

NOVA MREŽNA PRAVILA I UVJETI PRILIKOM PRIKLJUČENJA VE NA PRIJENOSNU MREŽU

Šekerija, Karlo

Undergraduate thesis / Završni 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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:617697>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**

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

**NOVA MREŽNA PRAVILA I UVJETI PRILIKOM
PRIKLJUČENJA VE NA PRIJENOSNU MREŽU**

Završni rad

Karlo Šekerija

Osijek, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada	1
2. USPOREDBA MREŽNIH PRAVILA	2
2.1. Mrežna pravila elektroenergetskog i prijenosnog sustava	2
2.2. Usporedba starih [1] i novih [2] mrežnih pravila	2
2.3. Promjene u mrežnim pravilima	12
2.4. Procedura prilikom priključenja VE na mrežu	13
3. VJETROELEKTRANE	16
3.1. Povijest vjetroelektrana	16
3.2. Vrste vjetroelektrana	17
3.3. Vjetroelektrane danas	20
3.4. Situacija u Hrvatskoj	24
4. SIMULACIJA TOKOVA SNAGA	26
4.1. IEEE 14 sabirnica testni sustav	26
4.1.1. Prva situacija – vjetropark na sabirnici 3	29
4.1.2. Druga situacija – vjetropark na sabirnici 6	33
4.1.3. Treća situacija – vjetropark na sabirnici 8	35
5. ZAKLJUČAK	38
LITERATURA	39
SAŽETAK	42
ABSTRACT	42
ŽIVOTOPIS	43

1. UVOD

Potreba za električnom energijom danas je sve veća, a život bez nje je nezamisliv. Opće je poznato kako se električna energija može dobiti iz obnovljivih, a i obnovljivih izvora energije. Stoga, Sunce, voda i vjetar postaju alternativni izvori električne energije zamjenjujući fosilna goriva i štetne plinove kao njihov produkt. Kako oni postaju glavni izvori energije, tako njihovu proizvodnju treba pravilno osigurati, no ne samo njihovu proizvodnju, već i cijeli elektroenergetski sustav. Nadležne državne ustanove poradi toga uspostavljaju pravila koja su važna za pravilan rad elektroenergetskog sustava. Sustav se sastoji od izvora, prijenosne mreže i distributivne mreže te svako od njih mora biti pravilno osigurano.

Zadatak ovog završnog rada je usporediti stara i nova mrežna pravila s aspekta priključenja vjetroelektrane prilikom priključivanja na prijenosnu mrežu. Rad se sastoji od dva dijela, teorijskog i proračunskog, odnosno praktičnog dijela. Teorijski dio proteže se kroz drugo i treće poglavlje u kojima je prikazana podloga bitna za razumijevanje praktičnog dijela. U drugom su poglavlju uspoređena stara i nova mrežna pravila, a njihovom usporedbom dolazimo do uvida u promjene. Uz to, kompletno je opisan i proces priključenja vjetroelektrane na mrežu. Sve općenito o vjetroelektranama i vrstama vjetroelektrana opisano je u trećem poglavlju. Treće poglavlje također sadrži opisanu situaciju vjetroelektrana i energije vjetra, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Četvrto poglavlje sadrži praktični dio. U četvrtom je poglavlju opisana kompletna simulacija tokova snaga obrađena u PowerWorld programskom paketu na IEEE testnom modelu s 14 sabirnica te prikazuje ponašanje vjetroelektrana prilikom uvjeta u kojima je naponska regulacija prisutna te u kojima nije.

1.1. Zadatak završnog rada

U završnom radu je potrebno opisati nova mrežna pravila prijenosnog sustava sa posebnim osvrtom na dio koji se odnosi na priključak vjetroelektrana na prijenosnu mrežu. Usporediti stara i nova mrežna pravila po tom pitanju. Izvršiti proračun tokova snaga sa ciljem provjere strujno-naponskih prilika prilikom priključenja vjetroparka na prijenosnu mrežu.

2. USPOREDBA MREŽNIH PRAVILA

2.1. Mrežna pravila elektroenergetskog i prijenosnog sustava

Stara mrežna pravila [1] donesena su 2006. godine od strane tadašnjeg ministra gospodarstva, rada i poduzetništva Branka Vukelića. Stara mrežna pravila [1] sadrže uvjete i pravila za priključenje proizvodnih jedinica na mrežu, uključujući i vjetroelektrane. U pravilima su opisani načini i uvjeti spajanja pogona paralelno s mrežom, odnosno spajanje vjetroelektrana koje sadrže asinkrone i sinkrone generatore zajedno sa sustavom. Pravilo isto tako kazuje u kojim se granicama proizvodnja jalove snage treba odvijati. Stara mrežna pravila [1] sadrže i dodatne tehničke uvjete za priključenja vjetroparka sa snagom do 5 MW. U starim mrežnim pravilima [1] imamo tablice dopuštenih iznosa ograničenja promjene napona te emisija harmonijskih struja kojih se prilikom proizvodnje treba pridržavati.

Nova mrežna pravila [2] donesena su 2017. godine od strane Hrvatskog operatora prijenosnog sustava (HOPS-a) [3], za razliku od starih mrežnih pravila [1] koja su donesena od strane ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva. U odnosu na pravila i uvjete iz 2006. godine, u kojima su većina pravila bila jednaka kao i za sve ostale elektrane, ova pravila imaju posebne uvjete za priključak vjetroelektrana. „Posebni uvjeti za priključak vjetroelektrana“ se sastoje od 12 članaka i nekoliko stavki pa tako jedna stavka toga članka govori kako se pri padu frekvencije do određene brzine vjetroelektrane ne iskapčaju s mreže. U novim mrežnim pravilima [2] navedeno je pravilo vezano uz ugrađene upravljačke sustave kod vjetroelektrana prilikom primarne regulacije frekvencije. Kako i u starim mrežnim pravilima [1], tako i u novima [2] postoji pravilo koje govori o faktoru snage te granicama proizvodnje jalove snage. Također je dano pravilo po pitanju komunikacije između vjetrojedinica i vjetroelektrana. Vjetroelektrana mora biti projektirana i izvedena kako bi bez zakašnjenja osiguravala izvođenje svih naloženih promjena.

2.2. Usporedba starih [1] i novih [2] mrežnih pravila

Za razliku od starih mrežnih pravila [1] 2006. godine, koja se sastoje i od pravila za distribucijsku i od pravila za prijenosnu mrežu, u novim mrežnim pravilima [2] 2017. godine iznesena su samo pravila za prijenosnu mrežu. Tablica Tab. 2.1. prikazuje članke za opće uvjete priključenja proizvodnih jedinica na mrežu u starim i u novim mrežnim pravilima.

Tab. 2.1. Opći uvjeti priključenja proizvodnih jedinica na mrežu

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
„Tehnički i pogonski uvjeti za priključenje na distribucijsku mrežu propisuju se ovim Pravilima radi osiguranja normalnog pogona distribucijske mreže, sprječavanja nedopuštenog povratnog djelovanja na mrežu i postojeće korisnike mreže.“	„Postupak priključenja na prijenosnu mrežu utvrđen je propisima kojima se uređuje priključenje, naknada za priključenje i povećanje priključne snage te ovim Mrežnim pravilima.“
„Nazivna vrijednost frekvencije u hrvatskom elektroenergetskom sustavu iznosi 50,00 Hz, osim u razdobljima korekcije, sinkronog vremena kada se, prema nalogu operatera koordinacijskog centra ili operatere prijenosnog sustava, frekvencija podešava na zadanih 49,99 Hz ili 50,01 Hz.“	„Nazivna frekvencija u hrvatskom elektroenergetskom sustavu iznosi 50,00 Hz.“
„U normalnim pogonskim uvjetima, u interkonekcijskom radu, dopušteno odstupanje frekvencije od nazivne vrijednosti (50,00 Hz) iznosi ± 50 mHz.“	„U normalnim pogonskim uvjetima i pri radu hrvatskog elektroenergetskog sustava u interkonekciji, frekvencija se održava u granicama od 49,95 Hz do 50,05 Hz. Frekvencija [...] mora biti održavana tijekom godine u 99,5 % prosjeka 10 sekundnih mjernih intervala.“
	„U izoliranom radu: frekvencija se održava u granicama od 49,50 Hz do 50,50 Hz. Frekvencija u granicama od 49,00 Hz do 51,00 Hz mora biti održavana tijekom svakog tjedna u 95,0 % prosjeka 10 sekundnih mjernih intervala.“
	„U poremećenim uvjetima: frekvencija se može kretati u granicama od 47,50 Hz do 51,50 Hz.“

<p>„Iznos napona u normalnom pogonu: - za niski napon: +6%/-10% (do 2010.godine) te $\pm 10\%$ (nakon 2010.godine) u skladu s Pravilnikom o normiranim naponima za distribucijske niskonaponske električne mreže i električnu opremu, - za srednji napon (10kV, 20kV, 30kV, 35kV): $\pm 10\%$.“</p>	<p>„Iznos napona u normalnom pogonu: - u mreži 400 kV: $400 - 10\% + 5\% = 360-420$ kV, - u mreži 220 kV: $220 \pm 10\% = 198-242$ kV, - u mreži 110 kV: $110 \pm 10\% = 99-121$ kV, - na priključku mreže 35(30) kV: $35(30) \pm 10\% = 31,5(27)-38,5(33)$ kV.“</p>
<p>„Iznos napona u poremećenom pogonu: - za niski napon: tijekom razdoblja od tjedan dana, 95% 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona trebaju biti u rasponu od $Un + 6\%/-10\%$ (do 2010. godine), odnosno $Un \pm 10\%$ (nakon 2010.godine). Svi 10-minutni prosjeci efektivnih vrijednosti napona trebaju biti unutar raspona $Un + 10\%/-15\%$. - za srednji napon: tijekom razdoblja od tjedan dana, 95% 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona trebaju biti u rasponu od $Un \pm 10\%$.“</p>	<p>„Iznos napona u poremećenom pogonu: - u mreži 400 kV: $400kV \pm 15\% = 340-460$ kV, - u mreži 220 kV: $220 \pm 15\% = 187-253$ kV, - u mreži 110 kV: $110 \pm 15\% = 94-127$ kV, - na priključku mreže 35(30) kV: $35(30) \pm 15\% = 29,8(25,5)-40,2(34,5)$ kV.“</p>

Uz opće uvjete postoje i posebni uvjeti i pravila za priključenja proizvodnih jedinica. Kako bi proizvodne jedinice pravilno priključili na mrežu, uz opća pravila potrebno je ispuniti i posebne, a po potrebi i dodatne uvjete za spajanje jedinice na mrežu. Tablice Tab. 2.2. i Tab. 2.3. prikazuju članke iz starih i novih mrežnih pravila koja se odnose na posebne uvjete za priključak proizvodnih jedinica na mrežu.

