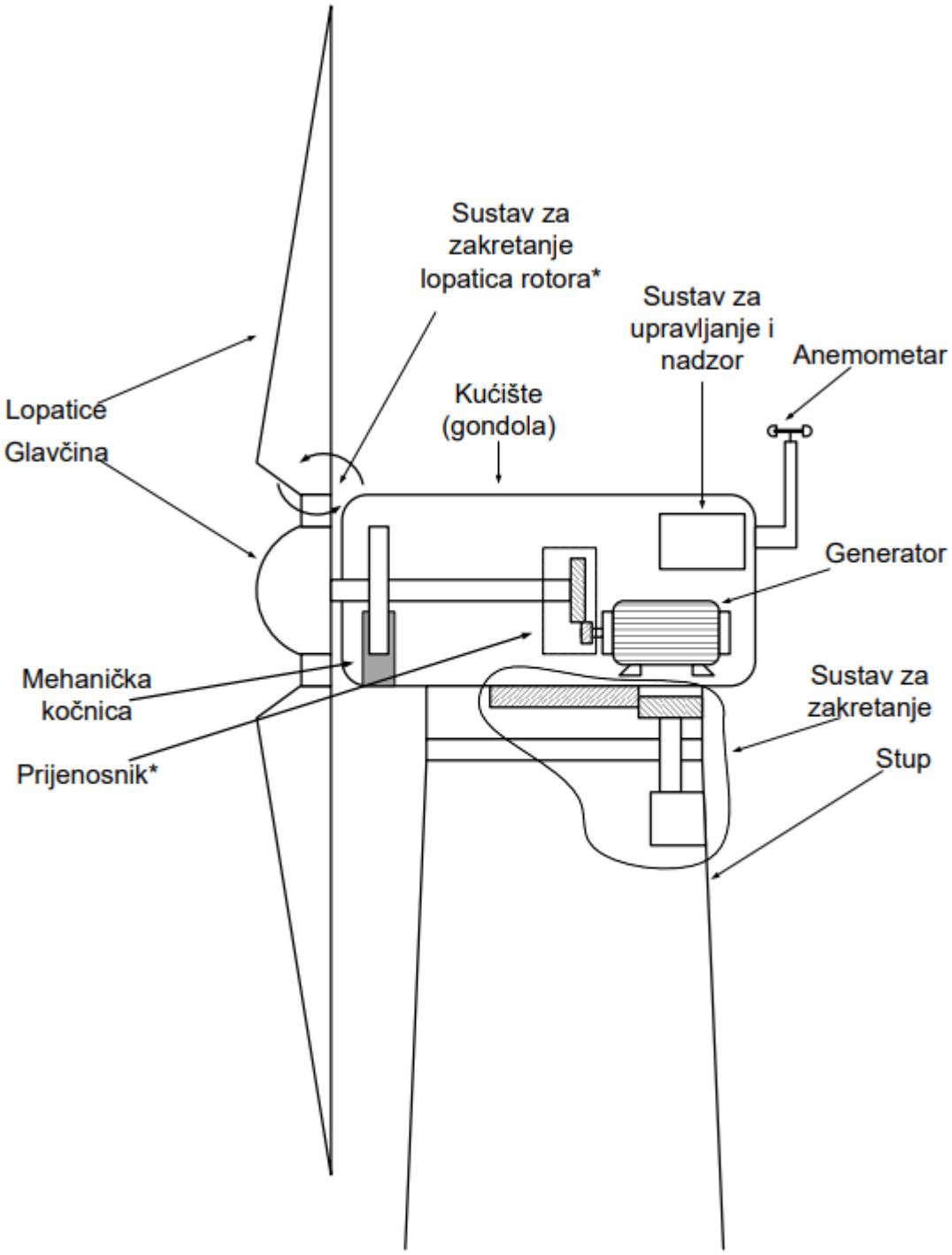


Sl. 2.1. *Dotok vjetra prema lopaticama vjetroelektrane [1]*

1891. godine Danac Poul La Cour konstruira prvu vjetroturbinu. Već 1919. godine Albert Betz izračunao je i dokazao teorijsku iskoristivost energije vjetra. Betzov zakon primjenjiv je na sve Newtonske fluide, a kaže da samo dio kinetičke energije vjetra može biti iskorišten prolaskom kroz turbinu, jer kada bi se sto posto te energije iskoristilo, vjetar bi se prestao kretati nakon prolaska kroz turbinu te time spriječio dolazak novog. Izjednačavanjem izraza za snagu vjetra preko sile i preko kinetičke energije, zahvaljujući zakonu očuvanja energije, te deriviranjem dobivenog izraza Betz je dokazao da je maksimalna teorijska iskoristivost vjetra 16/27, odnosno 0.5926. Vjetrogenerator se sastoji od vjetroturbine koja pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku energiju i vjetroagregata koji tu kinetičku energiju pretvara u električnu. Vjetroelektrane (slika 2.2.) su postrojenja koja se sastoje od jednog ili više vjetrogeneratora i kinetičku energiju vjetra pretvaraju u električnu energiju.

Sl 2.2. *Vjetroelektrana Ravne 1 na otoku Pagu [2]*

Osnovni dijelovi vjetroelektrane su kućište, stup, rotor koji čine lopatice i glavčina, anemometar, generator, sustav za upravljanje i nadzor, mehanička kočnica i sustav za zakretanje (slika 2.3.).

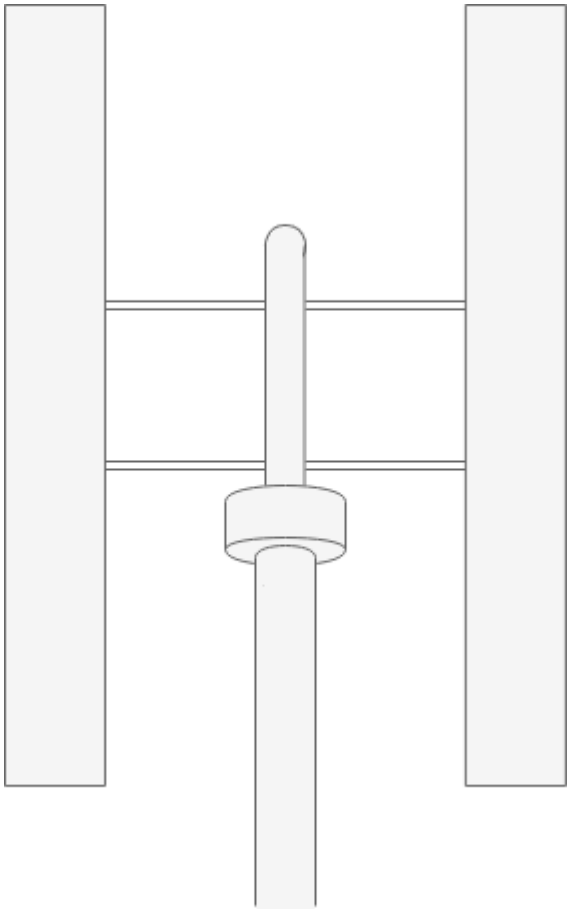


Sl. 2.3. *Osnovni dijelovi vjetroelektrane [1]*

Ovisno o konfiguracijskom tipu neke vjetroelektrane mogu još imati i sustav za zakretanje lopatica i prijenosnik. Rotor može biti izveden na više načina, ovisno o regulaciji snage vjetroturbine.

Regulacija kuta tijekom rada sustavom zakretanja lopatica tako da se profil namješta u optimalni položaj (eng. pitch) je složena i skupe izvedbe, no nužna je za lopatice duže od 25 metara. Druga izvedba rotora je takva da se regulacija vrši korištenjem aerodinamičnog efekta poremećenog trokuta brzina (eng. stall). Promjenom brzine vjetra dolazi do promjene uzgona. Lopatice se ne mogu zakrenuti, ali imaju već unaprijed namješten kut s obzirom na smještaj vjetroelektrane, znajući okvirne brzine vjetra na njenom području. Zadatak kočnice je rasterećenje prijenosnika snage ili u ekstremnim slučajevima zaustavljanje rotora kod prevelike brzine vjetra. Najčešća izvedba je disk kočnica upravljana mikroprocesorski. Prijenosnik snage povećava brzinu vrtnje rotora na brzinu nužnu za stvaranje električne energije i u većini slučajeva je multiplikator. Stupanj iskoristivosti mu je iznimno velik, a prijenosnik nije potreban u slučaju da je generator višepolni niskobrzinski. Generator mora imati visok stupanj iskoristivosti, mora biti izdržljiv na povećanim brojevima okretaja i visokim dinamičkim opterećenjima te mora biti pouzdan sa što je manje moguće održavanja.

Vjetroelektrane se mogu podijeliti prema snazi, osi vrtnje, vrsti generatora, lokaciji i brzini vrtnje. S obzirom na snagu postoje male, srednje, velike i kao posebna skupina velikih vjetroelektrana na pučini. Male vjetroelektrane imaju nazivnu snagu manju od 20 kW, nalaze se u izoliranim mjestima i koriste se za opskrbu kućanstva. Srednje vjetroelektrane imaju nazivnu snagu između 20 i 200 kW. Velike vjetroelektrane su snage veće od 200 kW, a manje od 5000 kW i koriste se u komercijalne svrhe, obično se nalaze u grupi i proizvode se u serijama. Vjetroelektrane koje se nalaze na pučini su puno veće od kopnenih, imaju veću instaliranu snagu (do 8000 kW) te se obično prijenos dobivene energije odvija visokonaponskom istosmjernom strujom (engl. High-voltage direct current - HVDC). Položaj osovine određuje os vrtnje. Kod vjetroelektrana s okomitom osi vrtnje (engl. Vertical Axis Wind Turbines - VAWT) osovina se nalazi u okomitom položaju. One mogu iskoristiti vjetar iz različitih smjerova i generator im može biti smješten blizu tla. Najpoznatiji tipovi vjetroelektrana s okomitom osi vrtnje su Darrieusov tip, spiralni tip, H – tip (slika 2.4.) i drugi.

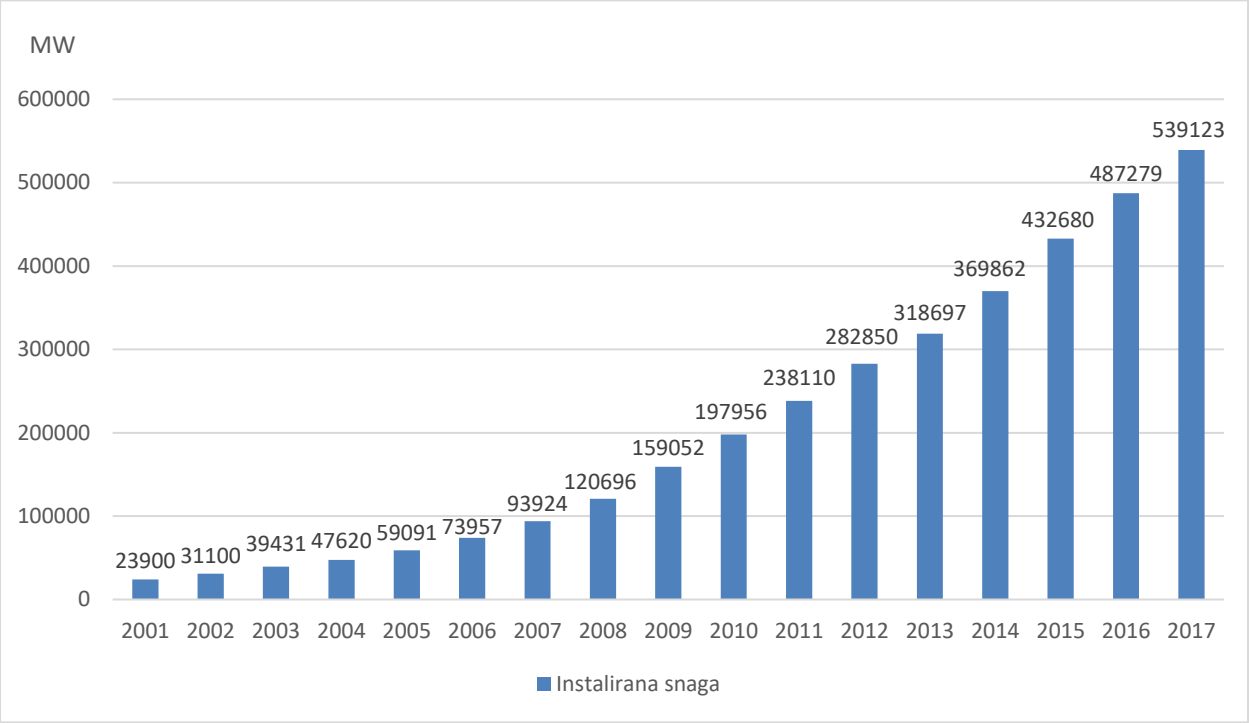


Sl. 2.4. *H - tip vjetroelektrane*

Vjetroelektrane s vodoravnom osi vrtnje (engl. Horizontal Axis Wind Turbines – HAWT) imaju osovinu u vodoravnom položaju i razlikuju se po broju lopatica, nalaze li se uz vjetar ili niz vjetar, načinu zakretanja kućišta te prema tome ima li rotor difuzor ili ne. Od osamdesetih godina dvadesetog stoljeća većina komercijalnih vjetroelektrana spada u ovu skupinu. Vjetroturbine s jednom, dvije, tri ili četiri lopatice se koriste za generiranje električne energije, dok se turbine s dvadeset ili više lopatica koriste za mehaničko pumpanje vode. Vjetroturbine s malim brojem lopatica imaju veći omjer brzine vrha lopatice i vjetra. HAWT su učinkovitije i ne trebaju dodatni pogon za pokretanje, no skupe su za instalaciju i imaju poteškoća s radom na manjim visinama. Trenutno vjetroturbine s vodoravnom osi vrtnje s tri lopatice (slika 2.2.) dominiraju tržištem zbog smanjenog zvučnog zagađenja i estetičnog izgleda.

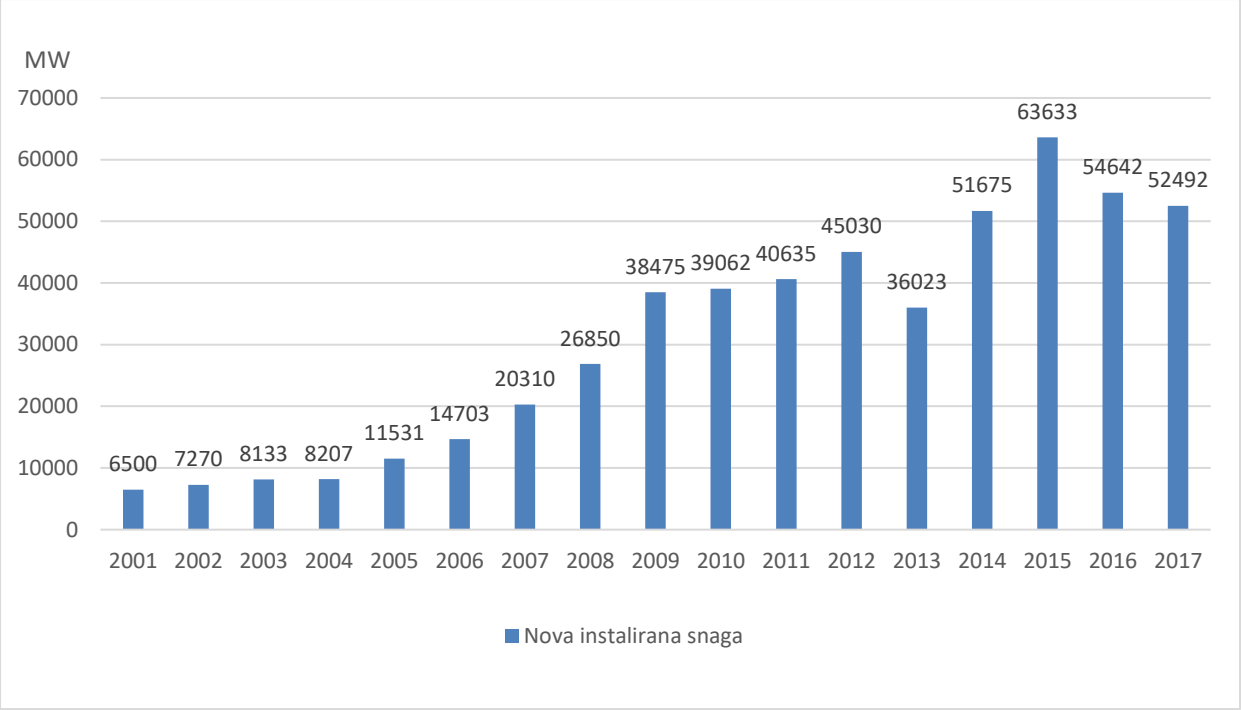
2.1. Pregled trenutnog stanja vjetroelektrana

Krajem dvadesetog stoljeća ekološki aspekt proizvodnje električne energije počinje se sve ozbiljnije shvaćati. Protokol iz Kyota otvoren je za potpisivanje 1997. godine, a stupa na snagu 2005. godine nakon potpisa Rusije. Protokol nalaže smanjenje emisije šest stakleničkih plinova i direktno utječe na poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, samim time i vjetroelektrana. Prema Globalnom vijeću za energiju vjetra 2001. godine ukupna instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu iznosila je 23900 MW, no onda počinje strelovit rast najviše zbog državnih i sličnih poticaja i razvoja tehnologije uzrokovanog tim poticajima (slika 2.5) [3].



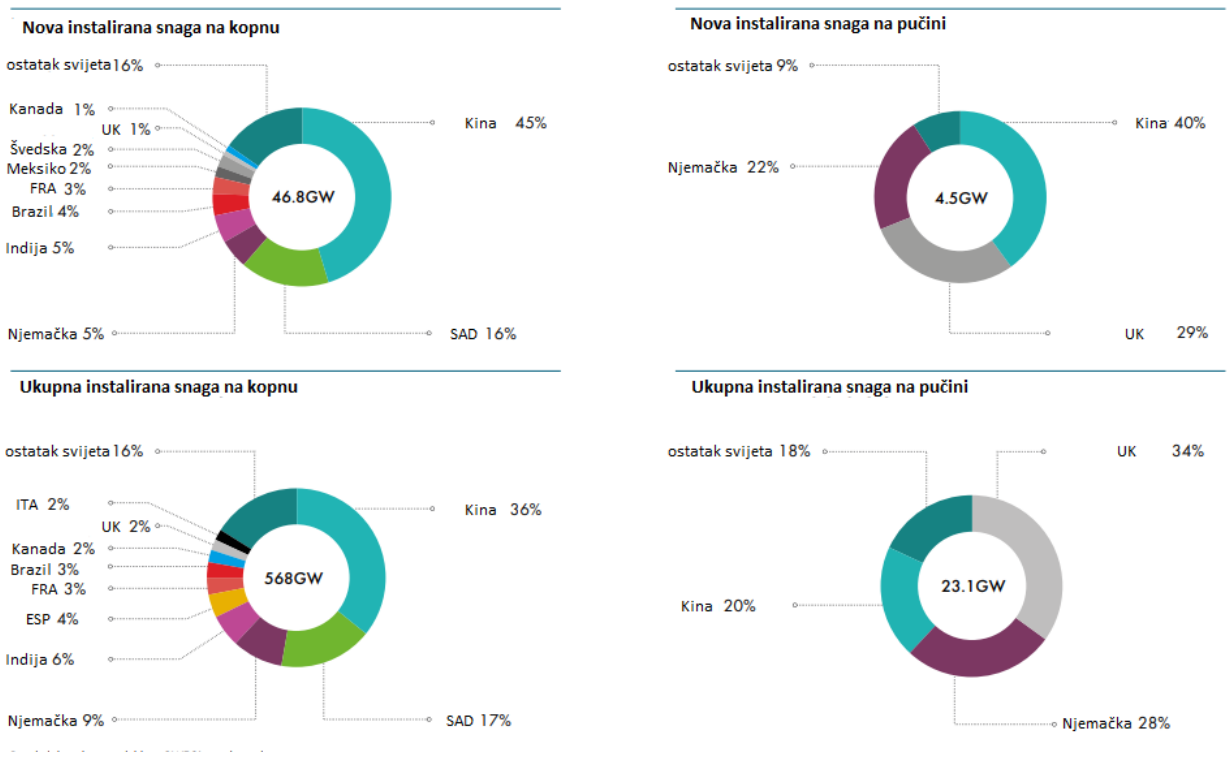
Sl. 2.5. *Kumulativna instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu [3]*

Slika 2.6. prikazuje godišnju instaliranu snagu novo sagrađenih vjetroelektrana u svijetu od 2001 do 2017.