Tab. 2.2. Posebni uvjeti za priključenje proizvodnih jedinica na mrežu

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
„Mjesto priključka, naponsku razinu priključka, tehničke i pogonske uvjete utvrđuje operator distribucijskog sustava	„Sva oprema za priključak proizvodne jedinice mora biti dimenzionirana prema važećim tehničkim propisima, standardima,

sukladno Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom i ovim Mrežnim pravilima.“	preporukama, ovim Mrežnim pravilima i dodatnim zahtjevima operatora prijenosnog sustava.“
Faktor snage: „Proizvodnja jalove snage treba biti u granicama od $\cos\varphi = 0,85$ ind do $\cos\varphi = 1$.“	Faktor snage: „Faktor snage za nove i revitalizirane proizvodne jedinice treba minimalno biti u području od 0,85 ind do 0,9 kap.“
„Ukoliko za vrijeme pogona elektrane nastupe okolnosti koje bi za posljedicu imale odstupanje napona veće od $\pm 10\%$ nazivnog napona [...] mora se osigurati trenutno odvajanje elektrane od distribucijske mreže.“	„Pri privremenim stacionarnim naponima prijenosne mreže iznosa manjeg ili jednakog 80% nazivnog napona (400 kV, 220 kV ili 110 kV) na visokonaponskoj strani blok-transformatora, proizvodna jedinica se mora odvojiti od prijenosne mreže.“
	„Nove i revitalizirane proizvodne jedinice moraju imati automatske regulatore napona s točnošću održavanja zadanog napona u granicama $\pm 0,5\%$ nazivnog napona (U_n). Opseg regulacije napona generatora treba iznositi najmanje $\pm 5\% U_n$.“

Da su nova mrežna pravila [2] opširnija, bolje opisana te jasnija u usporedbi sa starim mrežnim pravilima [1], pokazuje i količina novih članaka i stavki pa se tako u novim mrežnim pravilima [2] može pronaći pravilo koje govori kako „proizvodne jedinice moraju imati automatske regulatore napona“, što znači da je zadržavanje napona unutar granica moguće za razliku od starih mrežnih pravila [1] koja to ne dozvoljavaju.

Postoji više pravila i uvjeta prilikom kojih mora doći do isključenja proizvodne jedinice s mreže. Uz gore navedena pravila za isključenje jedinica s mreže prilikom povećanja napona, postoje i pravila kojih se potrebno pridržavati ukoliko dođe do odstupanja frekvencije od granica ili višestrukog proklizavanja rotora.

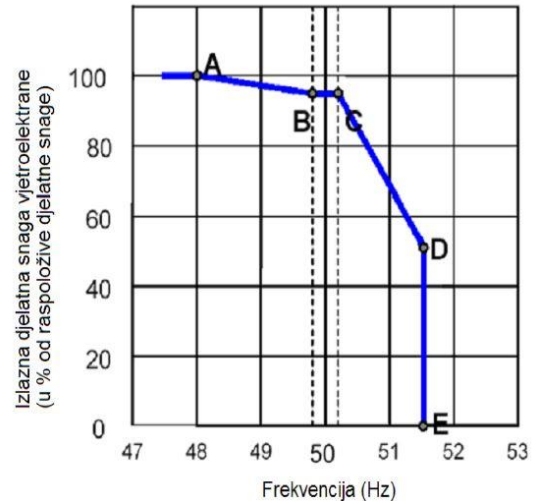
Tab. 2.3. Usporedba zaštita od asinkronog pogona ili odstupanja frekvencije

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
„Ukoliko za vrijeme pogona elektrane nastupe okolnosti koje bi za posljedice imale odstupanje [...] frekvencije iznad 51 Hz ili ispod 48 Hz, mora se osigurati trenutno odvajanje elektrane od distribucijske mreže.“	„Pri frekvencijama jednakim ili manjim od 47,50 Hz proizvodna jedinica može se odvojiti od prijenosne mreže.“
„U slučaju da je elektrana priključena na mrežu u kojoj se primjenjuje automatski ponovni uklop, elektrana mora imati tehničko rješenje zaštite od mogućeg asinkronog pogona.“	„Pri gubitku statičke ili prijelazne stabilnosti, višekratno proklizavanje rotora generatora mora se izbjeći njegovim automatskim odvajanjem od prijenosne mreže. Za taj se slučaj mora predvidjeti zaštita od proklizavanja rotora.“

Tab. 2.4. Posebni uvjeti za priključak vjetroelektrana na mrežu

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
Faktor snage za vjetroelektrane sa sinkronim generatorom: „Proizvodnja jalove snage treba biti u granicama od $\cos\varphi = 0,85$ ind do $\cos\varphi = 1$ “	Faktor snage: Vjetroelektrane sa sinkronim generatorom su stari tip vjetroelektrana koje su izbačene iz upotrebe pa zbog toga ne postoje pravila i uvjeti za faktor snage i proizvodnju jalove snage.
Faktor snage za vjetroelektrane sa asinkronim generatorom: „trebaju imati vlastitu kompenzaciju tako da prosječni faktor snage bude 1 uz maksimalno odstupanje od 0,1 u induktivnom i kapacitivnom smjeru.“	Faktor snage: „u rasponu $\cos\varphi \geq 0,95$ (ind i kap), na priključku vjetroelektrane na prijenosnu mrežu. Postavljanje $\cos\varphi$ snage izvan područja $\cos\varphi \geq 0,95$ (ind i kap), operator prijenosnog sustava i vlasnik vjetroelektrane mogu posebno ugovoriti.“

	<p>„Vjetroelektrana mora imati sposobnost zadržavanja priključka na prijenosnu mrežu tijekom promjene (pada) frekvencije koja se odvija brzinom do 0,07 Hz/s.“</p>
	<p>„Vjetroelektrana mora imati ugrađen upravljački sustav koji omogućava njezin zahtijevani frekvencijski odziv za sudjelovanje vjetroelektrane u primarnoj regulaciji frekvencije.“</p>
	<p>„Upravljački sustav vjetroelektrane mora biti sposoban u stvarnom vremenu prihvatiti i najkasnije za 1 minutu izvršiti, u uvjetima poremećenog/prestanka poremećenog pogona, nalog operatora prijenosnog sustava o postavljanju referentne veličine djelatne snage proizvodnje.“</p>
	<p>„Komunikacija između upravljačkog sustava vjetroelektrane i pojedinačnih vjetrojedinica treba biti projektirana i izvedena da se bez kašnjenja osigurava izvođenje svih, od operatora prijenosnog sustava, naloženih promjena u svrhu postizanja željenih rezultata.“</p>
	<p>„Operator prijenosnog sustava mora imati tehničku mogućnost isključenja vjetroelektrane s prijenosne mreže.“</p>
	<p>„Odziv na razini cijele elektrane u slučaju promjene frekvencije napona prijenosne mreže mora zadovoljavati zahtjeve odziva snage na promjenu frekvencije prikazane na Slici 6. iz Priloga 1. koji je sastavni dio ovih Mrežnih pravila te nju mora imati svaka vjetroelektrana.“</p>



„Operator prijenosnog sustava može zahtijevati postavljanje frekvencijskog odziva vjetrojedinica na način da su točke 'A', 'B' i 'C' u karakteristici odziva snage vjetroelektrane na promjenu frekvencije postavljene na 100% od raspoložive snage.“

Frekvencija:

„Ako se frekvencija napona prijenosne mreže poveća iznad 51,5 Hz, proizvodna se jedinica treba isključiti. Isključene proizvodne jedinice (linija 'D' – 'E') mogu se ponovno uključiti tek uz odobrenje operatora prijenosnog sustava i uz uvjet da je frekvencija prijenosne mreže $\leq 50,5$ Hz.“

„Priključna snaga vjetroelektrane označava najveći iznos snage koji vjetroelektrana smije isporučiti u prijenosnu mrežu (pri frekvenciji $\geq 50,00$ Hz).“

„Ovlaštenik vjetroelektrane je dužan postaviti vrijednosti maksimalne brzine promjene izlazne snage na sučelju

	vjetroelektrane i prijenosne mreže prema specifikaciji koju operator prijenosnog sustava određuje odgovarajućim analizama.“
	„U slučaju poremećenog pogona elektroenergetskog sustava, operator prijenosnog sustava može izdati nalog za smanjenje brzine promjene izlazne snage vjetroelektrane koji se mora na razini vjetroelektrane izvršiti najkasnije za 1 minutu.“
	„Nakon isključenja prekidača na sučelju proizvodnog postrojenja i prijenosne mreže, bilo zbog djelovanja zaštite, naloga proizvođača ili operatora prijenosnog sustava, proizvođač je dužan prije ponovnog uključanja prekidača od operatora prijenosnog sustava ishoditi dozvolu za uključenje.“
	„Na priključku na prijenosnu mrežu, najveća promjena jednogminutne srednje snage između dva jednogminutna intervala ne smije premašiti 10% odobrene priključne snage vjetroelektrane, a najveća promjena 15 minutne srednje snage između dva 15 minutna intervala ne smije premašiti 50% odobrene priključne snage.“
	„U uvjetima velike brzine vjetra izlazna snaga vjetroelektrane mora biti smanjivana u skladu sa člankom iznad, a ne iznenadnim isključenjem svih vjetrojedinica.“

	„Zbog potrebe provođenja dinamičkih analiza rada elektroenergetskog sustava, vlasnik vjetroelektrane dužan je dostaviti operatoru prijenosnog sustava detaljan dinamički model vjetrojedinica i vjetroelektrane u roku i formatu utvrđenom u ugovoru o priključenju.“
--	---

Kako bi vjetroelektrane pravilno priključili na mrežu, uz pravila „Posebni uvjeti za priključenje proizvodnih jedinica na mrežu“, također je potrebno pridržavati se gore navedenih posebnih uvjeta za priključak vjetroelektrane koja su navedena u tablici Tab. 2.4. pomoću članaka iz starih [1] i novih [2] mrežnih pravila.

Što se tiče vjetroelektrana i njihovog priključka na mrežu, u starim mrežnim pravilima [1] postoje posebna pravila i uvjeti za njihovo spajanje. Postoji samo nekoliko dodatnih tehničkih uvjeta za spajanje vjetroelektrana, ali sa snagom do 5 MW što je prikazano tablicom Tab. 2.5. koja sadrži članke iz starih mrežnih pravila za dodatne tehničke uvjete.

Tab. 2.5. „Dodatni tehnički uvjeti za priključenje vjetroelektrana snage do 5 MW“ [1]

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
„Emisije flikera Pst i Plt koje su uzrokovane pogonom vjetroelektrane ne smiju narušiti dopuštena ograničenja kako u kratkotrajnom (st) tako i u dugotrajnom (lt) razdoblju, u skladu s izrazima: $P_{st} \leq 0,35$ $P_{lt} \leq 0,25.$ “	
„Relativne promjene napona d koje su uzrokovane pogonom vjetroelektrane ograničavaju se sukladno sljedećem izrazu: $d \leq \frac{\Delta U_{dyn}}{U_n}$ „	

<p>„Dopušteni iznosi ograničenja promjene napona za nazivni napon 35 kV i niži, jesu:“</p> <table border="1" data-bbox="196 320 786 638"> <thead> <tr> <th>r (1/sat)</th> <th>$\Delta U_{dyn}/U_n$ (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$r \leq 1$</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>$1 < r \leq 10$</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>$10 < r \leq 100$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>$100 < r \leq 1000$</td> <td>1,25</td> </tr> </tbody> </table>	r (1/sat)	$\Delta U_{dyn}/U_n$ (%)	$r \leq 1$	4	$1 < r \leq 10$	3	$10 < r \leq 100$	2	$100 < r \leq 1000$	1,25					
r (1/sat)	$\Delta U_{dyn}/U_n$ (%)														
$r \leq 1$	4														
$1 < r \leq 10$	3														
$10 < r \leq 100$	2														
$100 < r \leq 1000$	1,25														
<p>„Emisija neparanih harmonijskih struja ne smije biti veća od sljedećih vrijednosti:“</p> <table border="1" data-bbox="196 777 786 1283"> <thead> <tr> <th>Neparani harmonijski član, h</th> <th>Ograničenje emisije harmonijskih struja obzirom na nazivnu struju</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$h < 11$</td> <td>4,0 %</td> </tr> <tr> <td>$11 \leq h < 17$</td> <td>2,0 %</td> </tr> <tr> <td>$17 \leq h < 23$</td> <td>1,5 %</td> </tr> <tr> <td>$23 \leq h < 35$</td> <td>0,6 %</td> </tr> <tr> <td>$35 \leq h < 50$</td> <td>0,3 %</td> </tr> <tr> <td>Faktor ukupnoga harmonijskog izobličenja (THD)</td> <td>5,0 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>„Unutar istoga frekvencijskog raspona, emisija parnih harmonijskih struja ne smije biti veća od 25% navedenih vrijednosti.“</p>	Neparani harmonijski član, h	Ograničenje emisije harmonijskih struja obzirom na nazivnu struju	$h < 11$	4,0 %	$11 \leq h < 17$	2,0 %	$17 \leq h < 23$	1,5 %	$23 \leq h < 35$	0,6 %	$35 \leq h < 50$	0,3 %	Faktor ukupnoga harmonijskog izobličenja (THD)	5,0 %	
Neparani harmonijski član, h	Ograničenje emisije harmonijskih struja obzirom na nazivnu struju														
$h < 11$	4,0 %														
$11 \leq h < 17$	2,0 %														
$17 \leq h < 23$	1,5 %														
$23 \leq h < 35$	0,6 %														
$35 \leq h < 50$	0,3 %														
Faktor ukupnoga harmonijskog izobličenja (THD)	5,0 %														
<p>„Vjetroelektrane snage do 250 kW mogu se priključiti na niskonaponsku mrežu.“</p>															
<p>„Nije dopušten otočni pogon vjetroelektrane s dijelom distribucijske mreže na koju je priključena.“</p>															

2.3. Promjene u mrežnim pravilima

Prva promjena koja se može primijetiti nalazi se na početku pravila, kako jednih, tako i drugih, a to je donositelj mrežnih pravila. Stara mrežna pravila [1] donio je ministar gospodarstva, rada i poduzetništva, dok je nova mrežna pravila [2], uz prethodnu suglasnost HERA-e (Hrvatske energetske regulatorne agencije) [4], donio Hrvatski operator prijenosnog sustava.

Značajne promjene dogodile su se po pitanju novih pravila u novim mrežnim pravilima [2] koja nisu bila spominjana u starim mrežnim pravilima [1], stoga se tako može pronaći desetak novih pravila. U tim pravilima prikazano je kako vlasnik vjetroelektrane treba biti u stalnom kontaktu s operatorom prijenosnog sustava. Vlasnik vjetroelektrane samostalno ne smije ništa mijenjati niti raditi. Samim time sigurnost, ali i očuvanje vjetrojedinica dolazi na višu razinu. Isto tako, ovlaštenik vjetroelektrane dužan je postaviti postavke vjetroelektrane za prijenosnu mrežu prema specifikacijama koje operator određuje prema odgovarajućim analizama. Primjerice, nova mrežna pravila [2] zahtijevaju da se prilikom određenih situacija, kao što je ona u kojoj se pri velikoj brzini vjetra izlazna snaga vjetroelektrane smanjuje, ne dolazi do isključenja vjetrojedinice. Među tim pravilima može se vidjeti kako je upravljački sustav vjetroelektrane također napredovao u odnosu na prijašnji.

Do značajnih promjena dolazi i u slučaju faktora snage. U starim mrežnim pravilima [1] postoje pravila za vjetroelektrane sa sinkronim generatorom. Iste te vjetroelektrane više nisu u funkciji te se u današnje vrijeme koriste samo vjetroelektrane sa asinkronim generatorom. U ovom slučaju dolazi do problema jer taj isti asinkroni generator neće davati frekvenciju od 50 Hz, nego će davati frekvenciju ovisnu o brzini pa tako prije samog priključka na mrežu postoji elektronički pretvarač koji usklađuje napon i frekvenciju s obzirom na mrežu. Dakle, starije vjetroelektrane sa sinkronim generatorom imale su veći raspon faktora snage. Taj isti elektronički pretvarač bilo je potrebno kompenzirati kako bi raspon faktora snage bio što manji, odnosno što bliži 1, tako da skoro pa ništa ne daje jalove snage u mrežu. Nova mrežna pravila [2] nalažu kako faktor snage kod vjetroelektrana s asinkronim generatorom može biti u malo većem rasponu za razliku od onih kod starih mrežnih pravila [1]. Bitno je primijetiti kako faktor snage izvan dozvoljenih granica operator prijenosnog sustava i ovlaštenik vjetroelektrane mogu posebno ugovoriti, odnosno, operator prijenosnog sustava od vlasnika vjetroparka može zatražiti regulaciju napona.