Sl. 2.6. *Godišnja instalirana snaga novih vjetroelektrana u svijetu [3]*

2018. godine instalirano je novih 51.3 GW vjetroelektrana u svijetu, maleni pad od 4% u odnosu na 2017. godinu, učinivši ukupnu instaliranu snagu 591 GW. Najviše novih vjetroelektrana na kopnu su izgradili Kina i SAD sa 21.2, odnosno 7.6 novih GW. U Europi ta brojka iznosi 9 GW, što predstavlja pad od 32% u odnosu na 2017. godinu. Može se primijetiti lagani pad u izgradnji novih vjetroelektrana globalno, no prema [3] očekuje se izgradnja od minimalno 55 GW novih vjetroelektrana svake godine do 2023., ponajviše zbog razvoja na tržištima u Africi, Južnoj Americi, Jugoistočnoj Aziji i na Bliskom istoku. Na slici 2.7. u gornjem dijelu prikazane su nove instalirane snage vjetroelektrana vodećih zemalja izražene u postotku u 2018. godini na kopnu (lijevo) i na pučini (desno). U donjem dijelu slike 2.7. prikazane su ukupne instalirane snage vjetroelektrana vodećih zemalja na kopnu i na pučini. Vidimo da Kina predvodi u instaliranju novih vjetroelektrana, kao i ukupnoj instaliranoj snazi. Također vidimo da instalirana snaga vjetroelektrana na pučini iznosi samo 4% ukupne instalirane snage, ali je 2018. godine od ukupne nove instalirane snage čak 8.77% izgrađeno na pučini.



Sl. 2.7. *Instalirane snage na kopnu i pučini za 2018. godinu [3]*

Brazil je u 2017. i 2018. godini instalirao 4 GW snage kopnenih vjetroelektrana, prestigavši tako Kanadu u ukupnoj instaliranoj snazi na kopnu. Azija je, zahvaljujući Kini, kontinent s najviše instalirane snage vjetroelektrana na kopnu, s ukupno preko 256 GW. Afrika zaostaje za ostalim kontinentima sa samo 5.72 GW instalirane snage na kopnu (slika 2.8).

MW na kopnu	Novo instalirano 2017	Ukupno instalirano 2017	Novo instalirano 2018	Ukupno instalirano 2018
Ukupno na kopnu	48,996	521,774	46,820	568,409
Amerike	**10,572**	**123,091**	**11,940**	**135,041**
SAD	7,017	89,047	7,588	96,635
Kanada	341	12,240	566	12,816
Brazil	2,027	12,769	1,939	14,707
Meksiko	478	4,006	929	4,935
Argentina	24	228	494	722
Čile	269	1,418	204	1,621
Ostale države	416	3,383	220	3,605
Afrika i Bliski istok	**632**	**4,758**	**962**	**5,720**
Egipat	0	810	380	1,190
Kenija	0	26	310	336
JAR	618	2,085	0	2,085
Ostale države	14	1,837	272	2,109
Azija i Pacifik	**23,927**	**231,419**	**24,902**	**256,320**
Kina	18,499	185,604	21,200	206,804
Indija	4,148	32,938	2,191	35,129
Australija	501	4,813	549	5,362
Pakistan	199	789	400	1,189
Japan	170	3,399	262	3,661
Južna Koreja	103	1,102	127	1,229
Vijetnam	38	197	32	228
Filipini	0	427	0	427
Tailand	218	648	0	648
Ostale države	51	1,502	141	1,643
Europa	**13,865**	**162,506**	**9,016**	**171,328**
Njemačka	5,334	50,779	2,402	53,180
Francuska	1,692	13,757	1,563	15,307
Švedska	197	6,499	717	7,216
UK	2,641	12,412	589	13,001
Turska	766	6,872	497	7,370
Ostale države	3,235	72,187	3,248	75,435

Sl. 2.8. *Instalirana snaga vjetroelektrana na kopnu po kontinentu [3]*

Što se tiče vjetroelektrana na pučini, Ujedinjeno Kraljevstvo najviše ulaže u razvoj s novo instalirana 3 GW u 2017. i 2018. godini. UK također ima i najviše instalirane snage na pučini na svijetu, sa skoro 8 GW. Kina također puno ulaže i gradi pa su tako sagradili najviše novih vjetroelektrana na pučini u

2018. godini. Osim Europe i Azije, vjetroelektrane na pučini ima još samo SAD, i to samo 30 MW snage (slika 2.9).

MW na pučini	Novo instalirano 2017	Ukupno instalirano 2017	Novo instalirano 2018	Ukupno instalirano 2018
Ukupno na pučini	4,472	18,658	4,496	23,140
Europa	**3,196**	**15,630**	**2,661**	**18,278**
UK	1,715	6,651	1,312	7,963
Germany	1,253	5,411	969	6,380
Belgija	165	877	309	1,186
Danska	0	1,268	61	1,329
Nizozemska	0	1,118	0	1,118
Ostale države	63	305	0	302
Azija i Pacifik	**1,276**	**2,998**	**1,835**	**4,832**
Kina	1,161	2,788	1,800	4,588
Južna Koreja	3	38	35	73
Ostale države	112	172	0	171
Amerike	**0**	**30**	**0**	**30**
SAD	0	30	0	30

Sl. 2.9. *Instalirana snaga vjetroelektrana na pučini po kontinentu [3]*

Razlog tolike razlike u instaliranoj snazi na kopnu i na pučini je velika disproporcija u aktualiziranom trošku proizvodnje električne energije (eng. LCOE – levelised cost of electricity). Dubravko Sabolić tvrdi da „LCOE predstavlja sveukupne troškove izgradnje i pogonu proizvodnog objekta kroz njegov pretpostavljeni financijski i radni vijek, svedene (diskontirane) na današnje vrijeme, i izražene u obliku jednakih godišnjih iznosa u konstantnoj valuti (dolaru, euru…) na današnji dan (čime se eliminira učinak inflacije)“ [4]. LCOE služi kao dosljedna mjera za usporedbu različitih metoda proizvodnje električne energije. Također je i dobar pokazatelj napretka tehnologije izgradnje vjetroelektrana i samog ekonomskog aspekta izgradnje, a definira se i formulom (2-5) [5],

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}} \qquad (2\text{-}5)$$

gdje je:

I_t = troškovi investicije u godini *t*,

M_t = troškovi održavanja i pogonski troškovi u godini *t*,

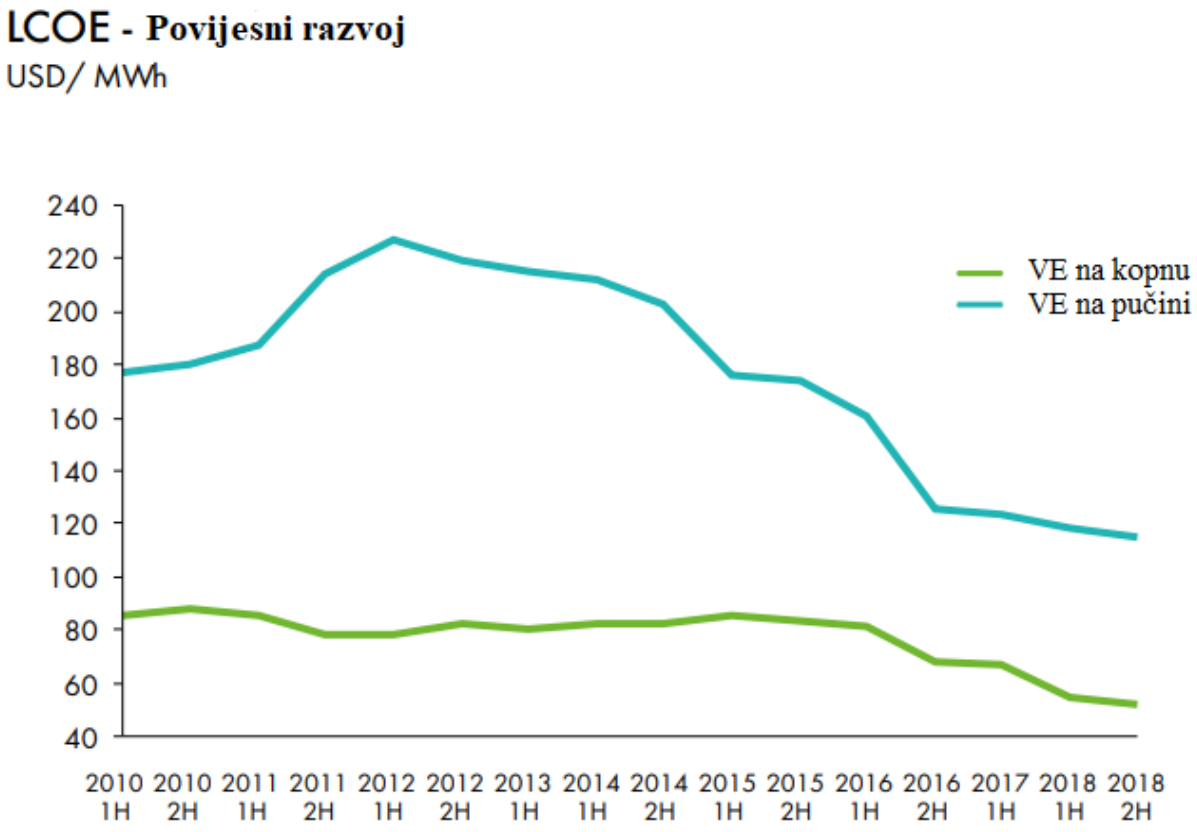
F_t = troškovi goriva u godini *t* (iznose 0 kod vjetroelektrana),

E_t = proizvedena energija u godini *t*

r = diskontna stopa

n = financijski vijek proračuna.

Slika 2.10. prikazuje LCOE vjetroelektrana na pučini i na kopnu kroz razdoblje od devet godina. Osim što je vidljiva razlika od preko 100% cijene po MWh u korist kopnenih vjetroelektrana, također je vidljivo smanjenje troška izgradnje po MWh, što predstavlja napredak tehnologije, logistike i iskustva kod izgradnje i instalacije.



Sl. 2.10. *Povijesni razvoj LCOE vjetroelektrana [3]*

2.2. Pregled stanja vjetroelektrana u Hrvatskoj

2007. godine Vlada Republike Hrvatske donosi prvi Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (u daljnjem tekstu: Tarifni sustav). Tarifni sustav definira tarifne stavke i visinu tarifnih stavki za energiju proizvedenu iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, među kojima su i vjetroelektrane. Članak 4. Tarifnog sustava definirao je tarifu od 0.64 kn/kWh isporučene energije za vjetroelektrane instalirane električne snage do uključivo 1 MW i tarifu od 0.65 kn/kWh isporučene energije za vjetroelektrane s instaliranom snagom većom od 1 MW. [6]

2012. godine usvojen je novi Tarifni sustav prema kojem je tarifa iznosila 0.72 kn/kWh isporučene energije za vjetroelektrane instalirane električne snage do uključivo 1 MW te 0.71 kn/kWh isporučene energije za vjetroelektrane s instaliranom snagom većom od 1 MW. [6]

Konačno, 2013. donesen je Tarifni sustav koji uvodi model prema kojem se računa tarifa za otkup električne energije proizvedene iz vjetroelektrana: Članak 3. stavka 2. točka 16. glasi: „referentna cijena električne energije (u daljnjem tekstu: RC) – cijena jednaka iznosu važeće tarifne stavke za radnu energiju po jedinstvenoj dnevnoj tarifi za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge, tarifni model Plavi čiji je iznos određen člankom 39. stavkom 2. točkom 1. Metodologijom za određivanje iznosa tarifnih stavki za opskrbu električnom energijom u okviru univerzalne usluge (*Narodne novine,* broj 116/2013), sukladno kojoj su opskrbljivači dužni otkupiti električnu energiju iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije od operatora tržišta.“ [6]

„ Za sva proizvodna postrojenja za koja je definirana poticajna cijena u iznosu RC-a, a za svako obračunsko razdoblje isplate poticaja isplaćivat će se trenutno važeći iznos RC. RC iz stavka 5. ovoga članka predstavlja važeći RC u trenutku sklapanja ugovora o otkupu električne energije i mijenja se sukladno metodologiji iz članka 3. stavka 2. točke 16. ovoga Tarifnog sustava.“ [6]

Tab 2.1. *Tarifne stavke u trenutku donošenja tarifnih sustava*

Godina	**Visina tarifne stavke (kn/kWh)**
2007.	0.65

2012.	0.71
2013.	0.53

Tarifni sustav osmišljen je kao poticaj inače neisplativoj izgradnji vjetroelektrana. Iznimno povoljne cijene pri prodaji energije proizvođača iz vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj do 2013. godine (tablica 2.1.) iznosile su više od prosječnog LCOEa, što znači da je izgradnja vjetroelektrana investitorima bila ekonomski isplativa. Time su privučeni strani ulagači, ali je i potaknut domaći razvoj tehnologije na području vjetroelektrana (Končar).

„Od početka uspostave sustava poticanja (1. srpanj 2007.) do 31. prosinca 2013. godine 676 ugovora je stupilo na snagu, što znači da je za 676 povlaštenih proizvođača HROTE isplaćivao poticajnu cijenu za proizvedenu električnu energiju: prema Tarifnom sustavu (NN broj: 33/07) za 178 povlaštena proizvođača i prema Tarifnom sustavu (NN broj: 63/12, 121/12 i 144/12) za 498 povlaštena proizvođača“ [6]. Od navedenih 676 povlaštenih proizvođača njih 14 bile su vjetroelektrane ukupne instalirane snage preko 250 MW, koje su sve bile prema Tarifnom sustavu NN broj: 33/07, vidljivo na slici 2.11.

Vjetroelektrane > 1MW		
Adria Wind Power d.o.o.	Mala vjetroelektrana "Ravna 1"	5.950,00
Vjetroelektrana Trtar-Krtolin d.o.o.	Vjetroelektrana Trtar-Krtolin	11.200,00
VJETROELEKTRANA ORLICE d.o.o.	Vjetroelektrana Orlice	9.600,00
Selan d.o.o.	Vjetroelektrana Vrataruša	42.000,00
VELIKA POPINA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD6	9.000,00
VJETROELEKTRANA CRNO BRDO d.o.o.	Vjetroelektrana Crno Brdo	10.000,00
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD2	18.000,00
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD3	18.000,00
KONČAR-OBNOVLJIVI IZVORI d.o.o.	Vjetroelektrana Pometeno brdo	17.500,00
VJETROELEKTRANA PONIKVE d.o.o.	Vjetroelektrana Ponikve	34.000,00
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-2	20.000,00
E.H.N., d.o.o.	VJETROELEKTRANA JELINAK	30.000,00
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-1	20.000,00
EKO ZADAR DVA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD4	9.000,00
Ukupno instalirana snaga		**254.250,00**

Sl. 2.11. *Povlašteni proizvođači vjetroelektrane 2013. godine [6]*

Za 2014. godinu HROTE [6] u izvještaju navodi da je „iz 16 vjetroelektrana ukupne snage 339.25 MW, proizvedeno je 729 970 499 kWh što je iznosilo 78.55% od ukupne proizvodnje iz obnovljivih izvora i kogeneracije i za što je povlaštenim proizvođačima isplaćeno 527 623 966.86 kn poticaja.“ Iz slika 2.11. i 2.12. se može primijetiti da su u 2014. godini ostale iste vjetroelektrane uz dvije prinove u vidu Vjetroelektrane Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh te Vjetroelektrane Zelengrad-Obrovac koje su ugovorene prema Tarifnom sustavu NN 63/12.

Vjetroelektrane			
Adria Wind Power d.o.o.	Mala vjetroelektrana "Ravna 1"	5.950,00	NN 33/07
Vjetroelektrana Trtar-Krtolin d.o.o.	Vjetroelektrana Trtar-Krtolin	11.200,00	NN 33/07
VJETROELEKTRANA ORLICE d.o.o.	Vjetroelektrana Orlice	9.600,00	NN 33/07
Selan d.o.o.	Vjetroelektrana Vrataruša	42.000,00	NN 33/07
VELIKA POPINA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD6	9.000,00	NN 33/07
VJETROELEKTRANA CRNO BRDO d.o.o.	Vjetroelektrana Crno Brdo	10.000,00	NN 33/07
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD2	18.000,00	NN 33/07
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD3	18.000,00	NN 33/07
KONČAR-OBNOVLJIVI IZVORI d.o.o.	Vjetroelektrana Pometeno brdo	17.500,00	NN 33/07
VJETROELEKTRANA PONIKVE d.o.o.	Vjetroelektrana Ponikve	34.000,00	NN 33/07
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-2	20.000,00	NN 33/07
VJETROELEKTRANA JELINAK d.o.o.	VJETROELEKTRANA JELINAK	30.000,00	NN 33/07
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-1	20.000,00	NN 33/07
EKO ZADAR DVA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD4	9.000,00	NN 33/07
RP GLOBAL DANILO d.o.o.	Vjetroelektrana Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh	43.000,00	NN 63/12
EKO - ENERGIJA d.o.o.	Vjetroelektrana Zelengrad-Obrovac 99 MW	42.000,00	NN 63/12
Ukupno instalirana snaga		339.250,00	**Ukupan broj postrojenja:** **16**

Sl. 2.12. *Povlašteni proizvođači vjetroelektrane 2014. godine [6]*

2015. godine u statusu povlaštenih proizvođača ostale su sve vjetroelektrane kao i prethodne godine uz dodatak Vjetroelektrane Ogorje Tarifnog sustava NN 63/12 i rekonstruirane vjetroelektrane Pometeno brdo Tarifnog sustava NN 133/13. Ukupna instalirana snaga iznosila je 383.75 MW (slika 2.13).

Vjetroelektrane				
Adria Wind Power d.o.o.	Mala vjetroelektrana "Ravna 1"	5.950	NN 33/07	
Vjetroelektrana Trtar-Krtolin d.o.o.	Vjetroelektrana Trtar-Krtolin	11.200	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA ORLICE d.o.o.	Vjetroelektrana Orlice	9.600	NN 33/07	
Selan d.o.o.	Vjetroelektrana Vrataruša	42.000	NN 33/07	
VELIKA POPINA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD6	9.000	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA CRNO BRDO d.o.o.	Vjetroelektrana Crno Brdo	10.000	NN 33/07	
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD2	18.000	NN 33/07	
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD3	18.000	NN 33/07	
KONČAR-OBNOVLJIVI IZVORI d.o.o.	Vjetroelektrana Pometeno brdo	17.500	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA PONIKVE d.o.o.	Vjetroelektrana Ponikve	34.000	NN 33/07	
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-2	20.000	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA JELINAK d.o.o.	VJETROELEKTRANA JELINAK	30.000	NN 33/07	
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-1	20.000	NN 33/07	
EKO ZADAR DVA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD4	9.000	NN 33/07	
RP GLOBAL DANILO d.o.o.	Vjetroelektrana Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh	43.000	NN 63/12	
EKO - ENERGIJA d.o.o.	Vjetroelektrana Zelengrad-Obrovac 99 MW	42.000	NN 63/12	
AIOLOS PROJEKT d.o.o.	Vjetroelektrana Ogorje	42.000	NN 63/12	
KONČAR – OBNOVLJIVI IZVORI d.o.o.	Rekonstrukcija vjetroelektrane Pometeno brdo	2.500	NN 133/13	
Ukupno instalirana snaga		**383.750**	**Ukupan broj postrojenja:**	**18**

Sl 2.13. *Povlašteni proizvođači vjetroelektrane 2015. godine [6]*

Godišnji izvještaj za 2016. godinu za sustav poticanja obnovljivih izvora energije i kogeneracije u RH ponovno daje uvid u vjetroelektrane sa statusom povlaštenog proizvođača, ponovno su tu dvije promjene: Mala vjetroelektrana „Ravna 1“ raskinula je ugovor, a Vjetroelektrana Rudine Tarifnog sustava NN 63/12 ostvarila je prava povlaštenog proizvođača (slika 2.14.).

Vjetroelektrane				
VJETROELEKTRANA TRTAR-KRTOLIN D.O.O.	VJETROELEKTRANA TRTAR-KRTOLIN	11.200,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA ORLICE D.O.O.	VJETROELEKTRANA ORLICE	9.600,00	NN 33/07	
SELAN D.O.O.	VJETROELEKTRANA VRATARUŠA	42.000,00	NN 33/07	
VELIKA POPINA D.O.O.	VJETROELEKTRANA ZD6	9.000,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA CRNO BRDO D.O.O.	VJETROELEKTRANA CRNO BRDO	10.000,00	NN 33/07	
EKO D.O.O.	VJETROELEKTRANA ZD2	18.000,00	NN 33/07	
EKO D.O.O.	VJETROELEKTRANA ZD3	18.000,00	NN 33/07	
KONČAR-OBNOVLJIVI IZVORI D.O.O.	VJETROELEKTRANA POMETENO BRDO	17.500,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA PONIKVE D.O.O.	VJETROELEKTRANA PONIKVE	34.000,00	NN 33/07	
OŠTRA STINA D.O.O.	VJETROELEKTRANA ST1-2	20.000,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA JELINAK D.O.O.	VJETROELEKTRANA JELINAK	30.000,00	NN 33/07	
OŠTRA STINA D.O.O.	VJETROELEKTRANA ST1-1	20.000,00	NN 33/07	
EKO ZADAR DVA D.O.O.	VJETROELEKTRANA ZD4	9.000,00	NN 33/07	
RP GLOBAL DANILO D.O.O.	VJETROELEKTRANA VELIKA GLAVA, BUBRIG I CRNI VRH	43.000,00	NN 63/12	
EKO - ENERGIJA D.O.O.	VJETROELEKTRANA ZELENGRAD-OBROVAC 99 MW	42.000,00	NN 63/12	
AIOLOS PROJEKT D.O.O.	VJETROELEKTRANA OGORJE	42.000,00	NN 63/12	
VJETROELEKTRANA RUDINE D.O.O.	VJETROELEKTRANA RUDINE	34.200,00	NN 63/12	
KONČAR – OBNOVLJIVI IZVORI D.O.O.	REKONSTRUKCIJA VJETROELEKTRANE POMETENO BRDO	2.500,00	NN 133/13	
Ukupno instalirana snaga		**412.000,00**	**Ukupan broj postrojenja:**	**18**

Sl. 2.14. *Povlašteni proizvođači vjetroelektrane 2016. godine [6]*

2017. godine status povlaštenog proizvođača zadržavaju sve vjetroelektrane kao i prethodne godine, uz dodatak od tri elektrane: Vjetroelektrane Glunča instalirane snage 23 MW, Vjetroelektrane Katuni instalirane snage 39 MW i Vjetroelektrane proširenje ZD 6 instalirane snage 45 MW. Ukupan broj postrojenja povećao se na 21, a instalirana snaga za čak 107 MW, što je vidljivo na slici 2.15.