2.4. Procedura prilikom priključenja VE na mrežu

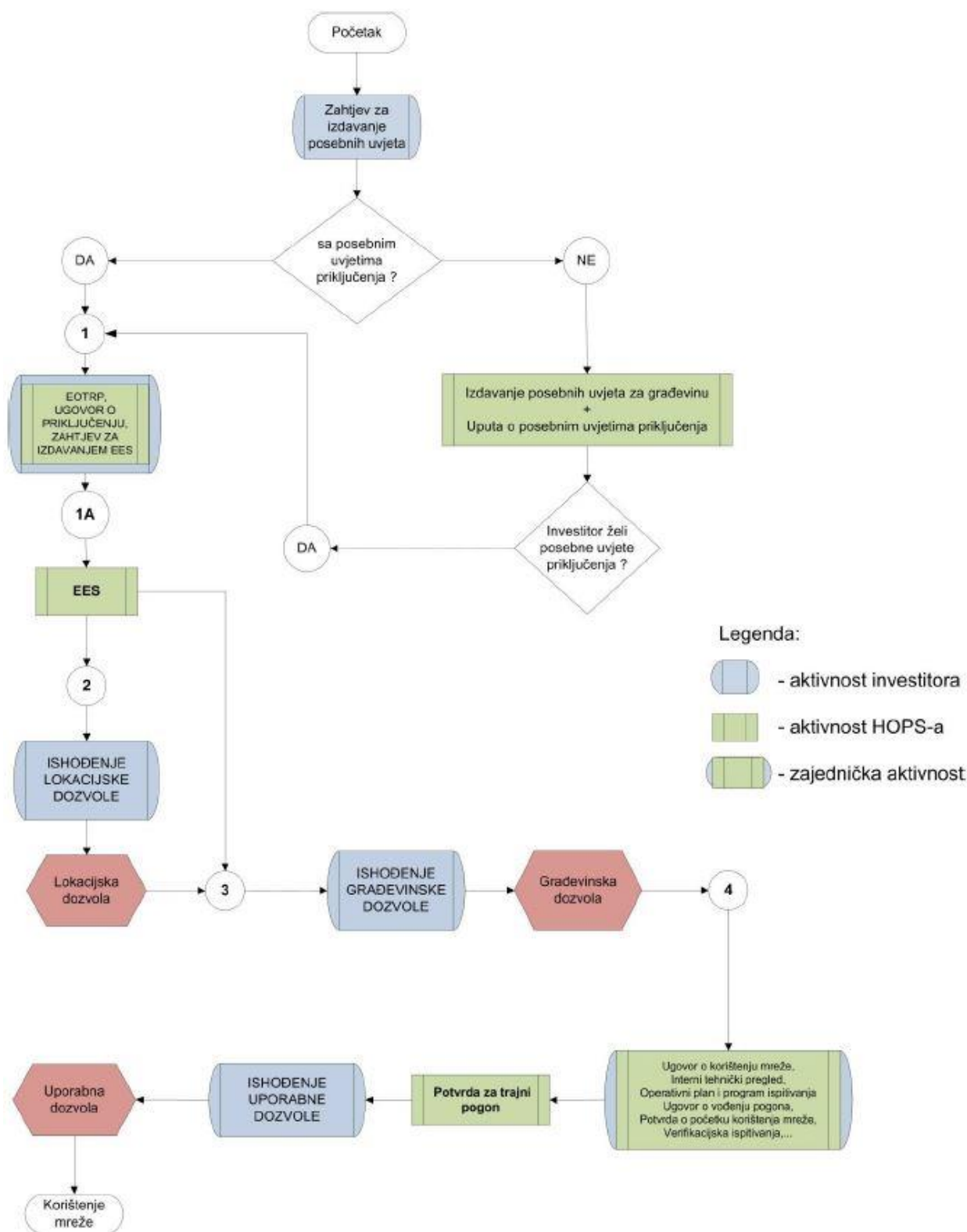
Nakon što se neka tvrtka, odnosno investitor, odluči za izgradnju vjetroelektrane te njezinog spajanja na prijenosnu mrežu slijedi postupak od nekoliko koraka kojih se potrebno pridržavati od strane investitora te HOPS-a [3]. Koraci se razlikuju po aktivnosti, odnosno, strankama koje se bave tim dijelom pa tako razlikujemo 3 vrste aktivnosti: aktivnost investitora, aktivnost HOPS-a te zajednička aktivnost. Cijeli postupak, zajedno s mjerodavnim propisima i pravilima, izdan je dokumentom „Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu“ [5] od strane HOPS-a [3].

Na samom početku postupka priključenja na prijenosnu mrežu, investitor podnosi zahtjev za izdavanje posebnih uvjeta namijenjenih za izgradnju posebne vrste građevine. Prilikom tog koraka operator prijenosnog sustava mora znati ima li ta građevina posebne uvjete priključka na mrežu ili nema. Ako nema, investitor podnosi zahtjev prilikom kojeg će operator prijenosnog sustava „upozoriti podnositelja zahtjeva o okolnostima takvih posebni uvjeta i uputiti ga na postupak propisan ovim Pravilima za utvrđivanje posebnih uvjeta priključenja građevine na prijenosnu mrežu“. Investitor kao podnositelj zahtjeva mora uz obrazac priložiti sve tehničke podatke i dokumente te riješiti sve nedostatke. Ako zahtjev sadrži sve potrebne podatke operator prijenosnog sustava prihvaća zahtjev, a u suprotnom ga odbacuje. Kada je riješeno sve vezano uz posebne uvjete priključka na mrežu, dolazi se do slijedećeg koraka u kojem zajedno sudjeluju investitor i HOPS [3]. „Posebni uvjeti priključenja građevine investitora“ utvrđuju se „elaboratom optimalnog tehničkog rješenja priključenja na prijenosnu mrežu“ (u nastavku: EOTRP). Investitor potpisuje ugovor o priključenju, operator prijenosnog sustava izdaje dokument pod nazivom „Elektroenergetska suglasnost“ (u nastavku: EES) koji sadrži sve posebne uvjete za građevinu s uvjetima i bez uvjeta priključenja na mrežu.

Nakon izdavanja EOTRP-a, „Ugovora o priključenju na prijenosnu mrežu“ te EES-a, investitor podnosi zahtjev za ishođenje lokacijske dozvole, osim ako je već ne posjeduje. Nakon što se lokacijska dozvola dobije, investitor podnosi novi zahtjev za ishođenje građevinske dozvole. Autori u literaturi [5] navode kako je nakon dobivanja građevinske dozvole, investitor „dužan podnijeti zahtjev za sklapanje ugovora o korištenju mreže sukladno odredbama općih uvjeta“. Nakon toga, provodi se interni tehnički pregled kojim se utvrđuje jesu li postrojenja i priključak spremni za pokusni rad. Vlasnik građevine, odnosno investitor, „je obvezan izraditi Operativni plan i program ispitivanja postrojenja u pokusnom radu“, kako nalaže autor u literaturi [5]. Poslije pokusnog rada, investitor i operator prijenosnog sustava zaključuju ugovor o vođenju pogona postrojenja. Vlasnik građevine je kao korisnik mreže, zbog početka korištenja mreže, dužan

podnijeti zahtjev sukladno općim uvjetima. Autori ovih Pravila [5] navode kako je prije provođenja pregleda za izdavanje uporabne dozvole, potrebno provesti verifikacijsko ispitivanje postrojenja gdje je investitor „dužan izraditi Konačno izvješće o pokusnom radu postrojenja korisnika mreže“. Nakon završetka pokusnog rada, rješavanja svih financijskih obveza zajedno sa svim imovinsko-pravnim obvezama te suglasnosti operatora na „Konačno izvješće o pokusnom radu postrojenja“, Pravila [5] nalažu kako će „operator prijenosnog sustava izdati Potvrdu za trajni pogon postrojenja investitora odnosno vlasnika građevine ili korisnika mreže“.

Zadnji korak u cijelom ovom postupku je podnošenje zahtjeva za uporabnu dozvolu te njeno dobivanje. Nakon toga investitor, odnosno građevina, može početi sa korištenjem mreže. Slika 2.1. preuzeta je iz „Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu“ [5] te prikazuje kompletan postupak potreban za ishođenje dozvole koji je utvrđen mjerodavnim propisima za građevinu.



Slika 2.1. Općeniti blok dijagram kompletnog postupka za ishođenje dozvola utvrđenih mjerodavnim propisima – uzet iz Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu [5]

3. VJETROELEKTRANE

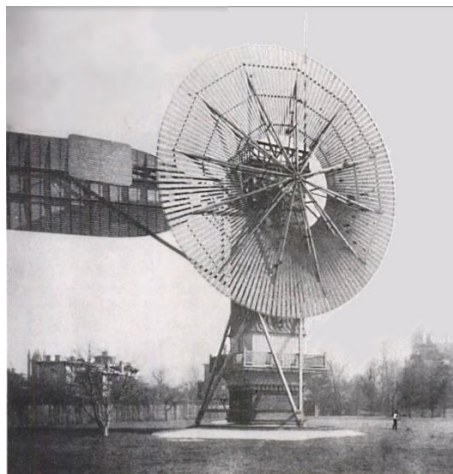
3.1. Povijest vjetroelektrana

Proizvodnja energije pomoću vjetra prvi se put pojavljuje u 19. stoljeću. James Blyth je 1887. godine konstruirao vjetroturbinu kako bi proizveo električnu energiju za svoju kolibu u Škotskoj. Slika 3.1. prikazuje kako je vjetroturbina izgledala.



Slika 3.1. Vjetroturbina J. Blytha [6]

Autori literature [7] navode da je: „nedugo nakon toga, Charles Francis Brush dizajnirao i izgradio prvu automatiziranu vjetroturbinu sa snagom generatora od 12 kW“. Autori knjige „Obnovljivi izvori električne energije“ [8] navode kako je „ona bila napravljena na stupu visine od 18 m, sa rotorom promjera 17 m napravljenog od 144 drvenih oštrica“ kao što se može vidjeti na slici 3.2..



Slika 3.2. Prva automatizirana vjetroturbina – Charles F. Brush [9]

U literaturi [8] autori navode kako: „tijekom naftne krize i porasta cijena goriva 1970-ih godina, vjetroelektrane ponovno postaju aktualne. Samim time dolazi do ulaganja u njihov ponovni razvoj“. U istoj toj literaturi [8] nalazi se podatak koji govori kako: „američka vlada počinje velika ulaganja u njihov razvoj da bi krajem 1980-ih godina, SAD je izgradio prvi vjetropark u Kaliforniji.“ „U isto to vrijeme u Europi, točnije Danskoj i Njemačkoj dolazi do razvoja vjetroturbina sa snagom čak 2 MW, te da u to vrijeme danski koncept vjetroturbine postaje „state of the art“ tehnologije“, odnosno sve vjetroturbine dizajnirane su prema tzv. danskom konceptu. Prema literaturi [8]: „to podrazumijeva vjetroturbinu s vodoravnom osi vrtnje te rotorom od 3 lopatice, postavljenog ispred istog samog stupa.

Fabian Wagner u svojoj knjizi [7] tvrdi kako se današnje vjetroturbine podosta razlikuju od onih u vrijeme J. Blytha i C.F. Brusha pa se tako „uz rotor koji se sastoji od 3 lopatice ojačane vlaknima, nazivna snaga vjetroturbine je uglavnom u rasponu 1,5 – 2 MW. Stoga se vjetroturbine često prave zajedno čineći tako vjetroparkove radi bolje ekonomičnosti kao što je zajednički priključak na mrežu te samim time lakši pristup njihovom održavanju“. Velika većina vjetroelektrana se pravila na kopnu, ali od 2009. godine dolazi do porasta i sve veće izgradnje vjetroparkova na samoj obali mora radi veće učinkovitosti. U Hrvatskoj se također mogu pronaći vjetroparkovi na obali mora kao što su Vrataruša kod Senja, Ravne 1 na Pagu koja je prikazana na slici 3.3. i mnoge druge.



Slika 3.3. Vjetroelektrana Ravne 1 na Pagu [10]

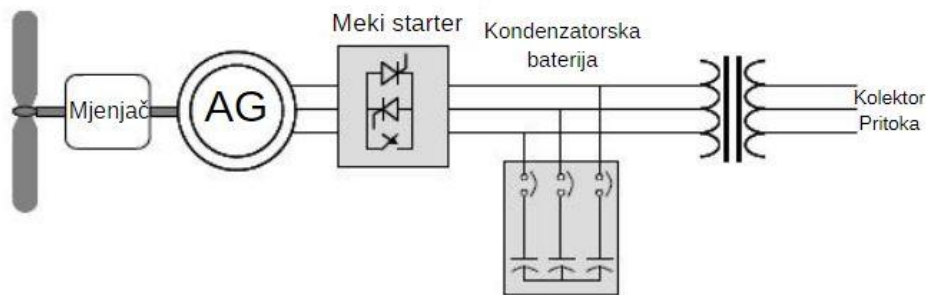
3.2. Vrste vjetroelektrana

Koristeći se literaturom znanstvenog članka IEEE radne skupine „Characteristics of Wind Turbine Generators for Wind Power Plants“ [11] te njenim prijevodom, navedeni su i opisani osnovni modeli generatora vjetroelektrana.

Autori iste te literature [11] navode kako se: „princip rada vjetroturbina temelji na dva dobro poznata procesa. Prvo uključuje pretvorbu kinetičke energije zraka u mehaničku energiju, odnosno kontrola mehaničke energije. Drugi princip rada uključuje elektro-mehaničko pretvaranje energije putem generatora u električnu mrežu.“ Isto tako navode kako se: „vjetroturbine mogu klasificirati po njihovoj mehaničkoj kontroli snage te da se dalje dijele prema kontroli brzine“.

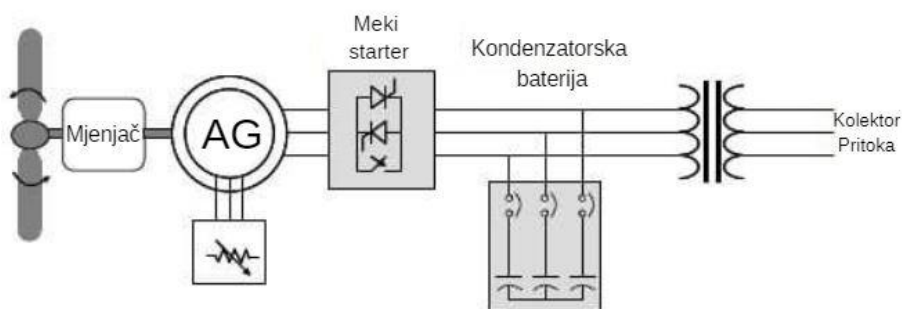
Kod vjetroelektrana razlikujemo 5 različitih standardnih modela turbina s obzirom na vrstu generatora. Stoga, razlikujemo one s asinkronim (indukcijskim) generatorom i sa sinkronim generatorom.

1. Kavezni asinkroni generator (engl. *Squirrel Cage Induction Generator – SCIG*) prikazan na slici 3.4. kod kojeg je brzina turbine konstantna, fiksna na frekvenciji električne mreže te stvara stvarnu snagu.



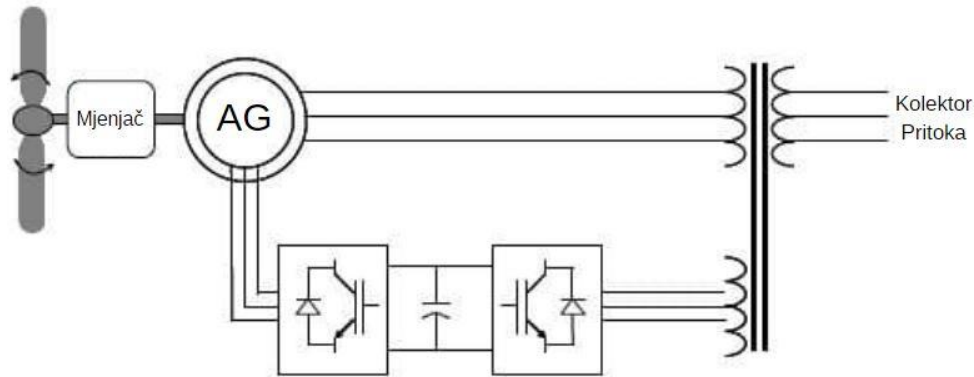
Slika 3.4. Tip 1 – Kavezni asinkroni generator [11]

2. Asinkroni generator s kliznim prstenima i namotanim rotorom (engl. *Wound Rotor Induction Generator – WRIG*) koji je prikazan na slici 3.5.. Ovaj model se od prvog modela razlikuje jer se izvan rotora nalazi spojen set otpornika uz dodatnu elektroniku sa strujom koja teče između otpornika i rotora pomoću kliznih prstenova.



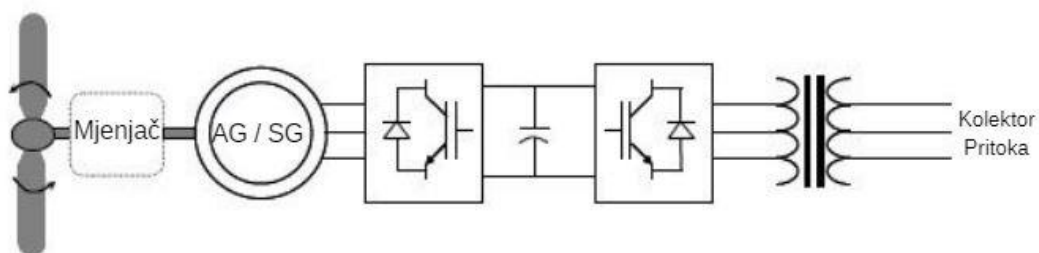
Slika 3.5. Tip 2 – Asinkroni generator s namotanim rotorom i kliznim prstenima [11]

3. Dvostruko napajani asinkroni generator (engl. *Doubly Fed Induction Generator – DFIG*) koji je prikazan na slici 3.6.. Ovaj model je najkorišteniji jer sadrži električni pretvarač spojen paralelno sa turbinom pa zbog toga on ne mora biti iste veličine kao turbina. Upravo ćemo ovaj model, tip 3, koristiti za programsku simulaciju.



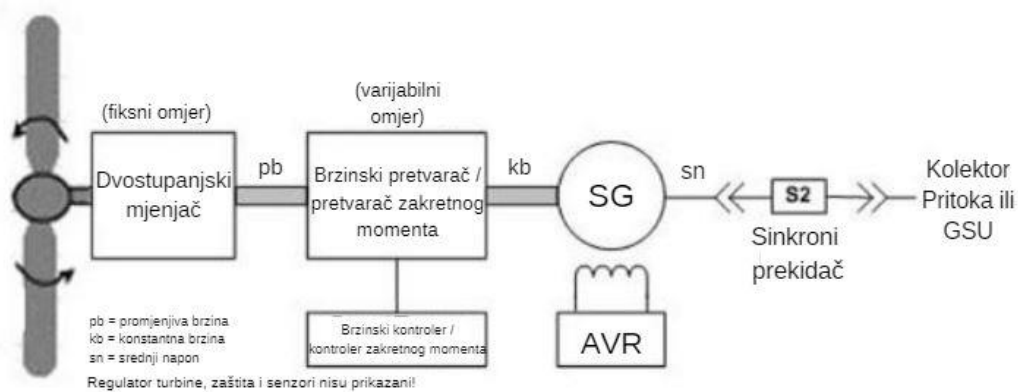
Slika 3.6. Tip 3 – Dvostruko napajani asinkroni generator [11]

4. Asinkroni/sinkroni generator s namotanim rotorom (engl. *Wound Rotor Synchronous Generator – WRIG*) koji je prikazan na slici 3.7.. Ovaj model se od tipa 3 razlikuje jer u seriji s turbinom postoji spojen električni pretvarač te je iz tog razloga, uz tip 3, najkorišteniji model. Za razliku od prošlog modela gdje pretvarač ne mora biti iste veličine, kod ovog modela pretvarač mora biti veći od nazivne snage stroja. Bitno za primijetiti kod ovog modela sa slike 3.7. jest da se uz sinkroni može koristiti i asinkroni generator.



Slika 3.7. Tip 4 – Sinkroni generator s namotanim rotorom [11]

2. Sinkroni generator sa permanentnim magnetom (engl. *Permanent Magnet Synchronous Generator – PMSG*). Ovaj tip radi sa fiksnom brzinom koja odgovara frekvenciji mreže, koja se zatim može izravno povezati do mreže sa sinkronim prekidačem. Ovaj tip je prikazan slikom 3.8..



Slika 3.8. Tip 5 – Sinkroni generator sa permanentnim magnetom [11]

Upravljanje naponom je jedna od najvažnijih stavki kod ovih 5 tipova. Kako navode i autori literature [11], „mogućnost upravljanja naponom ovisi o vrsti vjetroturbine“. Dakle, tip 1 i tip 2 ne mogu kontrolirati, odnosno upravljati naponom te zbog toga ovi modeli obično koriste kondenzatore za ispravljanje faktora snage kako bi taj faktor snage održali konstantnijim.

Za razliku od prva dva tipa, tip 3, tip 4 i tip 5 mogu upravljati naponom. Ta 3 modela imaju mogućnost da kod određene aktivne snage i određenog napona mogu varirati jalovom snagom. Autori iste te literature [11] navode kako: „tip 3 kontrolira napon promjenom struje rotora, tip 4 regulaciju napona postiže sa promjenom kvadrata struje, a da je kod tipa 5 je potreban regulator napona“.