Vjetroelektrane				
Vjetroelektrana Trtar-Krtolin d.o.o.	Vjetroelektrana Trtar-Krtolin	11.200,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA ORLICE d.o.o.	Vjetroelektrana Orlice	9.600,00	NN 33/07	
Selan d.o.o.	Vjetroelektrana Vrataruša	42.000,00	NN 33/07	
VELIKA POPINA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD6	9.000,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA CRNO BRDO d.o.o.	Vjetroelektrana Crno Brdo	10.000,00	NN 33/07	
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD2	18.000,00	NN 33/07	
EKO d.o.o.	Vjetroelektrana ZD3	18.000,00	NN 33/07	
KONČAR-OBNOVLJIVI IZVORI d.o.o.	Vjetroelektrana Pometeno brdo	17.500,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA PONIKVE d.o.o.	Vjetroelektrana Ponikve	34.000,00	NN 33/07	
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-2	20.000,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANA JELINAK d.o.o.	VJETROELEKTRANA JELINAK	30.000,00	NN 33/07	
OŠTRA STINA d.o.o.	Vjetroelektrana ST1-1	20.000,00	NN 33/07	
EKO ZADAR DVA d.o.o.	Vjetroelektrana ZD4	9.000,00	NN 33/07	
VJETROELEKTRANE GLUNČA d.o.o.	Vjetroelektrana Glunča	23.000,00	NN 33/07	
RP GLOBAL DANILO d.o.o.	Vjetroelektrana Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh	43.000,00	NN 63/12	
EKO - ENERGIJA d.o.o.	Vjetroelektrana Zelengrad-Obrovac 99 MW	42.000,00	NN 63/12	
AIOLOS PROJEKT d.o.o.	Vjetroelektrana Ogorje	42.000,00	NN 63/12	
VJETROELEKTRANA RUDINE d.o.o.	Vjetroelektrana Rudine	34.200,00	NN 63/12	
VJETROELEKTRANA KATUNI d.o.o.	Vjetroelektrana Katuni	39.000,00	NN 63/12	
KONČAR – OBNOVLJIVI IZVORI d.o.o.	Rekonstrukcija vjetroelektrane Pometeno brdo	2.500,00	NN 133/13	
POŠTAK d.o.o.	Vjetroelektrana proširenje ZD6	45.000,00	NN 63/12	
Ukupno instalirana snaga		**519.000,00**	**Ukupan broj postrojenja:**	**21**

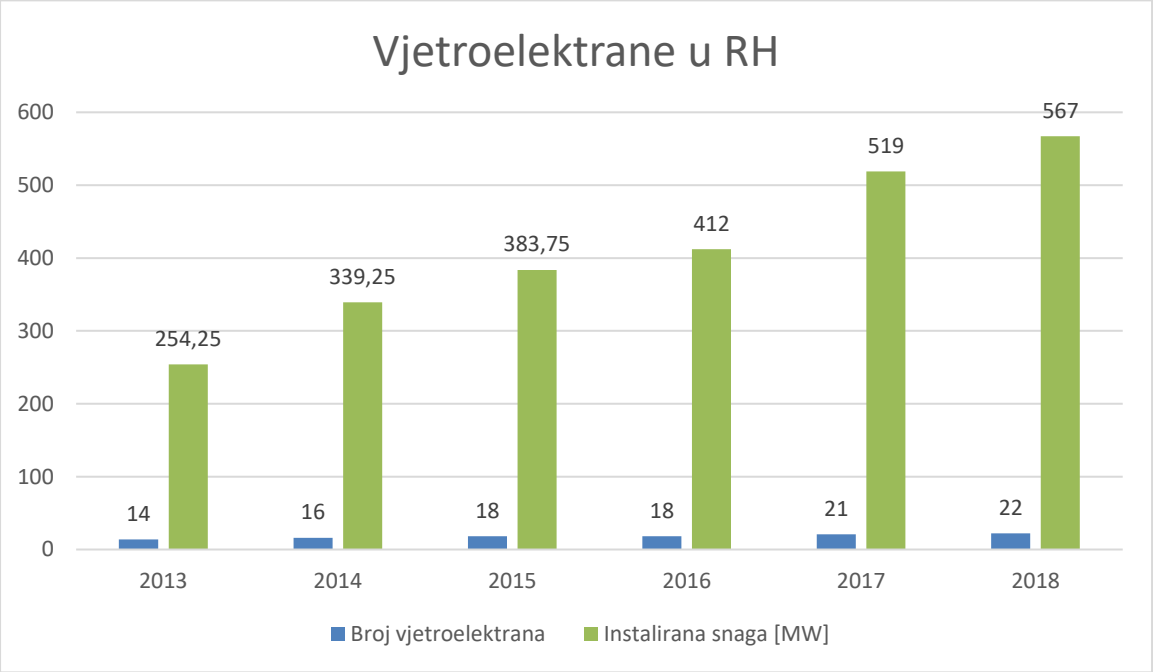
Slika 2.15. *Povlašteni proizvođači vjetroelektrane 2017. godine [6]*

U svibnju 2018. godine s radom je počela Vjetroelektrana Lukovac instalirane snage 48 MW ugovorena Tarifnim sustavom NN 63/12, povećavši time ukupnu instaliranu snagu na 567 MW. 21.11.2018. istekao je ugovor Vjetroelektrane Trtar-Krtolin instalirane snage 11.2 MW. Tablica 2.2. prikazuje sve vjetroelektrane koje su u razdoblju od 2013. do 2018. imale status povlaštenog proizvođača električne energije, njihovu instaliranu snagu, godinu početka ugovora te godinu isteka ugovora, za koju je uzeta prva godina u kojoj nisu primale naknadu za povlaštenog proizvođača, grafički prikazano na slici 2.16.

Tab 2.2. *Povlašteni proizvođači vjetroelektrane*

Vjetroelektrana	**Instalirana snaga (MW)**	**Početak ugovora**	**Istek ugovora**
Ravna 1	5.95	2007.	2016.
Trtar-Krtolin	11.2	2007.	2019.
Orlice	9.6	2009.	
Vrataruša	42	2011.	
ZD6	9	2011.	
Crno Brdo	10	2011.	
ZD2	18	2012.	
ZD3	18	2012.	
Pometeno brdo	17.5	2013.	
Ponikve	34	2013.	
ST1-2	20	2013.	
Jelinak	30	2013.	
ST1-1	20	2013.	
ZD4	9	2013.	
Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh	43	2014.	
Zelengrad-Obrovac	42	2014.	
Ogorje	42	2015.	
Rekonstrukcija Pometeno Brdo	2.5	2015.	
Rudine	34.2	2016.	

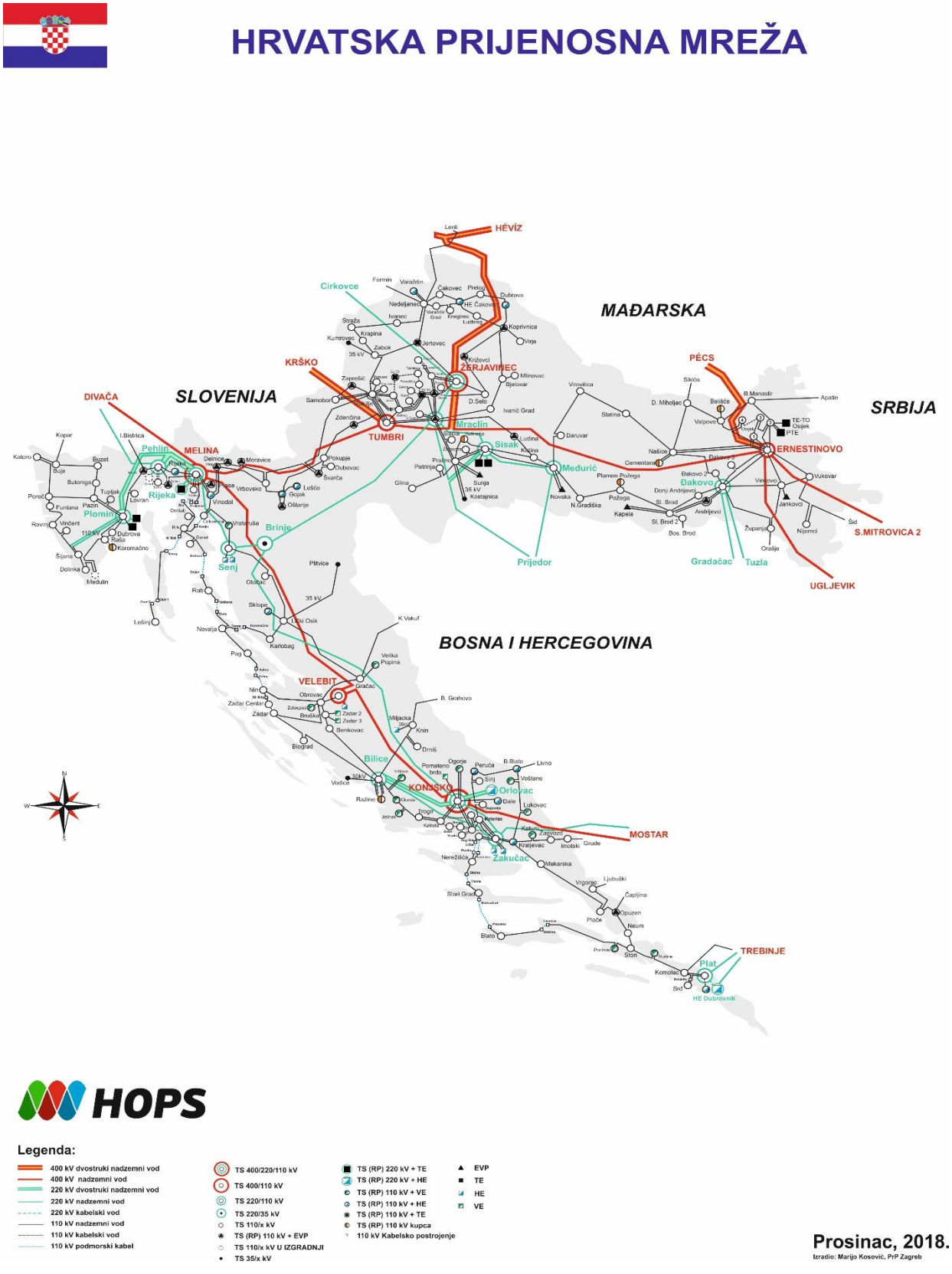
Glunča	23	2017.	
Katuni	39	2017.	
Proširenje ZD 6	45	2017.	
Lukovac	48	2018.	



Sl. 2.16. *Grafički prikaz instalirane snage po godinama*

3. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV I BURZA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prema [7], energetski sustav čine postrojenja za eksploataciju prirodnih oblika energije, postrojenja za pretvorbu oblika energije, postrojenja za transport oblika energije, postrojenja za razdiobu oblika energije, postrojenja za uskladištenje oblika energije i potrošači oblika energije. Najveći dio električne energije dobiva se u elektranama, gdje se mehanička energija pretvara u električnu. „Zadatak je elektroenergetskog sustava da osigura kvalitetnu isporuku električne energije uz minimalne troškove u elektroenergetskom sustavu“ [7]. Osnovni dijelovi elektroenergetskog sustava su izvori električne energije, rasklopna postrojenja, prijenosne i razdjelne mreže i potrošači električne energije. Po fazama tehnološkog procesa, elektroenergetska mreža se dijeli na izvore (proizvodnju), prijenosnu mrežu, distribucijsku mrežu i potrošnju. Po tehničkoj podjeli prijenosnu mrežu čine postrojenja i vodovi nazivnog napona 110 kilovolta i više, a ostalo je distribucijska mreža [8]. Na slici 3.1. prikazan je izgled hrvatske prijenosne mreže iz 2018. godine.

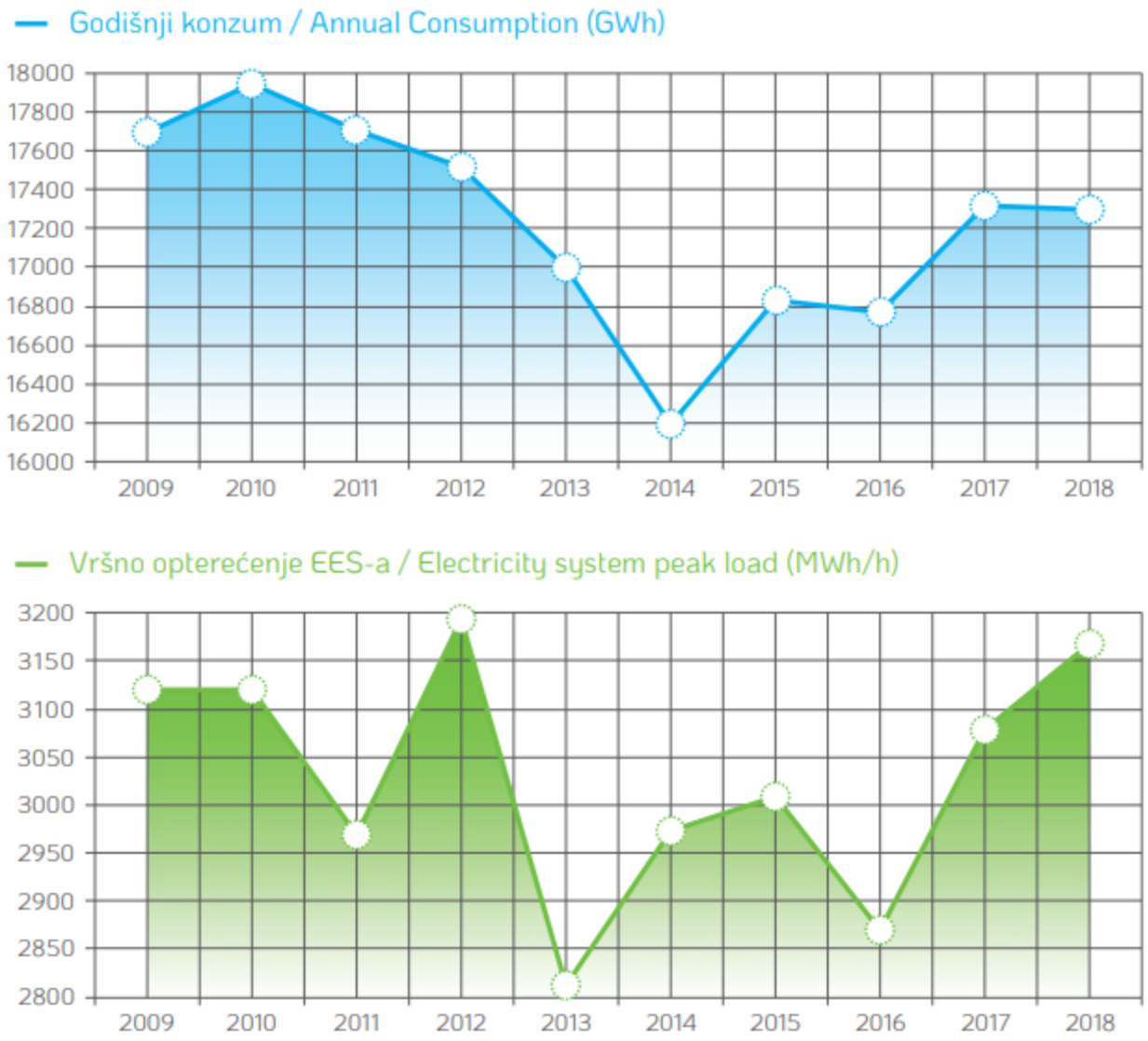


Sl. 3.1. *Shema hrvatske prijenosne mreže iz prosinca 2018. [9]*

3.1. Prijenosna mreža i opterećenje

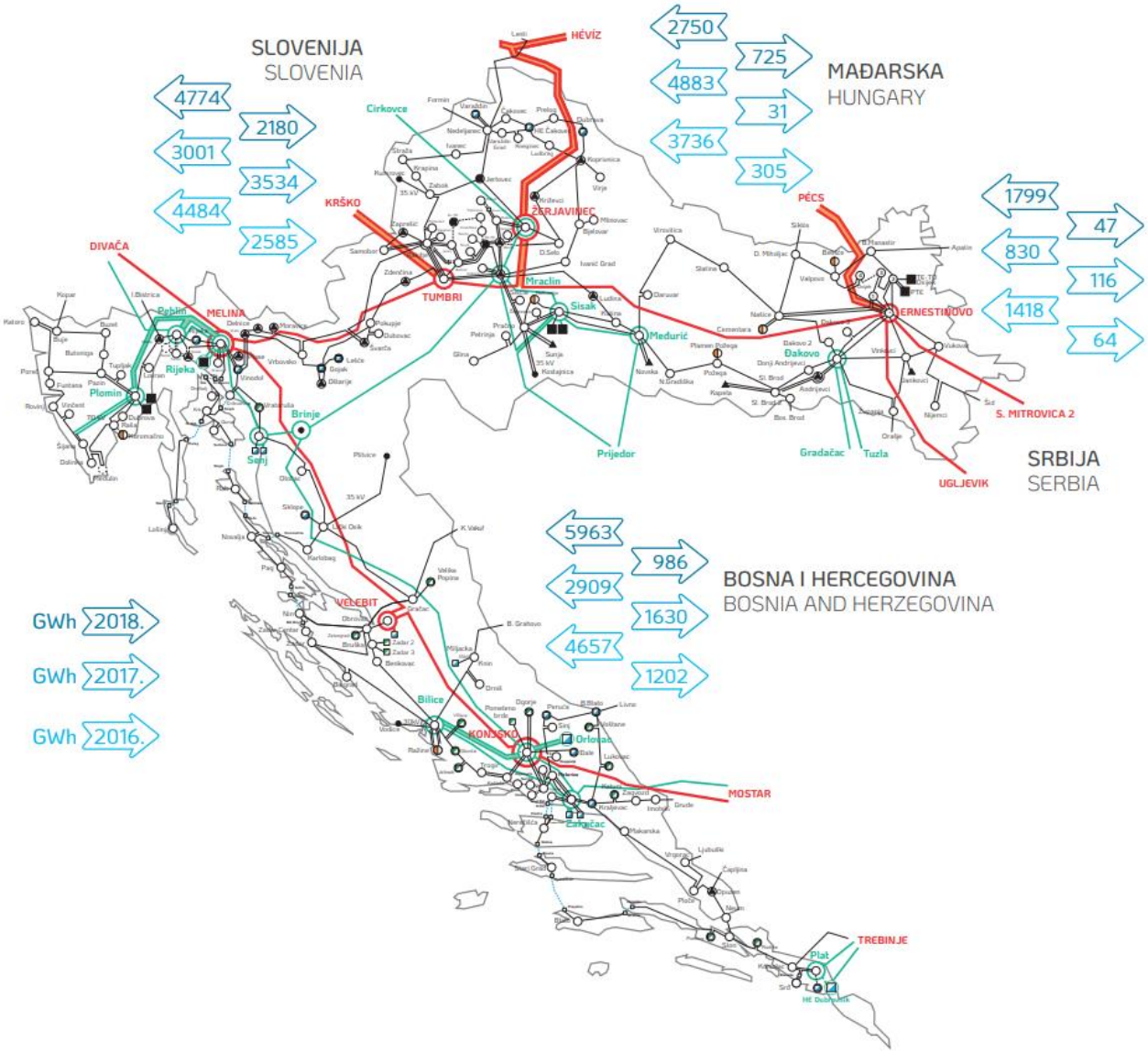
„Prijenosna mreža dio je hrvatskog elektroenergetskog sustava koju čine transformatorske stanice, rasklopna prijenosna postrojenja te zračni vodovi i kabeli. Električna energija prenosi se mrežom naponskih razina 400, 220 i 110 kV.“ [9] Na samom kraju 2018. godine hrvatska prijenosna mreža sadržavala je 6 transformatorskih stanica 400/x kV ukupne snage 4400 MVA, 14 transformatorskih stanica 220/x kV ukupne snage 3570 MVA i 161 transformatorsku stanicu 110/x kV ukupne snage 5177 MVA. Ukupan broj transformatorskih stanica u prijenosnoj mreži tako je iznosio 181, a njihova ukupna snaga iznosila je 13147 MVA. Te transformatorske stanice su povezane vodovima ukupne dužine od 1246 km na 400 kV, 1330 km na 220 kV i 5138 km na 110 kV. [9]

Hrvatski operator prijenosnog sustava svake godine objavi godišnji izvještaj u kojemu su prikazani i obrađeni svi najvažniji podaci i događaji. Tako je izvještaj za 2018. godinu pokazao stagnaciju u potrošnji u odnosu na 2017. godinu, no došlo je do povećanja vršne potrošnje za otprilike 3 posto, vidljivo na slici 3.2. Najmanje opterećenje sustava se dogodilo 20. svibnja 2018. u 6 sati i iznosilo je 1249 MW, dok je sustav bio najviše opterećen 26. veljače u 20 sati kada je opterećenje iznosilo 3168 MW.