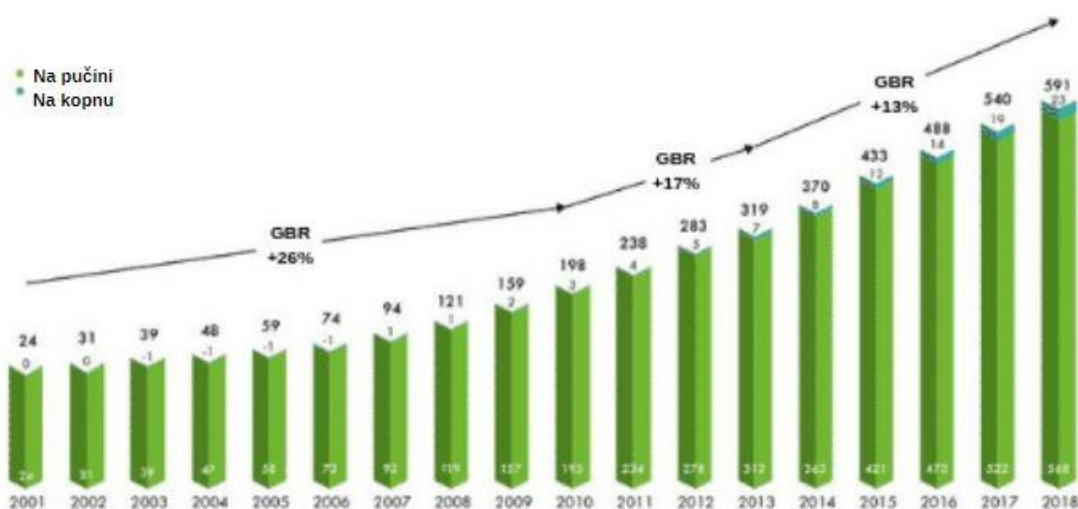
3.3. Vjetroelektrane danas

Obnovljivi izvori energije su u velikom globalnom zamahu, uključujući i energiju dobivenu vjetrom. Vidljivo je kako gotovo svaka država koja ima mogućnost posjedovanja, ima vjetropark. Napredak u izgradnji vjetroelektrana je nevjerojatan. Globalno vijeće za energiju vjetra (u nastavku: GWEC) je u svome prošlogodišnjem izdanju magazina „Global Wind Report 2018“ [12] istaknulo: „kako se tržište širi nezamislivom brzinom, sa stopom rasta više od 30% na godinu. Tako velik rast je potaknut državnim potporom u okviru različitih nacionalnih i globalnih programa.

Da je industrija vjetra u usponu navodi i GWEC kada u svome magazinu [12] za 2018. i 2017. godinu iznosi kako je: „u 2018. je došlo do proizvodnje od 51,3 GW, te se samim time ukupna instalirana snaga popela na velikih 591 GW“. Podatak kako su: „od 2014. godine, postrojenja

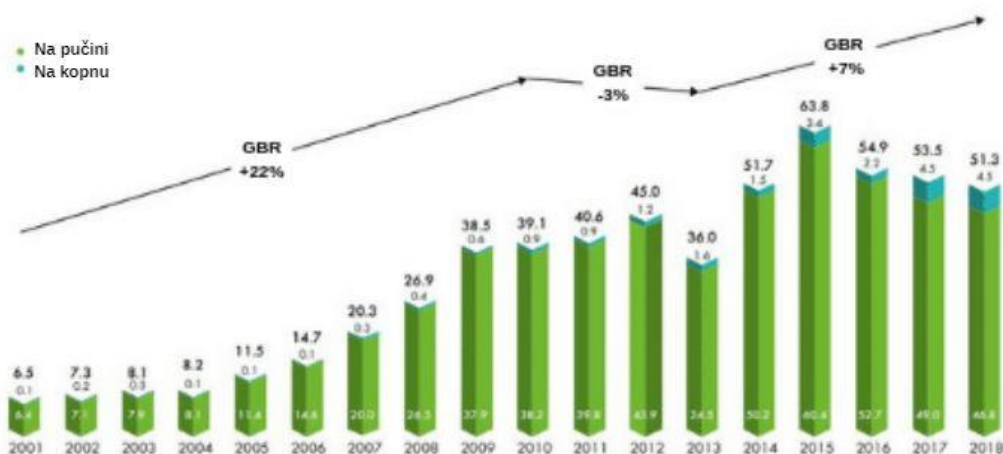
godišnje prelazila 50 GW unatoč usponima i padovima na nekim tržištima“, govori koliko je napredak pozitivan.

Da je napredak kroz godine velik, primjećujemo i na slici 3.4. kojom je GWEC prikazao od 2001. do 2018. godine ukupnu globalnu instaliranu snagu, kako na pučini, tako i na kopnu. Na slici se može vidjeti kako je od 2001. do 2010. godine složena godišnja brzina rasta rasla za velikih 26%. Od 2010. do kraja 2013. se smanjila na 17%, te je sada naposljetku godišnja brzina rasta, iako je i dalje u rastu, pala na 13%.



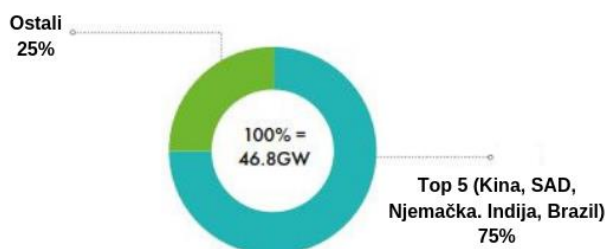
Slika 3.4. Ukupna globalna instalirana snaga u GW [12]

Za razliku od slike 3.4., slika 3.5. prikazuje godišnju instaliranu snagu u razdoblju od 2001. do 2018. godine. Kao što je na slici 3.4. prikazana godišnja brzina rasta, tako je prikazana i na slici 3.5.. U razdoblju od 2001. do početka 2010. godišnja brzina rasta rasla je za 22%, da bi ta brzina u razdoblju od početka 2010. do 2013. godine bila u minusu 3%. Godišnja brzina rasta poboljšala se u razdoblju od 2013. pa sve do danas kada ona iznosi 7%.



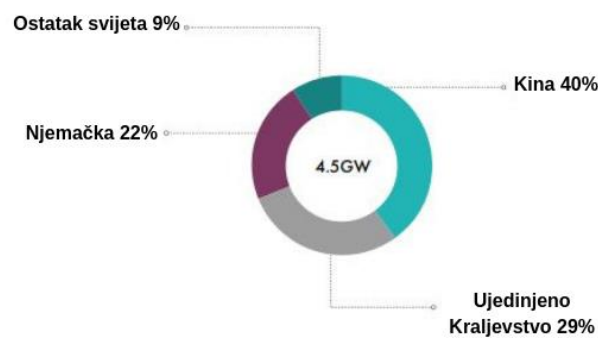
Slika 3.5. Godišnja globalna instalirana snaga [12]

GWEC u svome magazinu [12] navodi kako po pitanju vjetroparkova instaliranih na pučini (Onshore) prednjači Kina koja je u 2018. godini sama instalirala 21.2 GW te sa takvim napredovanjem na tržištu zauzima prvo mjesto još od 2008. godine. Kina je na kraju 2018. godine imala ukupno 206 GW instalirane snage, te je samim time prva država na tržištu koja je premašila 200 GW ukupne instalirane snage dvije godine prije završetka petogodišnjeg plana 2016.-2020.. SAD je država koja sa 7.6 GW instalirane snage u 2018. godini, te ukupno 96 GW drži drugo mjesto, odmah iza Kine. Iza njih se također nalaze Njemačka sa 2.4 GW instalirane snage u 2018. godini, Indija sa 2.2 GW i Brazil sa 1.9 GW. Da su ove države najjače na tržištu prikazuje i slika 3.6. kojom je GWEC prikazao kako su ove države na pučini instalirale zajedno 75 % od ukupnih 46.8 GW snage.



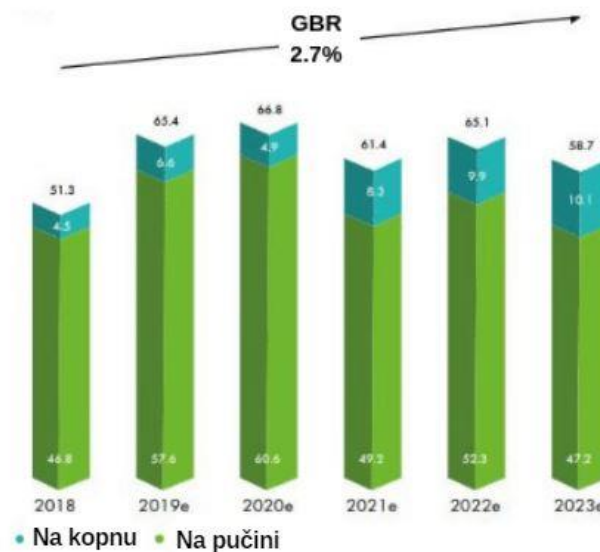
Slika 3.6. Instalirana snaga u 2018. godini – na pučini/onshore [12]

Za razliku od vjetroparkova instaliranih na pučini, kod vjetroparkova instaliranih na kopnu dolazi do male promjene. Prema GWEC-ovom magazinu [12], Kina je i dalje na prvom mjestu sa 40 % ukupne instalirane snage u 2018. godini, drugo mjesto drži Ujedinjeno Kraljevstvo sa 29 % instalirane snage u 2018. godini, a na trećem se mjestu nalazi Njemačka sa 22 %. Ostatak svijeta ima 9 % od ukupnih 4.5 GW instalirane snage u 2018. godini. Ovi podaci su prikazani na slici 3.7. od strane GWEC-a.