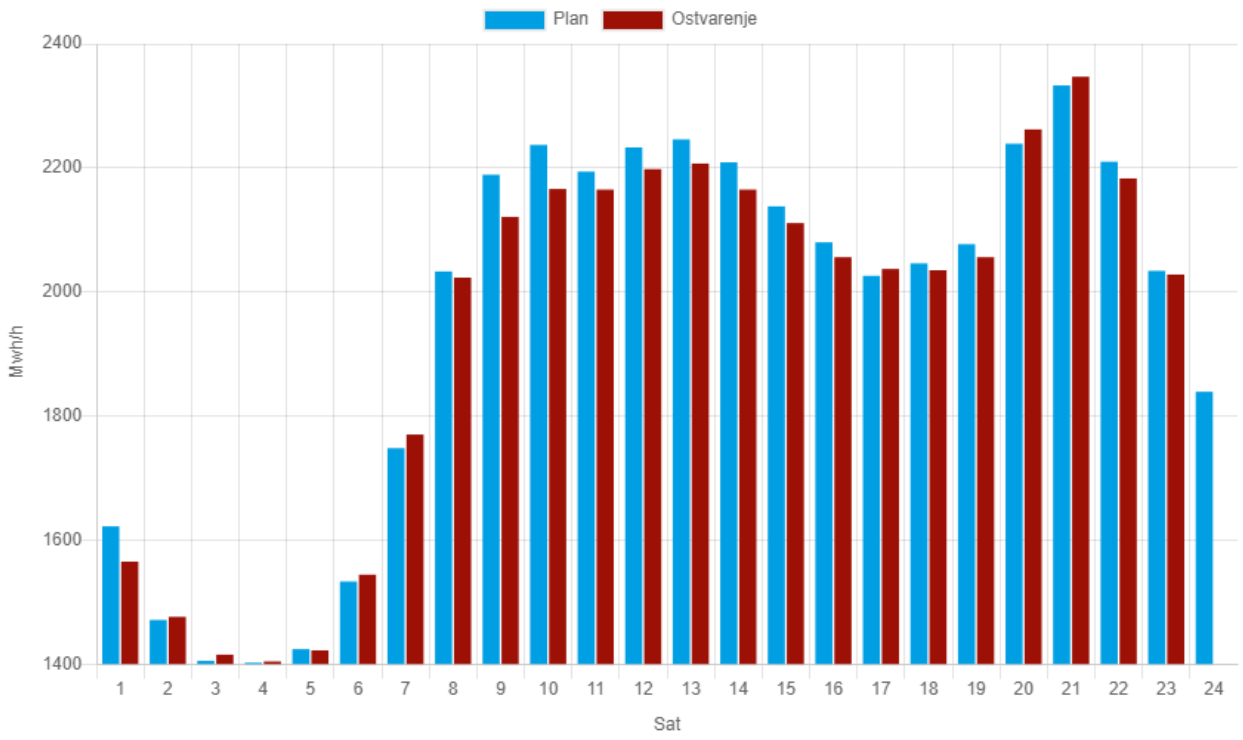
Sl. 3.2. *Godišnja potrošnja na prijenosnoj mreži i vršno opterećenje u posljednjih 10 godina [9]*

Što se prekograničnog prijenosa tiče, ulaz energije je i dalje puno veći od izlaza, najviše se energije razmijeni sa Slovenijom i BiH. Ulaz energije za 2018. godinu iznosio je 12692 GWh, što je porast za 4.4 posto u odnosu na 2017. godinu. Izlaz energije porastao je s 4778 GWh u 2017. na 6532 GWh u 2018. godini. Tako je 2018. godine iz Slovenije uvezeno 2180 GWh električne energije (uključujući NE Krško), iz Mađarske 2750 GWh, iz Srbije 1799 GWh i iz BiH 5963 GWh, dok je u istom periodu izvezeno 4774 GWh električne energije u Sloveniju, 725 GWh u Mađarsku, 47 GWh u Srbiju i 986 GWh u BiH, vidljivo na slici 3.3.



Sl. 3.3. *Shema EES-a / Razmjena po granicama (GWh) [9]*

Dijagram opterećenja prikazuje potrošnju električne energije u danu po satima. Hrvatski operator prijenosnog sustava pokušava svakodnevno što preciznije i što točnije predvidjeti potrošnju tijekom sutrašnjeg dana kako bi bili spremni adekvatno reagirati na značajnije promjene paljenjem ili gašenjem elektrana, zakupom prekograničnih kapaciteta, kupovinom dodatne energije i slično. Slika 3.4. prikazuje primjer jednog dijagrama opterećenja na kojem možemo primijetiti kako je plan poprilično blisko ostvarenom opterećenju.



Sl. 3.4. *Dijagram opterećenja za 10.09.2019. [9]*

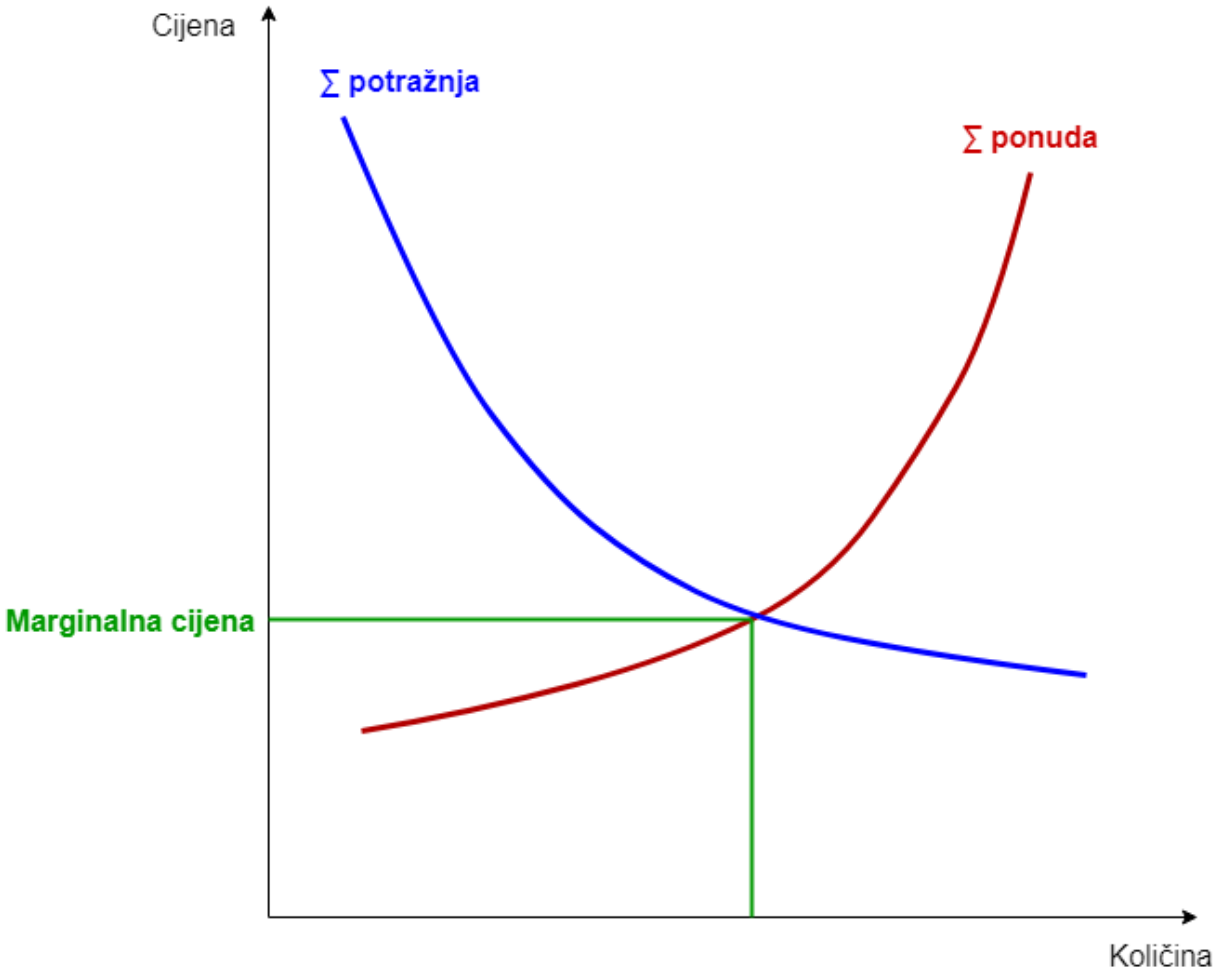
3.2. CROPEX i Dan unaprijed tržište

Burza je posebna institucija koja za cilj ima spajanje kupaca, prodavalaca i burzovnih mešetara koji trguju fungibilnom robom prema posebnim pravilima i običajima. Roba kojom se trguje nije prisutna, njene su karakteristike opće poznate ili su ustanovljeni tipovi za robu različitih karakteristika. Pravila trgovanja su unaprijed jasno definirana te postoje posebni propisi za odvijanje burzovnih poslova. Najveće burze električne energije u svijetu su EEX u Leipzigu, Nasdaq OMX u New Yorku, Nordpool Spot u Lysakeru i powernext u Parizu. EEX je u 2015. godini zabilježila promet od 2537 TWh. Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) i Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) 2015. godine osnovali su Hrvatsku burzu električne energije (eng. CROPEX – Croatian Power Exchange). CROPEX je sklopio partnerstvo s Nordpool Spot burzom 2. lipnja 2015. godine s ciljem razvoja prvog kompetitivnog hrvatskog Dan unaprijed tržišta, s mogućnošću razvoja i Unutardnevnog tržišta.

„HRVATSKA BURZA ELEKTRIČNE ENERGIJE d.o.o. (dalje u tekstu: CROPEX) odgovorna je za organizaciju i vođenje CROPEX-ovih tržišta u Republici Hrvatskoj. Dan unaprijed tržište Članovima

nudi mogućnost dan unaprijed Trgovanja Proizvodima na području Republike Hrvatske u obliku Dražbe za svaki Dan isporuke, a na temelju svih Ponuda za kupnju i Ponuda za prodaju za količine i cijene koje su primljene prije zatvaranja Dražbe. Unutardnevno tržište Članovima nudi mogućnost kontinuiranog unutardnevnog Trgovanja Proizvodima na području Republike Hrvatske pri čemu se Transakcije automatski uparuju kada se podudarni Nalozi unesu u Elektronički trgovački sustav. Osobe koje žele Trgovati na pojedinom ili svakom CROPEX-ovom tržištu moraju sklopiti Ugovor o članstvu s CROPEX-om koji će odrediti pojedino CROPEX-ovo tržište na kojem Članovi mogu sudjelovati, moraju ispunjavati uvjete za Ugovornu stranu na temelju Pravila za kliring i namiru i moraju imati pravo sudjelovati na hrvatskom tržištu električne energije na temelju hrvatskih Primjenjivih propisa kojima je uređeno tržište električne energije, sve prije samog početka Trgovanja na bilo kojem CROPEX-ovom tržištu“ [10].

„Trgovanje na Dan unaprijed tržištu provodi se kroz središnju dražbu koja se održava svakog dana za isporuku električne energije idućeg dana, a za izračun tržišne cijene se koristi pravilo jedinstvene cijene. Prema tom pravilu, cijena se određuje temeljem svih naloga za kupnju i prodaju zaprimljenih od strane članova burze i to na način da se na temelju njih za svaki sat trgovanja formira sumarna krivulja ponude i sumarna krivulja potražnje. Sjecište tih krivulja predstavlja tržišnu cijenu te u svakom satu trgovanja članovi burze čiji su nalozi prihvaćeni trguju električnom energijom po istoj jedinstvenoj cijeni“ [10], vidljivo na slici 3.5.



Sl. 3.5. *Graf krivulja ponude i potražnje*

Pri postupku uparivanja CROPEX, kao i većina europskih zemalja, koristi EUPHEMIA algoritam. „EU Pan-European Hybrid Electricity Market Integration Algoritham (EUPHEMIA) je algoritam razvijen od strane PCR udruženja burzi za jedinstveni izračun cijena i količina električne energije na EU povezanom tržištu električne energije. Sve burze električne energije zaprimaju naloge za kupnju ili prodaju električne energije te ih šalju na središnje mjesto gdje se pomoću EUPHEMIA algoritma određuje koji nalozi su prihvaćeni i po kojoj cijeni uzimajući u obzir da je osnovni cilj povećanje društvene koristi proizvođača i potrošača električne energije. Razvoj EUPHEMIA-e je započeo u srpnju 2011. godine koristeći jedan od već postojećih algoritma kao početne točke. Algoritmi razvijeni od pojedinih burzi su bili namijenjeni lokalnim tržištima električne energije i njihovim karakteristikama te se pojavila potreba za stvaranjem jedinstvenog algoritma koji pokriva sve zahtjeve. Prva stabilna verzija koja je pokrivala zahtjeve svih tržišta uključenih u PCR inicijativu je

isporučena u srpnju 2012. godine. Od tada se radi na kontinuiranom unapređenju i razvoju algoritma kako bi odgovorio na sve veće zahtjeve tržišta i uklopio što veći broj zemalja u jedinstveno europsko tržište električne energije“ [10].

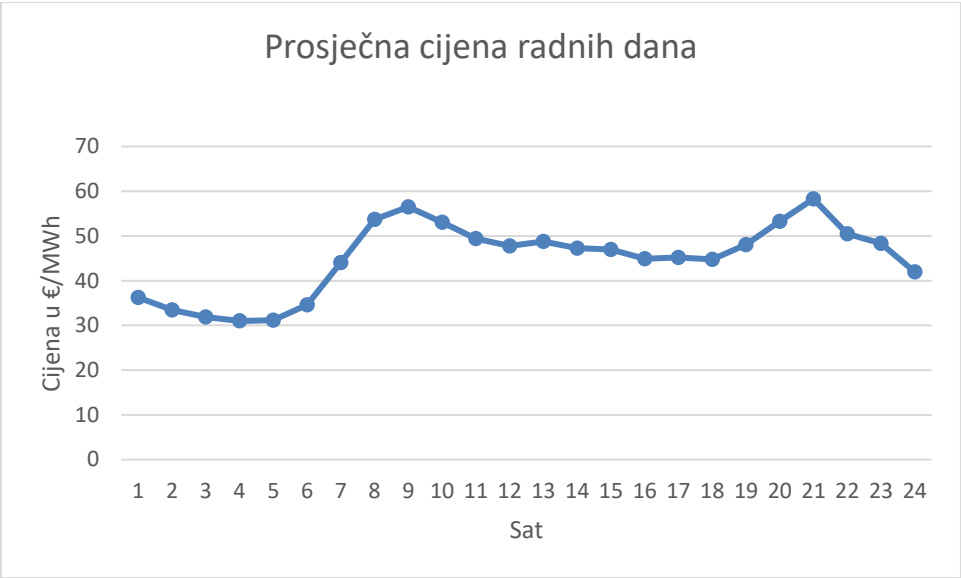
Projekt cjenovnog povezivanja regija (eng. Price Coupling of Regions – PCR) zajednička je inicijativa osam burza električne energije: EPEX SPOT, GME, HenEx, Nord Pool, OMIE, OPCOM, OTE i TGE te pokriva tržišta električne energije u Austriji, Belgiji, Češkoj, Danskoj, Estoniji, Finskoj, Francuskoj, Hrvatskoj, Italiji, Irskoj, Latviji, Litvi, Luksemburgu, Mađarskoj, Nizozemskoj, Norveškoj, Njemačkoj, Poljskoj, Portugalu, Rumunjskoj, Slovačkoj, Sloveniji, Španjolskoj, Švedskoj i Ujedinjenom Kraljevstvu. U prošlosti je korišteno više algoritama lokalno od strane uključenih burzi. Fokus je bio na proizvodima i značajkama dotičnih burza.

Povezivanje tržišta je način spajanja i integracije različitih tržišta energije u jednu cjelinu. Tada ponuda i potražnja jednog tržišta nisu vezane za lokalni teritorijalni opseg, već su kupci i prodavaoci energije ograničeni samo zahtjevima elektroenergetske mreže. Glavna korist povezivanja tržišta je poboljšanje likvidnosti tržišta kombinirana s manjom volatilnošću cijena električne energije.

Euphemia je algoritam razvijen s ciljem rješavanja problema vezanih uz povezivanje Dan unaprijed tržišta PCR regije. Sudionici tržišta predaju svoje narudžbe pripadajućim burzama, sve narudžbe se sakupe i predaju Euphemiji koja odlučuje koje narudžbe će ispuniti, a koje odbiti u skladu s cijenom koja će biti objavljena tako da maksimizira društvenu dobit i da tokovi snaga nastali zbog provedenih narudžbi ne prelaze dozvoljeni kapacitet elemenata mreže.

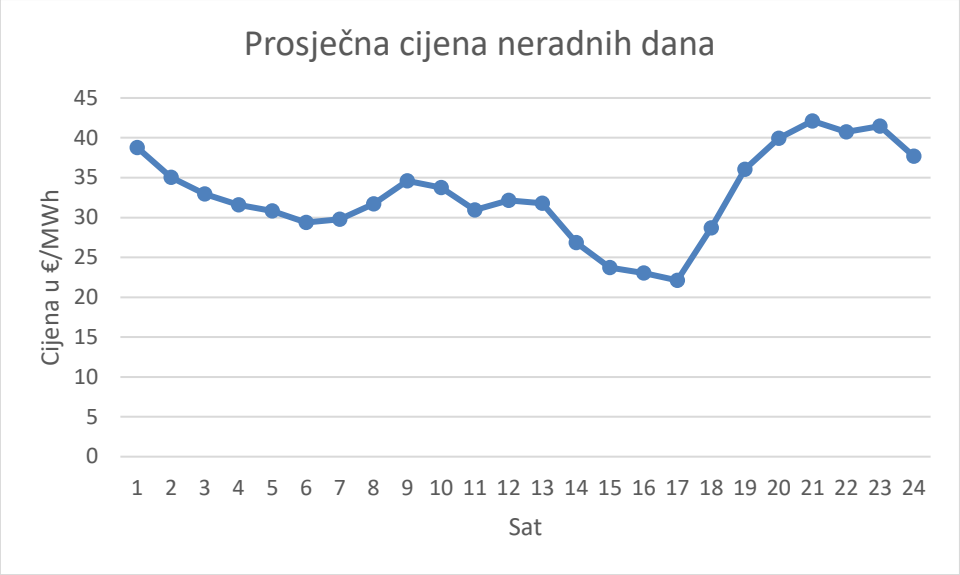
3.3. Cijene električne energije na tržištu Dan unaprijed

Svako tržište je promjenjivo, vrijednosti na njemu osciliraju, a tržište električne energije nije iznimka. Iako vođeno sličnim principima kao i neka druga tržišta, tržište električne energije predvidljivije je od ostalih. To je tako uglavnom jer električna energija nije usporediva s drugim uslugama i dobrima, električna energija je s vremenom postala nužan i nezamjenjiv pokretač društva. Cijenu naravno diktira zakon ponude i potražnje, no na nju utječu i brojni ostali faktori, kao što su vremenske prilike, koji je datum, koje je doba dana i slično. Vikendi i ostali neradni dani imaju drukčiju potrošnju električne energije od radnih dana. Obrađene su cijene električne energije na tržištu Dan unaprijed za svibanj 2019. godine, posebno za radne i posebno za neradne dane mjeseca.