Slika 3.7. Instalirana snaga u 2018. godini – na kopnu/offshore [12]

Napredak je velik, a da će biti još veći vjeruje i GWEC u kojem očekuju da će do 2023. svake godine instalirana snaga biti veća od 55 GW te da će godišnji porast biti 2.7 % [12], kao što prikazuje slika 3.8.. Isto tako, vjeruju kako će instalacija vjetroparkova na kopnu doživjeti znatan porast, čak 22 % do 2023. godine.

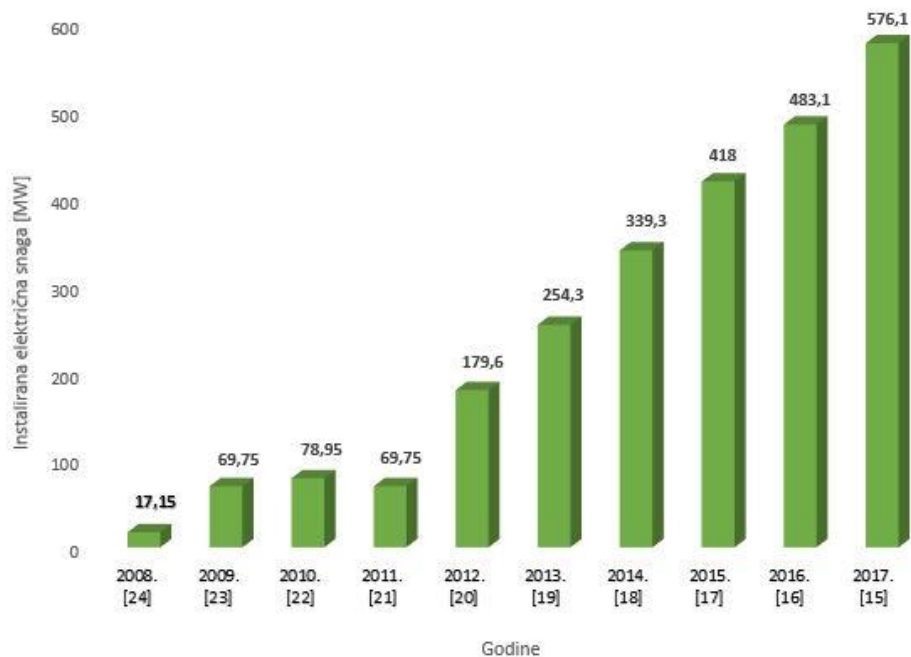


Slika 3.8. Očekivanja do 2023. godine u GW [12]

3.4. Situacija u Hrvatskoj

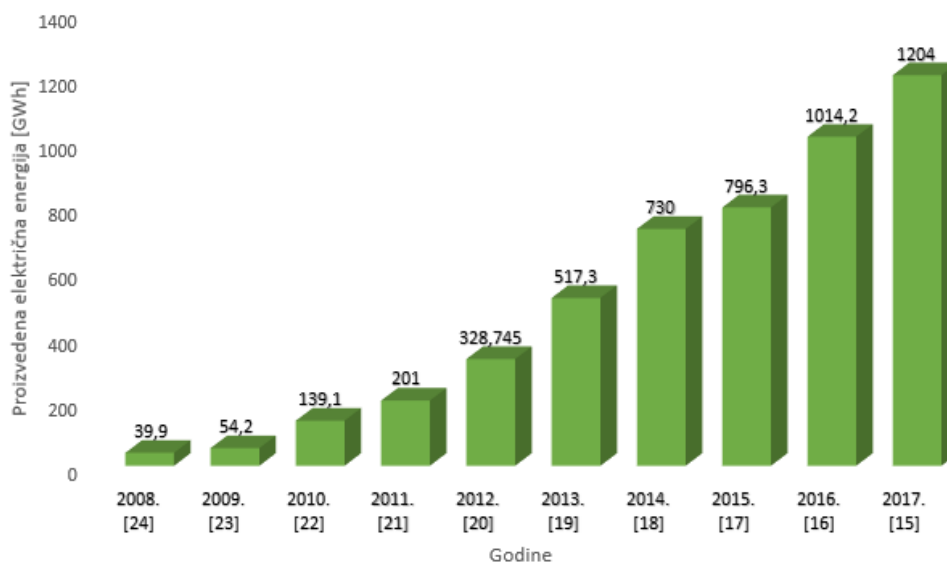
Izgradnja vjetroelektrana te sama energija vjetra u Hrvatskoj je u velikom zamahu. Ipak, ne toliko velikom kao u ostatku svijeta, no na dobrom je putu. Dok godišnji pregled za energiju vjetra u svijetu donosi GWEC, u Hrvatskoj godišnji energetske pregled pod nazivom „Energija u Hrvatskoj“ donosi Ministarstvo zaštite okoliša i energetike [13] zajedno s Energetskim institutom Hrvoje Požar [14]. Iako je za svijet već izašao godišnji pregled za 2018. godinu, za Hrvatsku zadnji godišnji energetske pregled izdan je 2017. godine [15]. Za 2017. godinu ukupna proizvodnja električne energije iznosila je 11 983,5 GWh „pri čemu je iz obnovljivih izvora energije, uključujući i velike hidroelektrane proizvedeno oko 61,1 posto. U tom postotku velike hidroelektrane sudjelovale su u 56 posto, a 15,1 posto električne energije proizvedeno je iz ostalih obnovljivih izvora.“ Radi usporedbe, 10 godina prije, točnije, 2008. godine časopis „Energija u Hrvatskoj 2008“ [24] iznosi podatak kojim tvrdi kako je proizvodnja električne energije u Hrvatskoj iznosila 12 325,6 GWh „pri čemu su obnovljivi izvori energije uz velike hidroelektrane proizveli oko 43,7 % ukupne energije. U tom postotku velike hidroelektrane sudjelovale su s 42,4 posto, a 1,3 proizvedeno je iz ostalih obnovljivih izvora“ kao što su bioplina, manje hidroelektrane te vjetroelektrane. Samim time dolazimo do zaključka kako je došlo do napretka po pitanju obnovljivih izvora energije, kao i energije vjetra. Odnosno, obnovljivi izvori energije počinju se koristiti više za proizvodnju električne energije, nego što su se koristili prije te samim time proizvodnja električne energije iz neobnovljivih izvora polako opada.

Proizvodnja električne energije rezultirala je instalacijom velike količine novih jedinica. Gledajući samo vjetroelektrane, došlo je do velikog porasta izgradnje vjetrojedinica na teritoriju Hrvatske, ponajviše u primorju, koje slovi kao dobro podneblje za izgradnju vjetroelektrana. Porastom izgradnje vjetroelektrana rasla je i instalirana električna snaga vjetroelektrana pa se tako od 2008. do 2017. godine instalirana električna snaga znatno povećala, što je vidljivo na slici 3.9. koja prikazuje povećanje instalirane električne snage na području Hrvatske u razdoblju od 10 godina. 2009. i 2011. godine došlo je do probnog pogona vjetroelektrana kada je od ukupno 69,75 MW u probnom pogonu radi testiranja bilo 42 MW.



Slika 3.9. Instalirana električna snaga u Hrvatskoj (2008.-2017.) – podaci uzeti sa stranice Energetskog instituta Hrvoje Požar [14]

Kada je u pitanju proizvedena električna energija, iz obnovljivih izvora energije došlo je do konstantnog porasta. U 10 godina obnovljivi izvori energije, kao i energija vjetra, imali su veliku ulogu u proizvodnji, što je vidljivo na slici 3.10. na kojoj je prikazano konstantno povećanje proizvedene energije iz obnovljivih izvora.

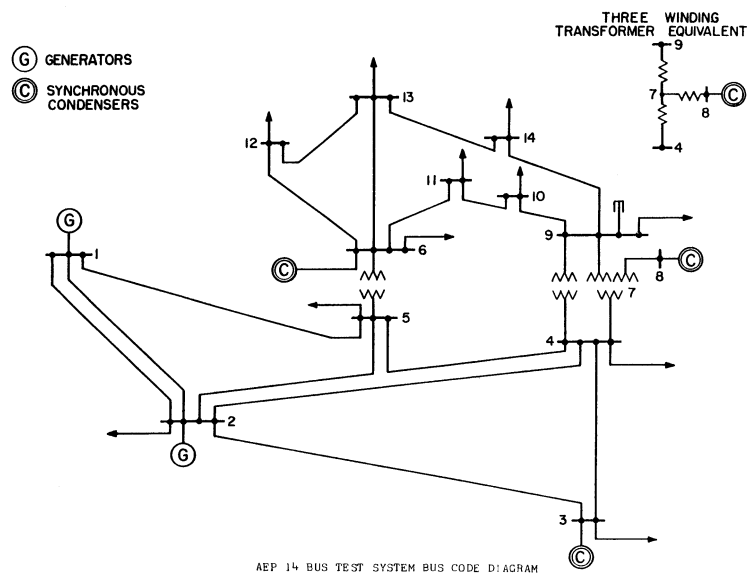


Slika 3.10. Proizvodnja električna energije u Hrvatskoj (2008.-2017.) – podaci uzeti sa stranice Energetskog instituta Hrvoje Požar [14]

4. SIMULACIJA TOKOVA SNAGA

4.1. IEEE 14 sabirnica testni sustav

Simulacija tokova snaga se izvodila na IEEE testnom sustavu sa 14 sabirnica originalnog naziva - IEEE 14 BUS test system u programskom paketu PowerWorld 19.0 [27]. Prema literaturi [25], testni sustav se uz 14 sabirnica sastoji i od 3 sinkrona kompenzatora, 2 generatora i vodova kao što je vidljivo i na slici 4.3., koja je preuzeta kao primjer elektroenergetskog sustava na kojem je izvršena simulacija. Upravo je ovaj testni sustav prvi puta objavljen u literaturi [25].