Sl. 3.6. *Prosječna cijena električne energije radnih dana*

Sa slike 3.6. vidljivo je da je cijena električne energije najniža upravo kad ljudi spavaju, te doseže minimum od prosječno 31 €/MWh u četvrtom satu. Stvarna najniža cijena jednog sata radnog dana se dogodila trećeg sata 27. svibnja kada se električna energija prodavala za 12.97 €/MWh. S istog grafa vidi se i da krivulja cijene ima dva špica, odnosno dva velika skoka u cijeni energije. Oni nastupaju pri najvećoj potražnji i potrošnji električne energije, usporedivo sa slikom 3.4. Prvi se događa u vrijeme kada se ljudi krenu buditi, kreću na posao i počinju kuhati kavu, što je kod nas općeprihvaćena praksa. Drugi skok u cijeni nastupa predvečer, otprilike kada kreće jeftinija električna energija za ljude koji imaju tarifni model s višom i nižom dnevnom tarifom, odnosno kreće korištenje jačih potrošača koji ne trebaju ljudski nadzor poput perilica i bojlera. Maksimum iznosi prosjek od 58.3 €/MWh, a dosegnut je u dvadesetprvom satu. Najveća cijena jednog sata radnog dana nastupila je dvadesetprvog sata 2. svibnja kada je vrijednost električne energije dosegnula cijenu od čak 90.09 €/MWh.



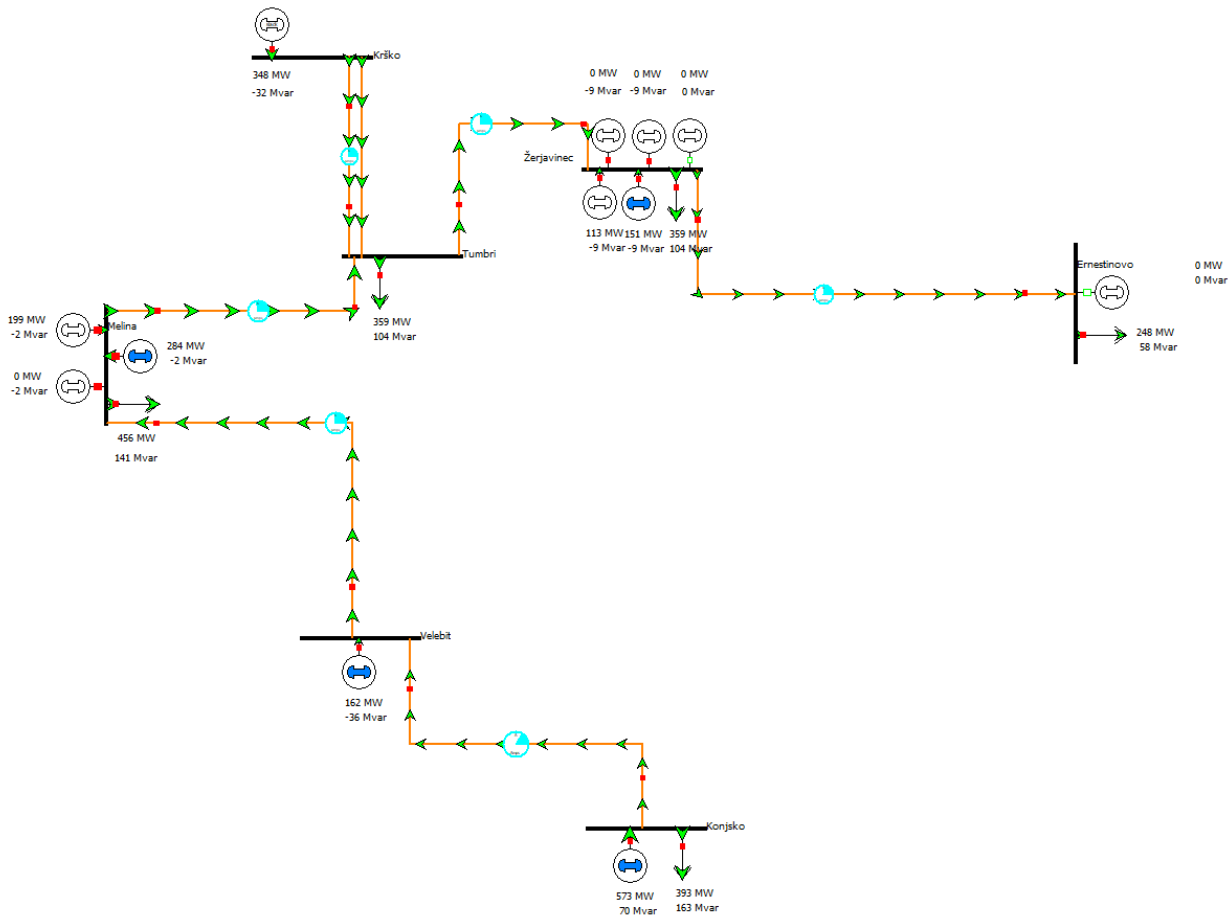
Sl. 3.7. *Prosječna cijena električne energije neradnih dana*

Graf sa slike 3.7. prikazuje da je u prosjeku najniža cijena električne energije neradnih dana u ranim poslijepodnevnim satima, kada se ljudi vjerojatno odmaraju poslije ručka ili opuštaju u izlascima i društvenim aktivnostima. Cijena je najviša u kasnim večernjim satima zbog razloga istih kao i u radnim danima. Minimalna prosječna cijena električne energije za neradne dane svibnja 2017. godine iznosila je 22.12 €/MWh u sedamnaestom satu, a maksimalna prosječna cijena 42.12 €/MWh u dvadesetprvom satu. Najniža postignuta cijena električne energije iznosila je -5.48 €/MWh devetnaestog sata nedjelje 26. svibnja, što znači da se proizvodilo više energije iz temeljnih elektrana nego što su potrošači trošili. Maksimalna postignuta cijena dosegla je iznos od 45.92 €/MWh 4. svibnja na dvadesettreći sat.

Uspoređujući dva grafa vidljivo je da je prosječna cijena električne energije skoro uvijek veća radnim danima, osim u satima neposredno poslije ponoći. To je objašnjivo time da su potrošači duže budni neradnim danima. Vidljiva je i razlika u ranim poslijepodnevnim satima u kojima se inače ljudi vraćaju s posla i tek započinju kućanske poslove, ručak i slično, dok u neradnim danima se te stvari odviju malo ranije te padne i potrošnja električne energije nakon toga.

4. SIMULACIJA HRVATSKOG TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U računalnom programu PowerWorld za potrebu simulacije napravljen je model hrvatske prijenosne mreže na naponu razine 400 kV (slika 4.1.). Model se sastoji od 12 generatora, 7 sabirnica, 7 vodova koji ih povezuju i 5 trošila.



Sl. 4.1. *Simulacija 400 kV mreže*

Radi jednostavnosti izvođenja simulacija hidroelektrane su modelirane po regijama, osim RHE Velebit. Tako se na sabirnici Žerjavinec nalazi generator koji predstavlja PP HE Sjever, koje se sastoji od HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava, organizacijski povezane u Glavne HE na rijeci Dravi. HE Čakovec je protočna, niskotlačna, derivacijska HE s dnevnom akumulacijom. Ima aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet od 77.44 MW, a puštena je u pogon 1982. godine. HE Dubrava je isti tip HE kao i Čakovec, puštena je u pogon 1989. godine i raspolaže proizvodnim kapacitetom od

79.78 MW. Isti tip HE je i HE Varaždin, puštena u pogon 1975. godine. Osim proizvodnje električne energije, HE Varaždin uz HE Čakovec i Dubravu sudjeluje u opskrbi vodom, obrani od poplava, zaštiti zemljišta od erozije, navodnjavanju, odvodnji, te prometu. Snaga HE Varaždin iznosi 94 MW. Ukupna proizvodna snaga, odnosno raspoloživi proizvodni kapacitet tog generatora koji predstavlja PP HE Sjever radi potreba simulacije smanjen je za 40% pa tako iznosi 150.7 MW. Razlog tome je što rad hidroelektrane ovisi o razini vode u rijeci, akumulacijskom jezeru, padalinama, utjecaju drugih HE na istoj rijeci i slično. Tako su i ostale hidroelektrane modelirane u simulaciji na 60% instalirane snage. Na sabirnici Melina nalazi se generator koji predstavlja Proizvodno područje Zapad. „PP HE Zapad je organizacijski dio Sektora za hidroelektrane. PP HE Zapad organizira i provodi poslovne procese održavanja i proizvodnje hidroelektrana koje koriste vode rijeke Kupe (HE Ozalj), Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice (HE Gojak), Lokvarke, Križ potoka, Ličanke, Lepenice, Kostanjevice, Potkoša i ostatka Ličanke do CS Lič te potoka Benkovac (hidroenergetski sustav Vinodol), Rječine (HE Rijeka) i Like i Gacke (hidroenergetski sustav Senj). PP HE Zapad sastoji od Centra proizvodnje Zapad i glavnih hidroelektrana: GHE Senj (HE Senj i HE Sklope), GHE Vinodol (HE Vinodol, HE Gorski kotar (CHE Fužine, RHE Lepenica i HE Zeleni vir) i HE Rijeka), GHE Gojak (HE Gojak, HE Lešće, te HE Ozalj 1 i 2)“ [11]. Snaga ovog generatora također je skalirana na 60% i iznosi 283.8 MW. RHE Velebit (slika 4.2.) je reverzibilno derivacijsko proizvodno postrojenje snage 276 MW u generatorskom i 240 MW motornom režimu (276 / -240 MW). Smještena je u donjem toku rijeke Zrmanje, oko 10 km uzvodno od grada Obrovca, Zadarska županija, gdje je formiran donji bazen Razovac, dok se gornji bazen Štikada nalazi s druge strane planine Velebit, na gračačkoj zaravni, na visini od 550 do 700 m n.m [11]. Model generatora RHE Velebit ima svoju vlastitu sabirnicu Velebit i proizvodnu snagu skaliranu na 60%, odnosno 162 MW.

Sl. 4.2. *RHE Velebit [11]*

„Proizvodno područje Jug (PP HE Jug) je organizacijski dio Sektora za hidroelektrane sa zadatkom organiziranja procesa održavanja i proizvodnje u hidroenergetskim sustavima sliva rijeke Cetine s akumulacijama Peruća i Buško blato, sliva rijeke Krke te na Gračačkoj visoravni i rijeci Zrmanji. PP HE Jug sastoji od RHE Velebit i glavnih hidroelektrana: GHE Miljacka (HE Golubić, MHE Krčić, HE Miljacka i HE Jaruga), GHE Orlovac, vidljiv na slici 4.3., (HE Peruća, HE Orlovac, HE Đale), GHE Zakučac (HE Zakučac, MHE Prančevići i HE Kraljevac)“ [11]. Kako je RHE Velebit napravljena na vlastitoj sabirnici, u programu je na sabirnici Konjsko simuliran generator koji predstavlja glavne hidroelektrane Miljacka, Orlovac i Zakučac. Skalirana na 60% snaga tog generatora iznosi 572.7 MW.

Sl. 4.3. *HE Orlovac [11]*

Termoelektrane nemaju cijenu goriva 0 i nije svima jednaka cijena jer koriste različita goriva. Za potrebe rada pretpostavljeno je da svaki od proizvodnih blokova pojedine termoelektrane (ukoliko ih ima više) ima jednak trošak proizvodnje električne energije. Tako se na čvoru Žerjavinec nalaze TE-TO Zagreb, EL-TO Zagreb, TE-TO Sisak i KTE Jertovec, na čvoru Ernestinovo je spojena TE-TO Osijek te na čvoru Melina se nalaze TE Plomin i TE Rijeka. U proizvodnji električne energije još sudjeluje i NE Krško koja se nalazi u Republici Sloveniji, no HEP ima pravo na 50 postotni osnivački udio, što je u programu modelirano kao generator maksimalne snage 348 MW na istoimenoj sabirnici. TE-TO Osijek i EL-TO Zagreb ne proizvode električnu energiju u ovoj simulaciji jer su primarno toplane.

Potrošnja električne energije tijekom dana varira. U simulaciji se nalazi po jedan teret na svakoj od sabirnica u Hrvatskoj osim na Velebitu. Tumbri i Žerjavinec su modelirane tako da imaju jednake potrošnje. Ostatak je podijeljen tako da predstavljaju regije po geografskom položaju. Snage tereta su uzete iz modela napravljenog od strane mentora Doc.dr.sc. Krešimira Feketea uz njegovo dopuštenje. Potrošnja po satima s tablice 4.1. [9] izračunata je kao prosjek svih sati zasebno svakog dana mjeseca svibnja 2019. te je skalirana tako da za neradne dane maksimalna potrošnja iznosi 2400 MW, a za radne 2600 MW.

Tab. 4.1. *Potrošnja po satima*

sat	NERADNI	RADNI	skalirano N	skalirano R
1	1347.614	1351.009	1815.539	1766.652
2	1210.574	1220.387	1630.915	1595.844
3	1139.989	1159.537	1535.821	1516.273
4	1112.632	1143.325	1498.965	1495.074
5	1115.186	1169.119	1502.406	1528.803
6	1112.853	1235.351	1499.263	1615.411
7	1211.887	1520.549	1632.684	1988.352
8	1388.929	1804.229	1871.199	2359.307
9	1535.473	1919.824	2068.628	2510.466
10	1641.273	1955.678	2211.164	2557.35
11	1696.095	1932.346	2285.021	2526.839
12	1733.153	1962.771	2334.947	2566.625
13	1708.191	1953.396	2301.317	2554.366
14	1627.719	1900.164	2192.903	2484.757
15	1537.427	1833.034	2071.26	2396.974
16	1486.041	1775.29	2002.031	2321.465
17	1469.017	1751.463	1979.096	2290.308
18	1487.421	1753.778	2003.89	2293.335
19	1532.024	1768.142	2063.981	2312.118
20	1620.538	1847.954	2183.229	2416.484
21	1781.44	1988.294	2400	2600
22	1776.728	1976.43	2393.652	2584.487
23	1699.195	1857.209	2289.197	2428.587
24	1492.304	1619.035	2010.469	2117.138

Snage tereta tada su skalirane da im ukupna snaga bude jednaka potrošnji u tom satu (tablica 4.2.).

Tab. 4.2. *Skalirana potrošnja svih trošila po satu*

	NERADNI						RADNI				
			MW						MW		
sat	ernestino	žerjavinec	tumbri	melina	konjsko		ernestino	žerjavinec	tumbri	melina	konjsko
1	248.0084	359.0193	359.0193	456.2335	393.2585		241.3303	349.352	349.352	443.9485	382.6692
2	222.7882	322.5103	322.5103	409.8387	353.2676		217.9974	315.575	315.575	401.0255	345.671
3	209.7981	303.7056	303.7056	385.9421	332.6696		207.1277	299.84	299.84	381.0298	328.4354
4	204.7634	296.4174	296.4174	376.6804	324.6863		204.2319	295.648	295.648	375.7027	323.8435
5	205.2335	297.0979	297.0979	377.5452	325.4317		208.8394	302.3178	302.3178	384.1786	331.1495
6	204.8041	296.4763	296.4763	376.7553	324.7509		220.6703	319.4444	319.4444	405.9426	349.9094
7	223.0299	322.8601	322.8601	410.2832	353.6508		271.6152	393.1927	393.1927	499.6603	430.691
8	255.6118	370.026	370.026	470.2205	405.3148		322.2889	466.5484	466.5484	592.879	511.0424
9	282.5812	409.0672	409.0672	519.8332	448.0793		342.9377	496.4398	496.4398	630.8643	543.7845
10	302.0521	437.2534	437.2534	555.6516	478.9536		349.3422	505.711	505.711	642.6459	553.94
11	312.1412	451.8584	451.8584	574.2114	494.9516		345.1743	499.6775	499.6775	634.9787	547.3311
12	318.9612	461.7312	461.7312	586.7575	505.7659		350.6092	507.5451	507.5451	644.9767	555.949
13	314.3673	455.0809	455.0809	578.3064	498.4814		348.9346	505.1209	505.1209	641.8961	553.2936
14	299.5576	433.6423	433.6423	551.0627	474.9982		339.4257	491.3558	491.3558	624.4038	538.2158
15	282.9407	409.5876	409.5876	520.4946	448.6494		327.4343	473.9969	473.9969	602.3444	519.2014
16	273.4838	395.8977	395.8977	503.0978	433.654		317.1195	459.0652	459.0652	583.3695	502.8456
17	270.3508	391.3624	391.3624	497.3343	428.6861		312.8634	452.9039	452.9039	575.54	496.0968
18	273.7378	396.2653	396.2653	503.5649	434.0566		313.2769	453.5025	453.5025	576.3006	496.7524
19	281.9464	408.1482	408.1482	518.6654	447.0728		315.8427	457.2168	457.2168	581.0207	500.821
20	298.2361	431.7293	431.7293	548.6317	472.9027		330.0994	477.855	477.855	607.2472	523.4274
21	327.8477	474.5953	474.5953	603.1049	519.8568		355.1683	514.1449	514.1449	653.3636	563.1782
22	326.9805	473.34	473.34	601.5096	518.4818		353.0492	511.0773	511.0773	649.4653	559.818
23	312.7116	452.6842	452.6842	575.2608	495.8561		331.7527	480.2483	480.2483	610.2886	526.049
24	274.6365	397.5663	397.5663	505.2182	435.4817		289.2078	418.6599	418.6599	532.0234	458.5869

4.1. Izvođenje simulacije bez vjetroelektrana priključenih na mrežu

Simulacije u računalnom programu PowerWorld napravljene su pomoću OPF (eng. Optimal Power Flow) dodatka u programskom paketu. OPF, ili optimalan tok snaga, koristi metodu linearnog programiranja (eng. Primal LP) koja je brza i učinkovita, prikaže potpuno rješenje AC tokova snaga, uspostavlja ravnotežu stvarne/jalove snage na svakoj sabirnici, provodi ograničenja jalove snage generatora i uzima u obzir nelinearnosti. Rješenje Primal LP-ja mijenja kontrole sustava kako bi primijenio linearna ograničenja, a pritom minimizirao troškove. Drugim riječima, u ovom slučaju Primal LP upravlja proizvodnjom generatora kako bi granični trošak bila što manja.

Svakom modelu elektrane, odnosu generatoru, napravljen je linearan model cijene goriva, gdje gorivo košta jednako za svaki proizvedeni MWh po elektrani. Hidroelektrane nemaju trošak goriva jer se voda slijeva iz rijeke prirodnim putem. Nuklearnoj elektrani Krško dodijeljena je cijena proizvodnje

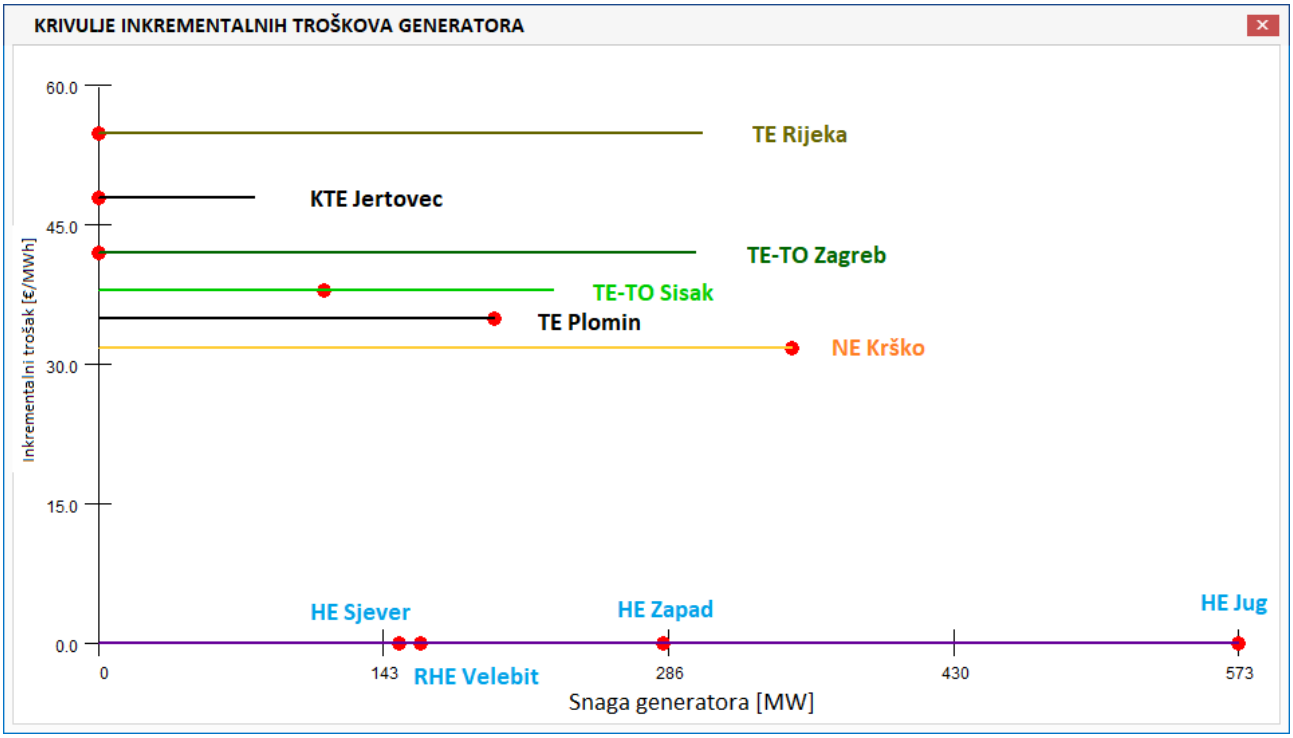
od 32 €/MWh. Iduća skuplja elektrana je TE Plomin s cijenom proizvodnje od 35 €/MWh jer kao energent koristi kameni ugljen. TE-TO Sisak za energent koristi prirodni plin/loživo ulje te joj je simulirana cijena proizvodnje 38 €/MWh. TE-TO Zagreb koristi prirodni plin/plinsko ulje pa ima dodijeljenu cijenu od 42 €/MWh za potrebe simulacije. KTE Jertovec za energent koristi prirodni plin/ekstra lako loživo ulje i cijenu od 48 €/MWh. Najskuplja elektrana je TE Rijeka koja koristi isključivo loživo ulje i košta 55 €/MWh, samim time predstavljajući najviši mogući granični trošak u simulaciji. Neće postojati različite zone već će sve elektrane imati zajednički granični trošak. Trošak paljenja elektrana nije uzet u obzir.

Uvjeti izvođenja ove simulacije opisani su u četvrtom poglavlju. PowerWorld prikaže rješenja u obliku tablice na engleskom jeziku. Na slici 4.4. prikazani su generatori preko sabirnica na kojima se nalaze i ID brojevima koji su im dodijeljeni na sabirnici. Tako je Žerjavinec 1 KTE Jertovec, Žerjavinec 2 TE-TO Zagreb, Žerjavinec 3 TE-TO Sisak, Žerjavinec 4 HE Sjever, Melina 1 TE Rijeka, Melina 2 TE Plomin, Melina 3 HE Zapad i na Konjskom imamo HE Jug. Prikazane su i snage pojedinih generatora, kao i njihov granični trošak za OPF (IC for OPF stupac). Konačan rezultat, odnosno granični trošak elektrana nalazi se u stupcu „MW Marg. Cost of Bus“ i za ovaj slučaj prvog sata svibnja 2019. iznosi 38 €/MWh.

	Numl of Bus	Name of Bus	ID	Area Nam of Gen	A	F S	C F S S	C N C	Gen MW	Cost Shift $/MWh	C N	C S (C	MW Marg. Cost of Bus	IC for OPF	Initial MW
1	1	Ernestinovo	1	1	Y	N		It	0.0	0.000	0	0	38.00	0.00	0.0
2	2	Žerjavinec	1	1	Y	N		It	0.0	0.000	0	0	38.00	48.00	0.0
3	2	Žerjavinec	2	1	Y	N		It	0.0	0.000	0	0	38.00	42.00	0.0
4	2	Žerjavinec	3	1	Y	N		It	112.9	0.000	0	8	38.00	38.00	112.9
5	2	Žerjavinec	4	1	Y	N		It	150.7	0.000	0	0	38.00	0.00	150.7
6	2	Žerjavinec	5	1	Y	N		It	0.0	0.000	0	0	38.00	0.00	0.0
7	4	Melina	1	1	Y	N		It	0.0	0.000	0	0	38.00	55.00	0.0
8	4	Melina	2	1	Y	N		It	199.0	0.000	0	0	38.00	35.00	199.0
9	4	Melina	3	1	Y	N		It	283.8	0.000	0	0	38.00	0.00	283.8
10	5	Krško	1	1	Y	N		It	348.0	0.000	0	0	38.00	0.00	348.0
11	6	Velebit	1	1	Y	N		It	162.0	0.000	0	0	38.00	0.00	162.0
12	7	Konjsko	1	1	Y	N		It	572.7	0.000	0	0	38.00	0.00	572.7

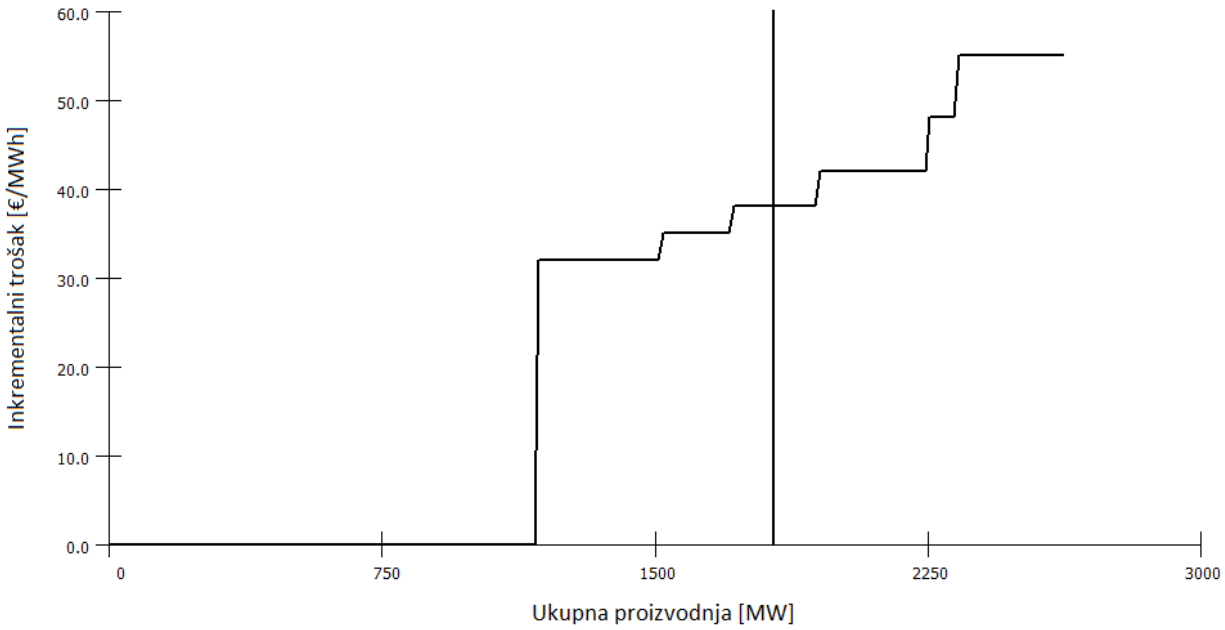
Sl. 4.4. *Rezultati Primal LP OPFa*

Slika 4.5. pomoću grafa prikazuje granične troškove generatora po proizvedenom MWh energije. Također možemo vidjeti i snagu elektrane pomoću dužine linije i njeno korištenje pomoću položaja crvene točke. Vidljivo je sa slike da se maksimalno koriste „besplatne“ elektrane, kao i jeftine NE Krško i TE Plomin. TE-TO Sisak ne koristi se u potpunosti jer je time potrošnja za taj sat zadovoljena.



Sl. 4.5. *Krivulje inkrementalnih troškova generatora i rješenje Primal LP OPFa*

Na slici 4.6. prikazana je krivulja ovisnosti inkrementalnog troška o potrošnji električne energije. Vidljivo je da što je potrošnja veća da raste i granični trošak. Također je s grafa vidljivo da ukupna snaga elektrana u simulaciji iznosi oko 2600 MW, kao i da hidroelektrane i Krško bez pomoći termoelektrana pokrivaju otprilike 1500 MW raspoloživih kapaciteta.



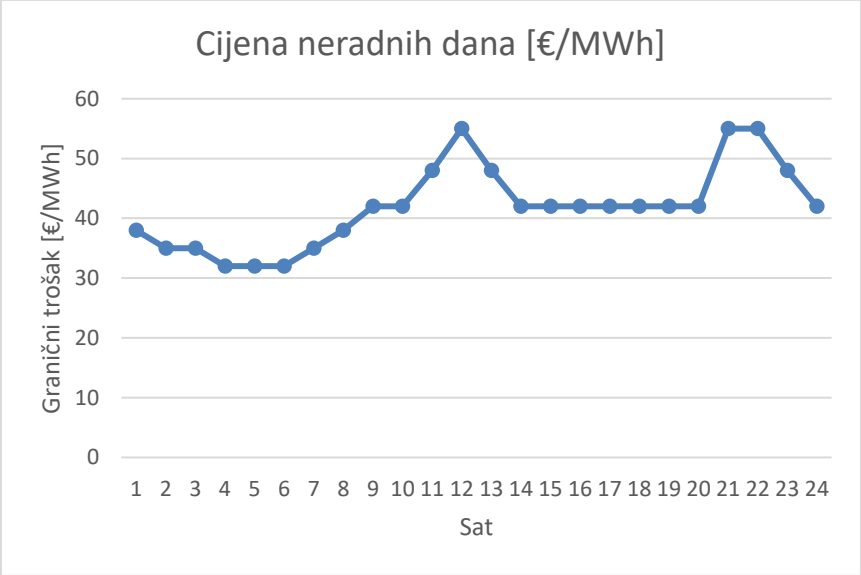
Sl. 4.6. *Graf krivulja ponude i potražnje*

											PROIZVODNJA	MARGINALNA CIJENA
CIJENA [€/MWh]	0	0	0	0	32	42	48	38	35	55		
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	MW	€/MWh
1	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	112.9	199	0	1829.1	38
2	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	128.8	0	1646.0	35
3	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	33	0	1550.2	35
4	150.7	283.8	162	572.7	343.8	0	0	0	0	0	1513.0	32
5	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	0	0	1517.2	32
6	150.7	283.8	162	572.7	346.3	0	0	0	0	0	1515.5	32
7	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	130.6	0	1647.8	35
8	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	167.6	199	0	1883.8	38
9	150.7	283.8	162	572.7	348	133.7	0	228.7	199	0	2078.6	42
10	150.7	283.8	162	572.7	348	275.1	0	228.7	199	0	2220.0	42
11	150.7	283.8	162	572.7	348	300	48.5	228.7	199	0	2293.4	48
12	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	20.4	2343.3	55
13	150.7	283.8	162	572.7	348	300	64.8	228.7	199	0	2309.7	48
14	150.7	283.8	162	572.7	348	256.9	0	228.7	199	0	2201.8	42
15	150.7	283.8	162	572.7	348	136.3	0	228.7	199	0	2081.2	42
16	150.7	283.8	162	572.7	348	67.9	0	228.7	199	0	2012.8	42
17	150.7	283.8	162	572.7	348	45.2	0	228.7	199	0	1990.1	42
18	150.7	283.8	162	572.7	348	69.7	0	228.7	199	0	2014.6	42
19	150.7	283.8	162	572.7	348	129.2	0	228.7	199	0	2074.1	42
20	150.7	283.8	162	572.7	348	247.3	0	228.7	199	0	2192.2	42
21	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	85.8	2408.7	55
22	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	79.4	2402.3	55
23	150.7	283.8	162	572.7	348	300	52.7	228.7	199	0	2297.6	48
24	150.7	283.8	162	572.7	348	76.3	0	228.7	199	0	2021.2	42

Sl. 4.7. *Rezultati simulacija za neradne dane*

Slika 4.7. prikazuje rezultate simulacije za sve sate neradnih dana mjeseca svibnja 2019. godine. Prikazani su podatci o korištenju svake elektrane, ukupna potrošnja i granični trošak simulacije.

Vidljivo je da se u ranijim satima jako malo koriste termoelektrane zbog male potrošnje električne energije u sustavu i svoje visoke cijene proizvodnje. Prema očekivanjima, najviša granični trošak je pri visokim potrošnjama električne energije. Može se usporediti slike 3.7. i 4.8. jer imaju jasnu korelaciju.



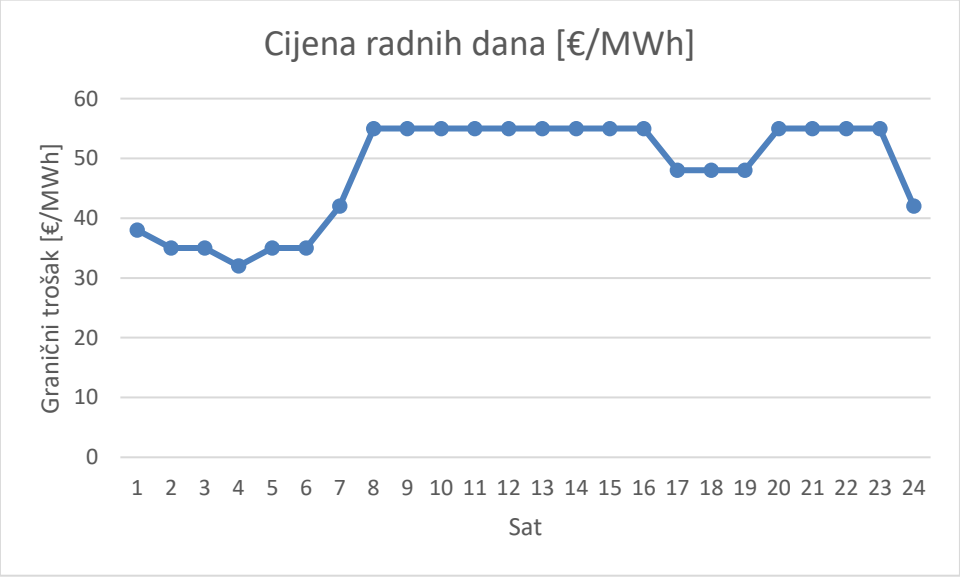
Sl. 4.8. *Graf graničnih troškova neradnih dana*

Sa slika 4.7. i 4.8. može se primijetiti da je cijena najviša kada je TE Rijeka u pogonu, u 12., 21. i 22. satu i iznosi očekivanih 55 €/MWh. Slična situacija je i kod radnih rana u mjesecu čiji rezultati su prikazani na slici 4.9. U ovom slučaju potrošnja je malo veća pa postoji razlika u cijenama, puno češće se mora koristiti TE Rijeka, TE Plomin je ugašena samo u četvrtom satu, a TE-TO Zagreb ne radi samo u ranim satima (slika 4.9.).

											PROIZVODNJA	MARGINALNA CIJENA
CIJENA [€/MWh]	0	0	0	0	32	42	48	38	35	55		
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	MW	€/MWh
1	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	64.9	199	0	1781.1	38
2	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	93.5	0	1610.7	35
3	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	13.4	0	1530.6	35
4	150.7	283.8	162	572.7	340.1	0	0	0	0	0	1509.3	32
5	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	26	0	1543.2	35
6	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	113.2	0	1630.4	35
7	150.7	283.8	162	572.7	348	54.3	0	228.7	199	0	1999.2	42
8	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	44.9	2367.8	55
9	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	197.1	2520.0	55
10	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	243.7	2566.6	55
11	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	216.3	2539.2	55
12	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	251.9	2574.8	55
13	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	240.1	2563.0	55
14	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	171.2	2494.1	55
15	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	82.8	2405.7	55
16	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	6.5	2329.4	55
17	150.7	283.8	162	572.7	348	300	53.8	228.7	199	0	2298.7	48
18	150.7	283.8	162	572.7	348	300	56.8	228.7	199	0	2301.7	48
19	150.7	283.8	162	572.7	348	300	75.4	228.7	199	0	2320.3	48
20	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	102.4	2425.3	55
21	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	287.5	2610.4	55
22	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	270.4	2593.3	55
23	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	114.5	2437.4	55
24	150.7	283.8	162	572.7	348	181.8	0	228.7	199	0	2126.7	42

Sl. 4.9. *Rezultati simulacija za radne dane*

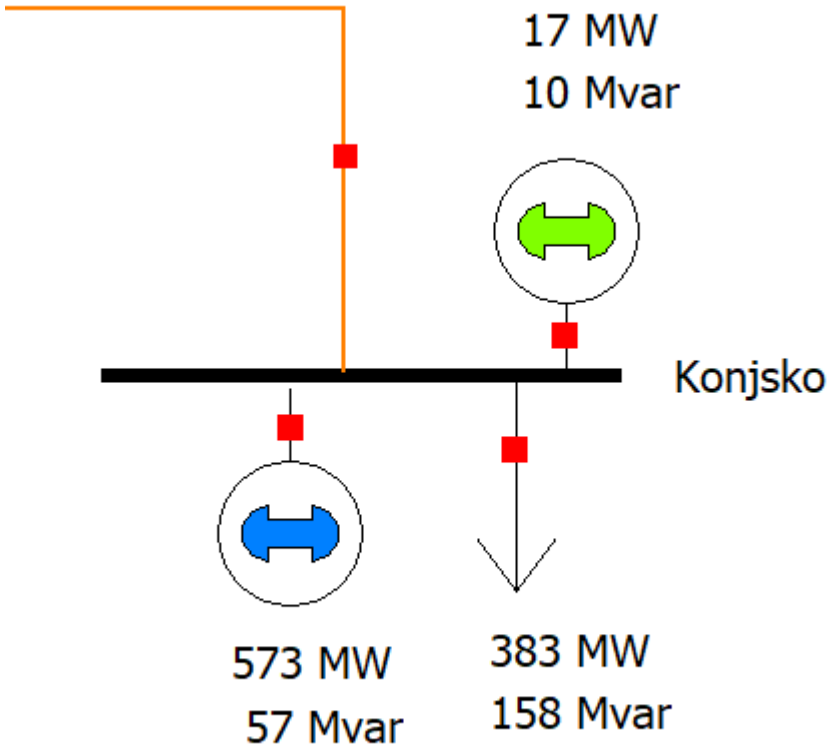
Granični trošak tada nije najrealnije prikazana jer je cijena proizvodnje za svaku od elektrana jednolika pa graf sa slike 4.10. odstupa od grafa sa slike 3.6.



Sl. 4.10. *Graf graničnog troška radnih dana*

4.2. Izvođenje simulacije s priključenim vjetroelektranama na mrežu

Kada vjetroelektranama istekne ugovor povlaštenih proizvođača električne energije, njihovi vlasnici ih plasiraju na otvoreno tržište. Pošto vjetroelektrane ne trebaju gorivo da bi bile u pogonu, njihovim vlasnicima je u interesu da prodaju svu proizvedenu električnu energiju jer je praktički besplatna. Tako ih izbace na tržište s cijenom od 0 €/MWh. U ovom dijelu rada u simulaciju će se dodati generator na čvoru Konjsko označen zelenom bojom (slika 4.11.) koji predstavlja vjetroelektrane koje su izašle na tržište i to u tri slučaja. Prvi slučaj će uzeti u obzir samo elektrane Ravna 1 i Trtar-Krtolin ukupne snage 17.15 MW jer su njima prvima istekli ugovori s HROTEom. U drugom dijelu simulacije s vjetroelektrana uzete su u obzir sve vjetroelektrane koje su potpisale ugovore 2014. godine ili ranije, a to su Ravna 1, Trtar-Krtolin, Orlice, Vrataruša, ZD6, Crno Brdo, ZD2, ZD3, Pometeno brdo, Ponikve, ST1-2, Jelinak, ST1-1, ZD4, Velika Glava, Bubrig i Crni Vrh te Zelengrad-Obrovac ukupne snage 339.25 MW, vidljivo iz tablice 2.2. Konačno, treći slučaj uzima u obzir sve trenutno izgrađene vjetroelektrane u radnom stanju, ukupne snage 572.95 MW.



Sl. 4.11. *Čvor Konjsko u simulacijskom programu PowerWorld*

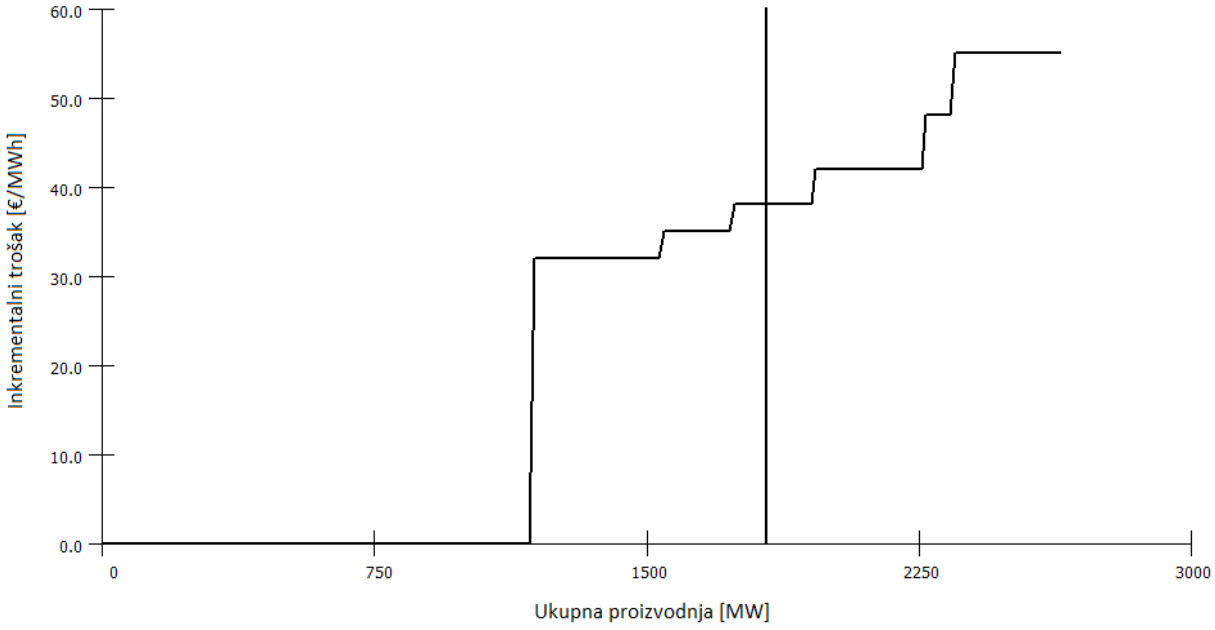
4.2.1. Dodanih 17.15 MW vjetroelektrana

Slika 4.12. prikazuje detaljne potrošnje generatora i granične troškove po satima za neradne dane s dodanih 17.15. MW vjetroelektrana u simulaciji.

																PROIZVODNJA		MARGINALNA CIJENA	
CIJENA [€/MWh]																			
sat	HE Sjever 0	HE Zapad 0	RHE Velebit 0	HE Jug 0	NE Krško 32	TE-TO Zg 42	KTE Jertovec 48	TE-TO Sisak 38	TE Plomin 35	TE Rijeka 55	Vjetroelektrane 0	MW		€/MWh	
1	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	95.75	199	0	17.15	1829.1		38	
2	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	111.65	0	17.15	1646.0		35	
3	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	15.85	0	17.15	1550.2		35	
4	150.7	283.8	162	572.7	326.65	0	0	0	0	0	17.15	1513.0		32	
5	150.7	283.8	162	572.7	330.85	0	0	0	0	0	17.15	1517.2		32	
6	150.7	283.8	162	572.7	329.15	0	0	0	0	0	17.15	1515.5		32	
7	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	113.45	0	17.15	1647.8		35	
8	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	150.45	199	0	17.15	1883.8		38	
9	150.7	283.8	162	572.7	348	116.55	0	228.7	199	0	17.15	2078.6		42	
10	150.7	283.8	162	572.7	348	257.95	0	228.7	199	0	17.15	2220.0		42	
11	150.7	283.8	162	572.7	348	300	31.35	228.7	199	0	17.15	2293.4		48	
12	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	3.15	17.15	2343.2		55	
13	150.7	283.8	162	572.7	348	300	47.65	228.7	199	0	17.15	2309.7		48	
14	150.7	283.8	162	572.7	348	239.75	0	228.7	199	0	17.15	2201.8		42	
15	150.7	283.8	162	572.7	348	119.15	0	228.7	199	0	17.15	2081.2		42	
16	150.7	283.8	162	572.7	348	50.75	0	228.7	199	0	17.15	2012.8		42	
17	150.7	283.8	162	572.7	348	28.05	0	228.7	199	0	17.15	1990.1		42	
18	150.7	283.8	162	572.7	348	52.55	0	228.7	199	0	17.15	2014.6		42	
19	150.7	283.8	162	572.7	348	112.05	0	228.7	199	0	17.15	2074.1		42	
20	150.7	283.8	162	572.7	348	230.15	0	228.7	199	0	17.15	2192.2		42	
21	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	68.65	17.15	2408.7		55	
22	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	62.25	17.15	2402.3		55	
23	150.7	283.8	162	572.7	348	300	35.55	228.7	199	0	17.15	2297.6		48	
24	150.7	283.8	162	572.7	348	59.15	0	228.7	199	0	17.15	2021.2		42	

Sl. 4.12. *Rezultati simulacija za neradne dane s dodanih 17.15 MW VE*

Usporedivši slike 4.12. i 4.7. da se primijetiti razlika u korištenju najskupljih elektrana. Njihova snaga je umanjena točno za 17.15 MW koje su vjetroelektrane preuzele na sebe. Granični trošak je tako ostala ista za svaki sat i graf izgleda identično kao na slici 4.8. Graf krivulje ponude i potražnje sa slike 4.6. pomaknuo se upravo za 17.15 MW u desno (slika 4.13.)



Sl. 4.13. *Graf krivulja ponude i potražnje s dodanih 17.15 MW VE*

Što se tiče radnih dana, tu se dogodilo da je proizvodnja TE Rijeke u šesnaestom satu bila manja nego proizvodnja simuliranih VE, što znači da ju nije bilo potrebe paliti i da je granični trošak za taj sat umjesto 55 €/MWh iznosila 48 €/MWh (slika 4.14.).

														PROIZVODNJA		MARGINALNA CIJENA
CIJENA [€/MWh]					32		48		38	35	55	0		MW	€/MWh	
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	Vjetroelektrane					
1	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	47.74	199	0	17.15			1781.1	38	
2	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	76.35	0	17.15			1610.7	35	
3	150.7	283.8	162	572.7	344.25	0	0	0	0	0	17.15			1530.6	32	
4	150.7	283.8	162	572.7	322.95	0	0	0	0	0	17.15			1509.3	32	
5	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	8.85	0	17.15			1543.2	35	
6	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	96.05	0	17.15			1630.4	35	
7	150.7	283.8	162	572.7	348	37.15	0	228.7	199	0	17.15			1999.2	42	
8	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	27.75	17.15			2367.8	55	
9	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	179.95	17.15			2520.0	55	
10	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	226.55	17.15			2566.6	55	
11	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	199.15	17.15			2539.2	55	
12	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	234.75	17.15			2574.8	55	
13	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	222.95	17.15			2563.0	55	
14	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	154.05	17.15			2494.1	55	
15	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	65.65	17.15			2405.7	55	
16	150.7	283.8	162	572.7	348	300	67.35	228.7	199	0	17.15			2329.4	48	
17	150.7	283.8	162	572.7	348	300	36.65	228.7	199	0	17.15			2298.7	48	
18	150.7	283.8	162	572.7	348	300	39.65	228.7	199	0	17.15			2301.7	48	
19	150.7	283.8	162	572.7	348	300	58.25	228.7	199	0	17.15			2320.3	48	
20	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	85.25	17.15			2425.3	55	
21	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	270.35	17.15			2610.4	55	
22	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	253.55	17.15			2593.6	55	
23	150.7	283.8	162	572.7	348	300	78	228.7	199	97.35	17.15			2437.4	55	
24	150.7	283.8	162	572.7	348	164.65	0	228.7	199	0	17.15			2126.7	42	

Sl. 4.14. *Rezultati simulacija za radne dane s dodanih 17.15 MW VE*

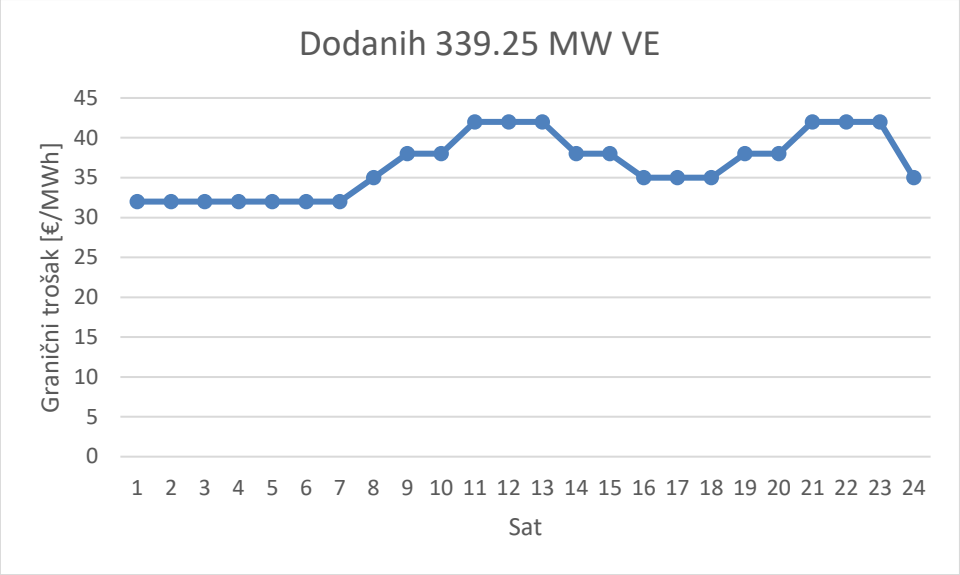
4.2.2. Dodanih 339.25 MW vjetroelektrana

Ove vjetroelektrane su uzete kao neka srednja vrijednost ukupne snage VE u Hrvatskoj, a zajedničko im je da su ugovori potpisani 2014. ili ranije. Pošto je ovo već preko 15% prosječne potrošnje, bit će vidljiva razlika u rezultatima u ovom koraku. Slika 4.15. prikazuje ukupne rezultate za neradne dane, a vidljiv je rast potrošnje u odnosu na prethodan slučaj (slika 4.12.). To se dogodilo jer je generator koji predstavlja priključen na čvor Konjsko, a napaja potrošače po cijeloj Hrvatskoj, odnosno mijenja razne elektrane (NE Krško, TE Plomin itd.) koje mu nisu bliske, kao ni potrošači. Samim prijenosom energije ostvaruju se gubitci u vodovima. Ti gubitci nadoknađeni su većom proizvodnjom.

												PROIZVODNJA	MARGINALNA CIJENA
CIJENA [€/MWh]	0	0	0	0	32	42	48	38	35	55	0		
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	Vjetroelektrane	MW	€/MWh
1	150.7	283.8	162	572.7	341	0	0	0	0	0	339.25	1849.5	32
2	150.7	283.8	162	572.7	157.55	0	0	0	0	0	339.25	1666.0	32
3	150.7	283.8	162	572.7	61.75	0	0	0	0	0	339.25	1570.2	32
4	150.7	283.8	162	572.7	24.55	0	0	0	0	0	339.25	1533.0	32
5	150.7	283.8	162	572.7	350.85	0	0	0	0	0	339.25	1859.3	32
6	150.7	283.8	162	572.7	27.05	0	0	0	0	0	339.25	1535.5	32
7	150.7	283.8	162	572.7	159.35	0	0	0	0	0	339.25	1667.8	32
8	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	47.35	0	339.25	1903.8	35
9	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	38.15	199	0	339.25	2093.6	38
10	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	189.55	199	0	339.25	2245.0	38
11	150.7	283.8	162	572.7	348	25.95	0	228.7	199	0	339.25	2310.1	42
12	150.7	283.8	162	572.7	348	76.55	0	228.7	199	0	339.25	2360.7	42
13	150.7	283.8	162	572.7	348	39.85	0	228.7	199	0	339.25	2324.0	42
14	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	165.7	199	0	339.25	2221.2	38
15	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	42.6	199	0	339.25	2098.1	38
16	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	171.35	0	339.25	2027.8	35
17	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	151.75	0	339.25	2008.2	35
18	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	173.15	0	339.25	2029.6	35
19	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	34.65	199	0	339.25	2090.1	38
20	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	152.15	199	0	339.25	2207.6	38
21	150.7	283.8	162	572.7	348	141	0	228.7	199	0	339.25	2425.2	42
22	150.7	283.8	162	572.7	348	133.15	0	228.7	199	0	339.25	2417.3	42
23	150.7	283.8	162	572.7	348	27.45	0	228.7	199	0	339.25	2311.6	42
24	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	180.75	0	339.25	2037.2	35

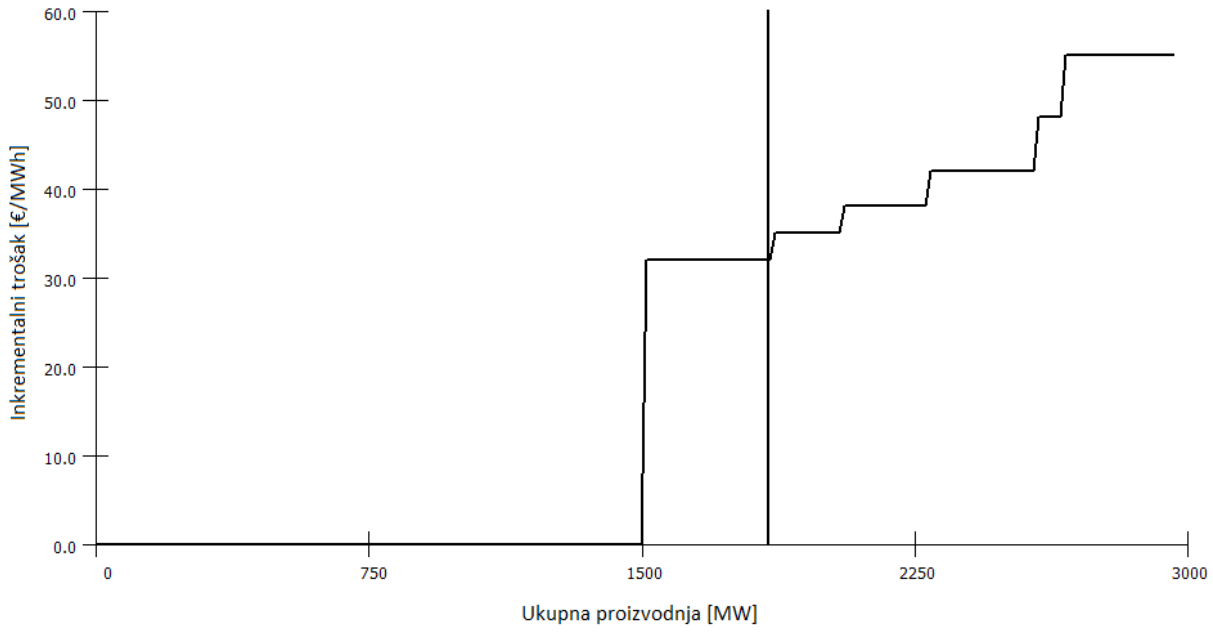
Sl. 4.15. *Rezultati simulacija za neradne dane s dodanih 339.25 MW VE*

Na slici 4.16. vide se granični troškovi neradnog dana s dodanih 339.25 MW vjetroelektrana. Primjećuje se osjetan pad u cijeni, kao i izbacivanje TE Rijeka i KTE Jertovec iz upotrebe.



Sl. 4.16. *Graf graničnih troškova neradnih dana s dodanih 339.25 MW VE*

Graf ponude i potražnje za prvi sat sada je vrlo osjetno pomaknut u stranu, snižavajući granični trošak te sada postoji 1500 MW besplatnih proizvodnih kapaciteta (slika 4.17.)



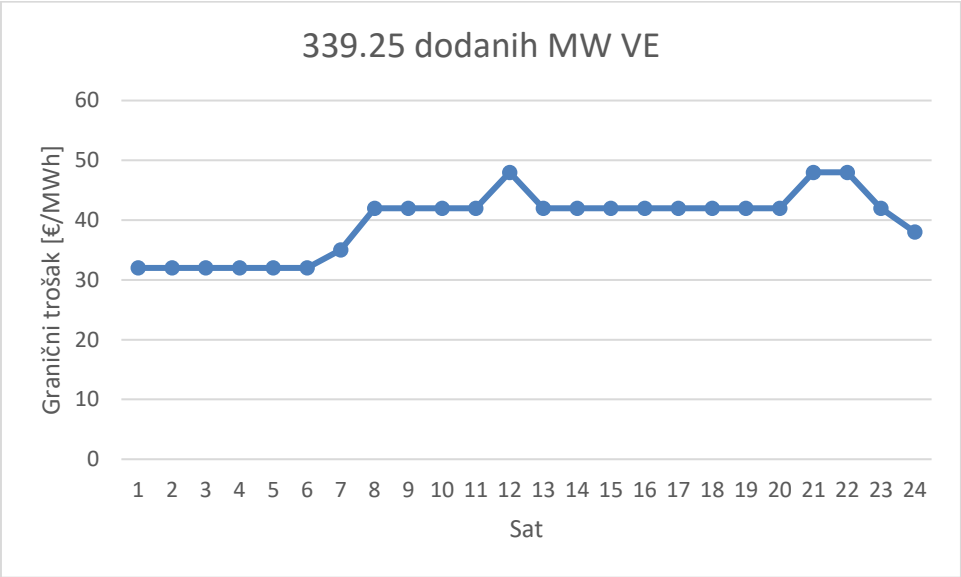
Sl. 4.17. *Graf krivulja ponude i potražnje s dodanih 339.25 MW VE*

Što se tiče radnih dana u mjesecu, i tu je izražena razlika u potrošnji električne energije i graničnom trošku (slika 4.18.). TE Rijeka izbačena je iz upotrebe, a KTE Jertovec se jako rijetko pali.

															PROIZVODNJA	
CIJENA [€/MWh]	0	0	0	0	32	42	48	38	35	55	0				MARGINALNA CIJENA	
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	Vjetroelektrane		MW		€/MWh	
1	150.7	283.8	162	572.7	290.64	0	0	0	0	0	339.25		1799.1		32	
2	150.7	283.8	162	572.7	120.25	0	0	0	0	0	339.25		1628.7		32	
3	150.7	283.8	162	572.7	40.15	0	0	0	0	0	339.25		1548.6		32	
4	150.7	283.8	162	572.7	18	0	0	0	0	0	339.25		1526.5		32	
5	150.7	283.8	162	572.7	52.75	0	0	0	0	0	339.25		1561.2		32	
6	150.7	283.8	162	572.7	139.95	0	0	0	0	0	339.25		1648.4		32	
7	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	142.75	0	339.25		1999.2		35	
8	150.7	283.8	162	572.7	348	101.65	0	228.7	199	0	339.25		2385.8		42	
9	150.7	283.8	162	572.7	348	253.85	0	228.7	199	0	339.25		2538.0		42	
10	150.7	283.8	162	572.7	348	300	0	228.7	199	0	339.25		2584.2		42	
11	150.7	283.8	162	572.7	348	273.05	0	228.7	199	0	339.25		2557.2		42	
12	150.7	283.8	162	572.7	348	300	8.47	228.7	199	0	339.25		2592.6		48	
13	150.7	283.8	162	572.7	348	296.85	0	228.7	199	0	339.25		2581.0		42	
14	150.7	283.8	162	572.7	348	227.95	0	228.7	199	0	339.25		2512.1		42	
15	150.7	283.8	162	572.7	348	139.55	0	228.7	199	0	339.25		2423.7		42	
16	150.7	283.8	162	572.7	348	63.25	0	228.7	199	0	339.25		2347.4		42	
17	150.7	283.8	162	572.7	348	32.55	0	228.7	199	0	339.25		2316.7		42	
18	150.7	283.8	162	572.7	348	35.55	0	228.7	199	0	339.25		2319.7		42	
19	150.7	283.8	162	572.7	348	54.15	0	228.7	199	0	339.25		2338.3		42	
20	150.7	283.8	162	572.7	348	159.15	0	228.7	199	0	339.25		2443.3		42	
21	150.7	283.8	162	572.7	348	300	44.25	228.7	199	0	339.25		2628.4		48	
22	150.7	283.8	162	572.7	348	300	25.45	228.7	199	0	339.25		2609.6		48	
23	150.7	283.8	162	572.7	348	175.45	0	228.7	199	0	339.25		2459.6		42	
24	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	89.25	199	0	339.25		2144.7		38	

Sl. 4.18. *Rezultati simulacija za radne dane s dodanih 339.25 MW VE*

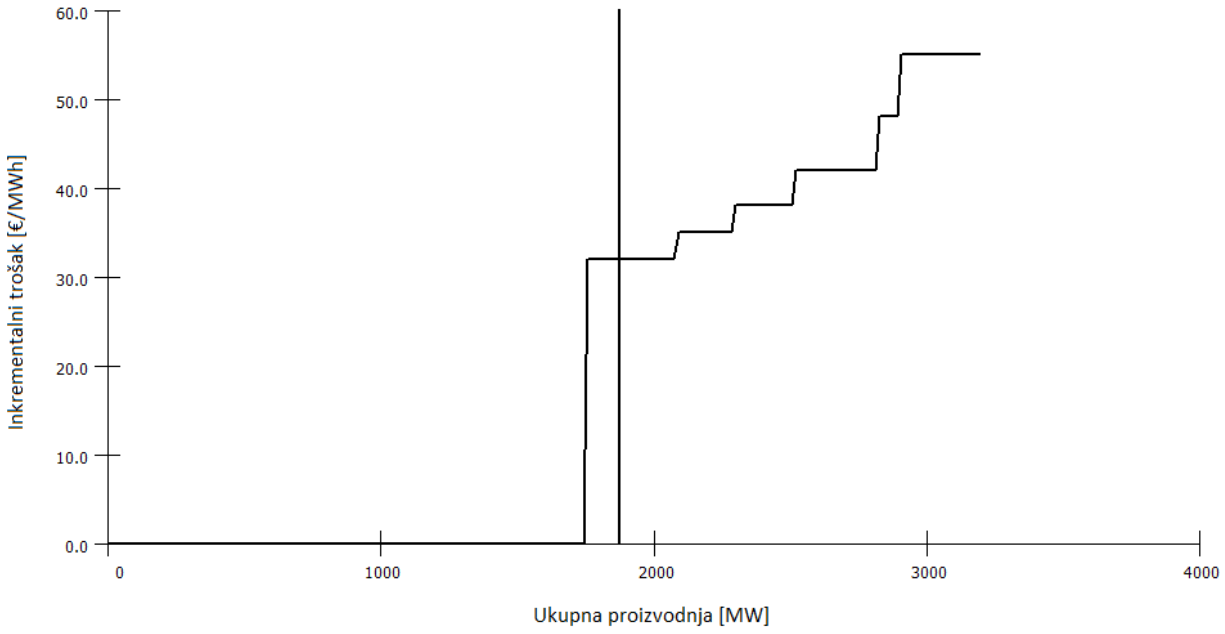
Maksimalna cijena sada iznosi 48 €/MWh i to u samo tri navrata pri najvećoj potrošnji. Minimalna cijena je 32 €/MWh koju diktira NE Krško koja ni u jednom slučaju nije trebala biti ugašena, vidljivo na slikama 4.18. i 4.19.



Sl. 4.19. *Graf graničnih troškova radnih dana s dodanih 339.25 MW VE*

4.2.3. Dodanih 572.95 MW vjetroelektrana

Sav trenutni raspoloživi proizvodni kapacitet vjetroelektrana u Hrvatskoj iznosi 572.95 MW. Ta brojka iznosi oko 25% potrošnje električne energije u ovoj simulaciji. Tako se krivulja ponude i potražnje već jako pomaknula u desno, dobivši još ponuda cijene 0 €/MWh (slika 4.20). Sada već postoje 1742 MW proizvodnih kapaciteta koji na tržište nude energiju s cijenom od 0 €/MWh. Kako je minimalna potrošnja ispod tog broja, granični trošak će ići na 0 €.



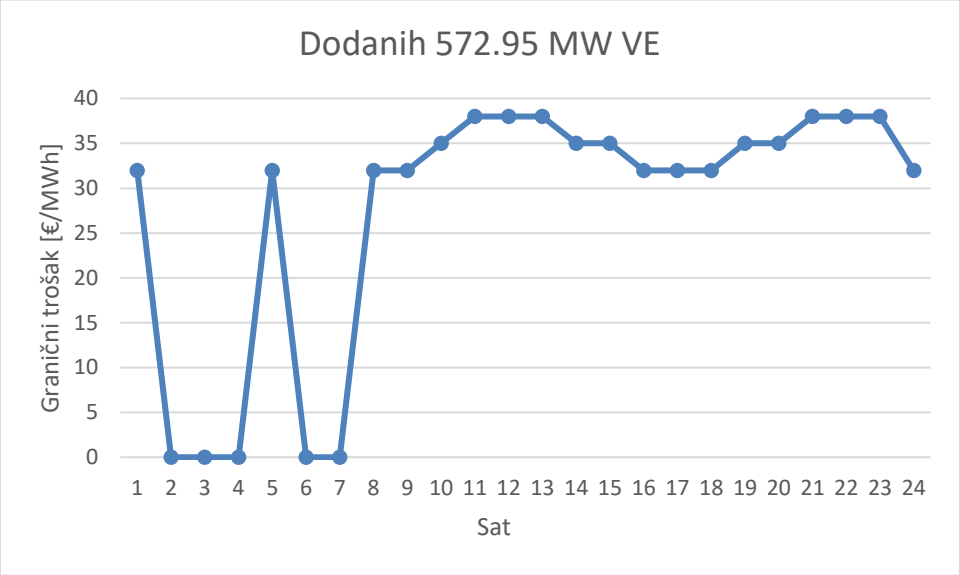
Sl. 4.20. *Graf krivulja ponude i potražnje s dodanih 572.95 MW VE*

Na slici 4.21. prikazana je proizvodnja po generatoru za neradne dane. Odmah je uočljiva situacija gdje nijedna od „skupih“ elektrana ne proizvodi energiju. Vidljivo je i gašenje NE Krško u situacijama kada potrošnja ne prelazi spomenutih 1742 MWh.

															PROIZVODNJA	MARGINALNA CIJENA
CIJENA [€/MWh]																
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	Vjetroelektrane				MW	€/MWh
1	150.7	283.8	162	572.7	131	0	0	0	0	0	572.95				1873.2	32
2	150.7	283.8	162	511.1	0	0	0	0	0	0	572.95				1680.6	0
3	150.7	283.8	162	430.75	0	0	0	0	0	0	572.95				1600.2	0
4	150.7	283.8	162	393.45	0	0	0	0	0	0	572.95				1562.9	0
5	150.7	283.8	162	572.7	148.75	0	0	0	0	0	572.95				1890.9	32
6	150.7	283.8	162	398.05	0	0	0	0	0	0	572.95				1567.5	0
7	150.7	283.8	162	522.75	0	0	0	0	0	0	572.95				1692.2	0
8	150.7	283.8	162	572.7	180.6	0	0	0	0	0	572.95				1922.8	32
9	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	0	0	572.95				2090.2	32
10	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	169.5	0	572.95				2259.7	35
11	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	54.05	199	0	572.95				2343.2	38
12	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	99.85	199	0	572.95				2389.0	38
13	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	69.55	199	0	572.95				2358.7	38
14	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	159.65	0	572.95				2249.8	35
15	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	42.55	0	572.95				2132.7	35
16	150.7	283.8	162	572.7	318.65	0	0	0	0	0	572.95				2060.8	32
17	150.7	283.8	162	572.7	292.95	0	0	0	0	0	572.95				2035.1	32
18	150.7	283.8	162	572.7	311.85	0	0	0	0	0	572.95				2054.0	32
19	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	37.25	0	572.95				2127.4	35
20	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	148.55	0	572.95				2238.7	35
21	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	165.45	199	0	572.95				2454.6	38
22	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	157.15	199	0	572.95				2446.3	38
23	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	51.25	199	0	572.95				2340.4	38
24	150.7	283.8	162	572.7	325.05	0	0	0	0	0	572.95				2067.2	32

Sl. 4.21. *Rezultati simulacija za neradne dane s dodanih 572.95 MW VE*

Krivulja cijena je dosegla 0 u nekoliko navrata, vrlo velika razlika u odnosu na prvi slučaj u kojem nisu simulirane vjetroelektrane (slika 4.22.). TE Rijeka, KTE Jertovec i TE-TO Zagreb se uopće ne pale, maksimalnu cijenu diktira TE-TO Sisak.



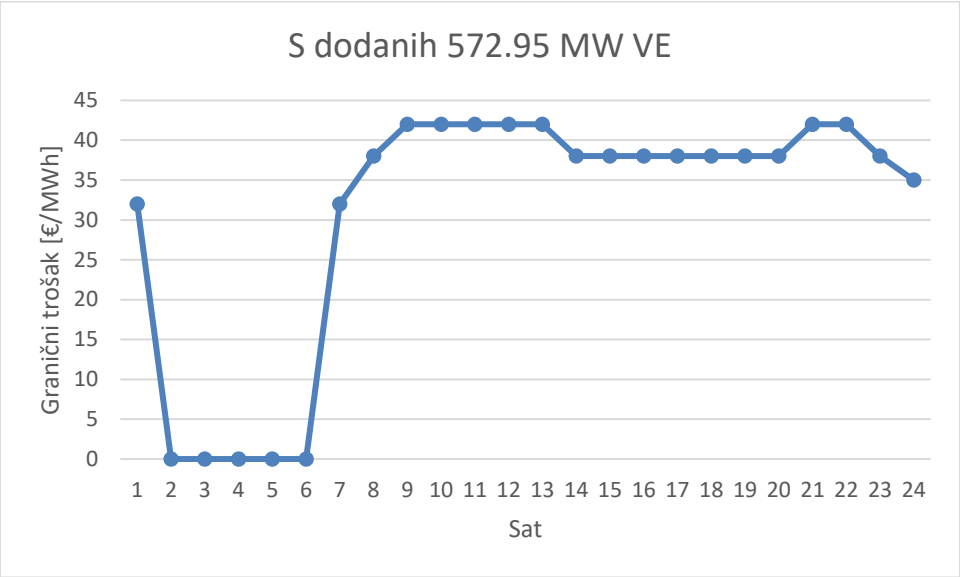
Sl. 4.22. *Graf graničnih troškova neradnih dana s dodanih 572.95 MW VE*

Vrlo slična situacija opet i s radnim danima, gdje NE Krško uopće nije u pogonu između drugog i šestog sata, TE Rijeka i KTE Jertovec ponovno ne sudjeluju u proizvodnji, a maksimalna cijena doseže 42 €/MWh (slika 4.23.).

												PROIZVODNJA	MARGINALNA CIJENA
CIJENA [€/MWh]	0	0	0	0	32	42	48	38	35	55	0		
sat	HE Sjever	HE Zapad	RHE Velebit	HE Jug	NE Krško	TE-TO Zg	KTE Jertovec	TE-TO Sisak	TE Plomin	TE Rijeka	Vjetroelektrane	MW	€/MWh
1	150.7	283.8	162	572.7	57.94	0	0	0	0	0	572.95	1800.1	32
2	150.7	283.8	162	460.25	0	0	0	0	0	0	572.95	1629.7	0
3	150.7	283.8	162	380.15	0	0	0	0	0	0	572.95	1549.6	0
4	150.7	283.8	162	358	0	0	0	0	0	0	572.95	1527.5	0
5	150.7	283.8	162	392.75	0	0	0	0	0	0	572.95	1562.2	0
6	150.7	283.8	162	479.95	0	0	0	0	0	0	572.95	1649.4	0
7	150.7	283.8	162	572.7	276.05	0	0	0	0	0	572.95	2018.2	32
8	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	97.65	199	0	572.95	2386.8	38
9	150.7	283.8	162	572.7	348	21.15	0	228.7	199	0	572.95	2539.0	42
10	150.7	283.8	162	572.7	348	67.75	0	228.7	199	0	572.95	2585.6	42
11	150.7	283.8	162	572.7	348	40.35	0	228.7	199	0	572.95	2558.2	42
12	150.7	283.8	162	572.7	348	75.95	0	228.7	199	0	572.95	2593.8	42
13	150.7	283.8	162	572.7	348	64.15	0	228.7	199	0	572.95	2582.0	42
14	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	223.95	199	0	572.95	2513.1	38
15	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	135.55	199	0	572.95	2424.7	38
16	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	59.25	199	0	572.95	2348.4	38
17	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	28.55	199	0	572.95	2317.7	38
18	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	31.55	199	0	572.95	2320.7	38
19	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	50.15	199	0	572.95	2339.3	38
20	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	155.15	199	0	572.95	2444.3	38
21	150.7	283.8	162	572.7	348	111.55	0	228.7	199	0	572.95	2629.4	42
22	150.7	283.8	162	572.7	348	94.75	0	228.7	199	0	572.95	2612.6	42
23	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	167.55	199	0	572.95	2456.7	38
24	150.7	283.8	162	572.7	348	0	0	0	55.35	0	572.95	2145.5	35

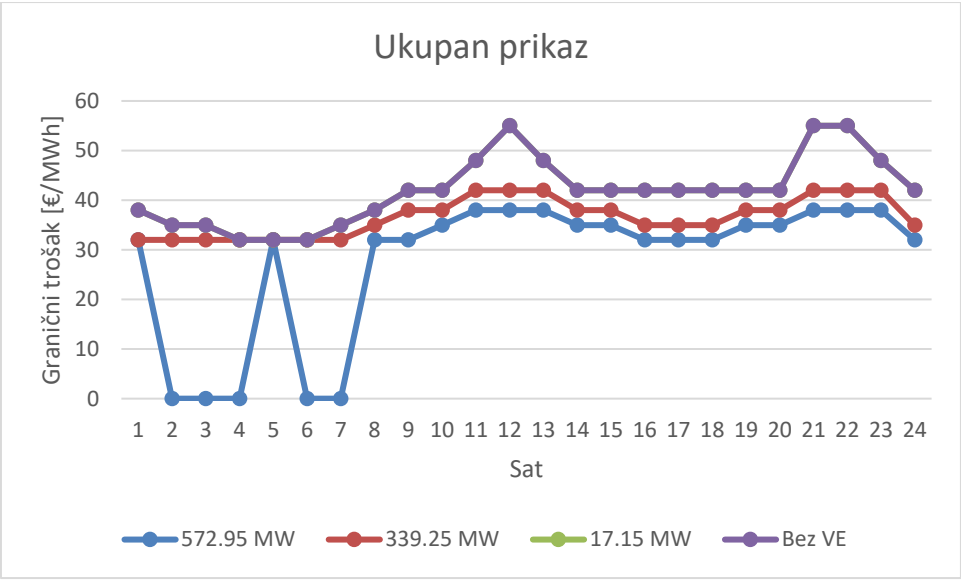
Sl. 4.23. *Rezultati simulacija za radne dane s dodanih 572.95 MW VE*

Krivulja cijena za radne dane u slučaju simulacije s dodanih 572.95 MW vjetroelektrana prikazana je na slici 4.24.



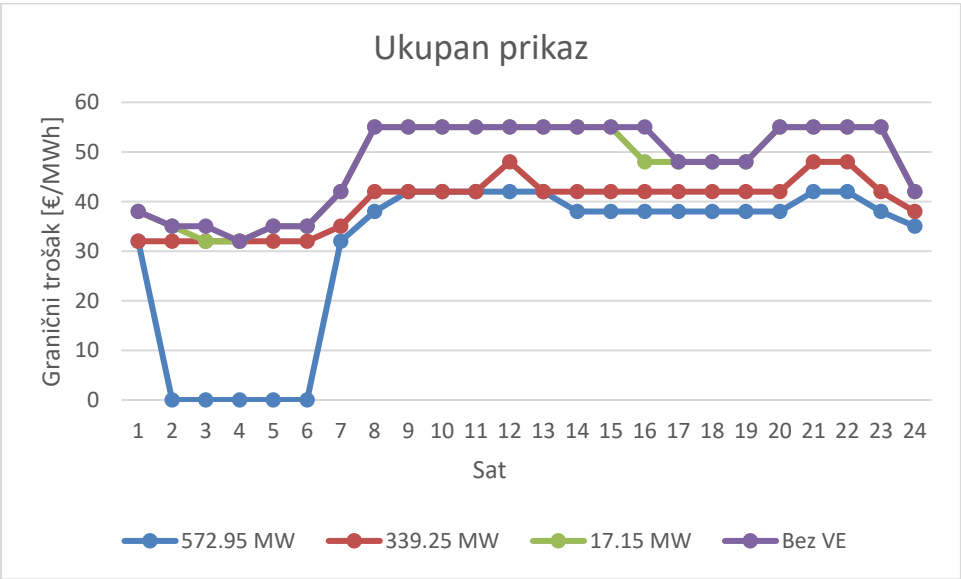
Sl. 4.24. *Graf graničnih troškova radnih dana s dodanih 572.95 MW VE*

Usporedba svih grafova graničnih troškova neradnih dana prikazana je na slici 4.25. Vidljivo je da su cijene bez VE i s dodanih 17.15 MW identične te se njihove krivulje preklapaju. Odmah se prepozna da što je više instalirane snage vjetroelektrana i njihove jeftine energije, to su cijene manje. Također se može primijetiti da cijena za određene sate ide u nulu kada priključimo puni kapacitet vjetroelektrana. U stvarnosti to neće biti nula jer čak i hidroelektrane imaju neke troškove. No, u slučaju da stvarno dođe do situacije gdje bi trebalo ugasiti NE Krško, to se ne bi dogodilo, već bi NE Krško platila nekome da otkupi njenu električnu energiju, jer trošak gašenja i paljenja nuklearne elektrane je neusporedivo veći od penala koje bi ona morala platiti da ostane u pogonu u slučaju viška električne energije na tržištu. U trećem poglavlju je spomenut takav scenarij gdje je stvarna cijena električne energije prešla u negativne vrijednosti (-5.48 €/MWh devetnaestog sata nedjelje 26. svibnja).



Sl. 4.25. *Graf graničnih troškova neradnih dana s dodanih 572.95 MW VE za sva 4 slučaja*

Ista stvar se dogodila i kod simulacije radnih dana, koji uglavnom imaju veću potrošnju od neradnih. Slika 4.26. prikazuje usporedbu sva četiri slučaja graničnih troškova simulacija za radne dane. Cijena je također išla u nulu i vrlo je lako vidljivo da što je više instalirane snage vjetroelektrana, to je cijena manja.



Sl. 4.26. *Graf graničnih troškova radnih dana s dodanih 572.95 MW VE za sva 4 slučaja*

5. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad obrađene su vjetroelektrane, njihove vrste i tipovi, uloga u elektroenergetskom sustavu i njihov ekonomski aspekt. Opisana je burza električne energije s naglaskom na Dan unaprijed tržište te su analizirane cijene električne energije. Prikazan je hrvatski elektroenergetski sustav s posebnim naglaskom na prijenosnu mrežu. U računalnom programu PowerWorld simuliran je 400 kV dio mreže hrvatskog elektroenergetskog sustava i rađena je ekonomska analiza tržišta. Uspoređeni su slučajevi s priključenim vjetroelektranama na mrežu i bez njih. Analizirani rezultati pokazuju da vjetroelektrane imaju obrnuto proporcionalan učinak na cijenu električne energije, odnosno što je više instalirano proizvodne moći vjetroelektrana, to je manja cijena električne energije. Rezultati potvrđuju pretpostavke s kojima se krenulo u izradu praktičnog dijela ovog rada.

POPIS LITERATURE

[1] D. Šljivac, D. Topić, Obnovljivi izvori električne energije, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2018.

[2] N. Jerkić, VE u regiji: Vjetroelektrana Ravne 1, Pag, 2010., dostupno na http://vjetroelektrane.com/vjetroelektrane-u-regiji/234-vjetroelektrana-ravne-1-pag, 27.8.2019.

[3] službene stranice Globalnog vijeća za energiju vjetra (eng. Global wind energy council), dostupno na https://gwec.net, 27.8.2019.

[4] D. Sabolić, Cjenovni signali s tržišta električne energije i sustavi subvencija za obnovljive izvore, Zagreb, Hrvatsko energetsko društvo, 2013.

[5] A. Jäger-Waldau, PV Status Report 2018., JRC science for policy report

[6] službene stranice Hrvatskog operatora tržišta energije, dostupno na https://www.hrote.hr 11.9.2019.

[7] B. Udovičić, Elektroenergetski sustav, Kigen, Zagreb, 2005.

[8] M. Ožegović i K. Ožegović, Električne energetske mreže I, FESB Split i OPAL COMPUTING, Split, 1996.

[9] službene stranice Hrvatskog operatora prijenosnog sustava, dostupno na https://www.hops.hr 11.9.2019.

[10] službene stranice Hrvatske burze električne energije, dostupno na https://www.cropex.hr 11.9.2019.

[11] službene stranice HEP Proizvodnje, dostupno na http://www.hep.hr/proizvodnja/, 20.9.2019.

SAŽETAK

Zadatak rada bio je analizirati utjecaj vjetroelektrana na tržište električne energije kroz djelovanje na promjenu cijene električne energije. Osnovna ideja rada je kroz simulacije i izračune u računalnom programu pokazati da uz zadovoljene naponske i strujne uvjete mreže ulazak vjetroelektrana na otvoreno tržište rezultira smanjenjem cijene električne energije.

Ključne riječi: cijena, Dan unaprijed tržište, Hrvatski operator tržišta energije, prijenosna mreža, tržište električne energije, vjetroelektrane.

ABSTRACT

The goal of the paper was to analyse the impact of wind power on the electricity market by acting on electricity price changes. The basic idea is to show, using simulations and calculations in a computer program, that the entry of wind power into the open market with current and voltage conditions of the network being met results in a reduction in the price of electricity.

Key words: Croatian energy market operator, Day ahead market, transmission system, electricity market, price, wind power plants.

ŽIVOTOPIS

Dragan Dejanović rođen je 12. prosinca 1993. godine u Bjelovaru. Godine 2000. upisuje Osnovnu školu Braća Ribar u Sisku, koju predstavlja na brojnim gradskim i županijskim natjecanjima iz matematike, fizike, engleskog jezika i drugih predmeta. U petom razredu osvaja 3. mjesto na županijskom natjecanju iz matematike, u šestom razredu 2. mjesto na županijskom natjecanju iz matematike te sudjeluje na regionalnom natjecanju, a u sedmom razredu 3. mjesto na županijskom natjecanju iz matematike. 2008. godine upisuje Gimnaziju Sisak, prirodoslovno matematički smjer, gdje također nastupa na županijskim natjecanjima iz matematike i fizike. Tijekom osnovne i srednje škole aktivan je član Šahovskog društva Sisak s kojim 2009. godine osvaja treće mjesto na Finalu kadetskih liga Hrvatske. 2012. godine upisuje Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu koji u dva navrata predstavlja na Elektrijadi gdje iz natjecanja u šahu osvaja pojedinačnu brončanu medalju i ekipne zlatnu i brončanu medalju. 2014. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku (današnji FERIT) gdje odabire smjer elektroenergetike. 2017. godine stječe akademsko zvanje prvostupnika inženjera elektrotehnike te iste godine nastavlja s diplomskim studijem elektrotehnike na smjeru DEA – elektroenergetski sustavi.