Slika 4.3. IEEE 14 BUS test system [26]

Prema literaturi [25], u sustavu se također nalazi 3-namotni transformator sa 3 naponske razine, čija je izvedba u programu prikazana na slici 4.4.. U programu je to malo drugačije modelirano. Točnije, sabirnica 4 je spojena preko transformatora na sabirnicu 7 i preko transformatora na sabirnicu 9. Sabirnica 8 je direktno spojena na sabirnicu 7, bez ikakvog transformatora.

Potrebno je naglasiti kako je sabirnica 1 – referentna sabirnica (engl. *Slack Bus*). Referentni napon sabirnice neće biti nazivni napon, nego će biti malo veći te će kut napona biti 0° . Generator koji je spojen na nju će svoju djelatnu i jalovu snagu podešavati ovisno o potrebi, odnosno on sav višak ili manjak snage mora dati jer je referentni generator.

Prema tablici 4.1. koja prikazuje podatke o sustavu prema literaturi [25], opterećenja, odnosno djelatna snaga sabirnica mora biti točno namještena. Jalova snaga također mora biti unesena za opterećenja, osim kod uređaja koji mogu kontrolirati napon, kao što su sinkroni kompenzatori i generatori.

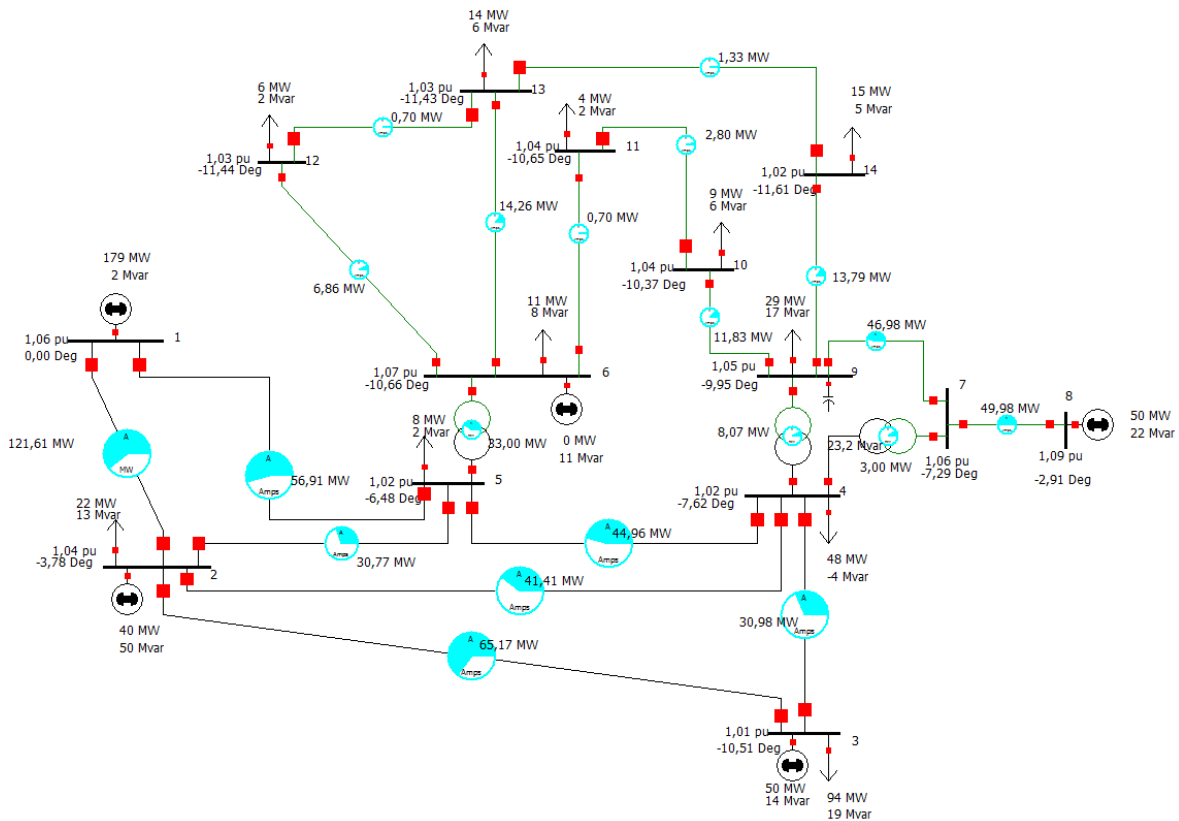
RB:	Naponska razina:	Tip:	Izračunati napon (p.u.)	Izračunati kut napona:	Opterećenje MW:	Opterećenje MVAR:
1	HV	3	1.060	0	0	0
2	HV	2	1.045	-4,98	21,7	12,7
3	HV	2	1.010	-12,72	94,2	19
4	HV	0	1.019	-10,33	47,8	-3,9
5	HV	0	1.020	-8,78	7,6	1,6
6	LV	2	1.070	-14,22	11,2	7,5
7	HV	0	1.062	-13,37	0	0
8	SN	2	1.090	-13,36	0	0
9	LV	0	1.056	-14,94	29,5	16,6
10	LV	0	1.051	-15,1	9	5,8
11	LV	0	1.057	-14,79	3,5	1,8
12	LV	0	1.055	-15,07	6,1	1,6
13	LV	0	1.050	-15,16	13,5	5,8
14	LV	0	1.036	-16,04	14,9	5

Proizvodnja MW:	Proizvodnja MVAR:	Iznos napona koji se regulira (p.u.)	Maksimum MVAR:	Minimum MVAR:	G paralelne kompenzacije	B paralelne kompenzacije (p.u.)
232,4	-16,9	1,06	0	0	0	0
40	42,4	1,045	50	-40	0	0
0	23,4	1,01	40	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	12,2	1,07	24	-6	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	17,4	1,09	24	-6	0	0
0	0	-	0	0	0	0,19
0	0	-	0	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0
0	0	-	0	0	0	0

Tab. 4.1. Podaci sabirnica testnog sustava

U simulaciji potrebnoj za ovaj rad, kompenzatori koji su prema originalu spojeni na 3., 6., i 8. sabirnicu zamijenjeni su s vjetroparkom snage 50 MW. Vjetropark se premješta kako bi utjecaj kontrole napona bio uočljiviji.

Slika 4.4. prikazuje izgled testnog sustava modeliranog programom PowerWorld [27] nakon svih podešavanja parametara sabirnica i kompenzatora prema tablici 4.1.. Slika je prikaz originalnog IEEE 14 sabirnica testnog sistema nacrtanog radi simulacije u programu.



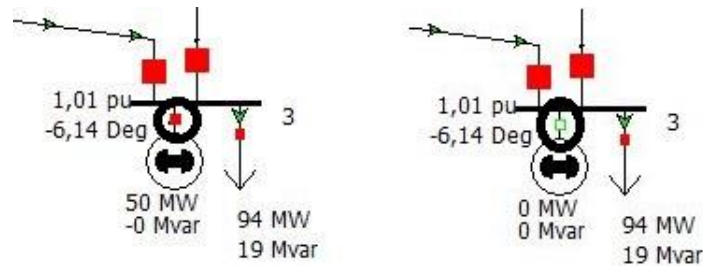
Slika 4.4. Testni sustav modeliran u programu PowerWorld [27]

Simulacija tokova snaga obavljena je na 3 različite sabirnice gdje će kao rezultat program regulirati sve napone u 2 slučaja. Prvi slučaj prikazuje stanje u kojoj se vjetroelektrane ponašaju prema starim mrežnim pravilima [1], dok drugi prikazuje kako se ponašaju prema novim mrežnim pravilima [2]. Prema starim mrežnim pravilima, vjetroelektrane ne provode regulaciju napona, nego održavaju konstantni faktor snage jednak 1. Za razliku od starih, kod novih mrežnih pravila vjetroelektrane mogu provoditi naponsku regulaciju te se tada u simulaciji postavlja kako vjetroelektrana regulira napon na iznos od 1,0 p.u..

Simulacija se izvodi tako što se svi sinkroni kompenzatori zamjenjuju vjetroelektrama, odnosno kompenzatori će predstavljati vjetroelektrane. U svakoj situaciji će raditi samo jedan vjetroelektrana, odnosno, kompenzator, onaj na kojemu se simulacija radi, dok će ostali biti isključeni. Za svaki od tih slučajeva postoje dvije simulacije u kojima će izlazna snaga vjetroelektrana iznositi 50 MW.

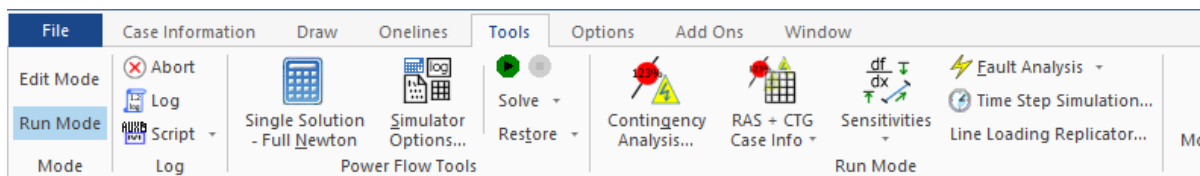
Za svaki slučaj napravljen je grafički prikaz odnosa regulacije napona. Točnije, za svaki vjetropark u programu Excel prikazuje se međusoban odnos krivulja uzimajući u obzir svih 14 sabirnica prilikom uvjeta starih mrežnih pravila [1] kada je $\cos\varphi$ jednak 1 i uvjeta novih mrežnih pravila [2] kada je prisutna regulaciju napona.

Vjetropark se isključuje klikom na prekidač iznad generatora kao što je prikazano primjerom na slici 4.6.. Da je vjetropark isključen, znati će se kada isti taj crveni kvadrat postane bijele boje.



Slika 4.6. Isključivanje vjetroparka

Simulacija se pokreće klikom na „run mode“ na gornjem izborniku te pritiskom na zelenu tipku u izborniku „tools“ kao na slici 4.7.. Ona je vizualno prikazana strelicama što dodatno uljepšava simulaciju.

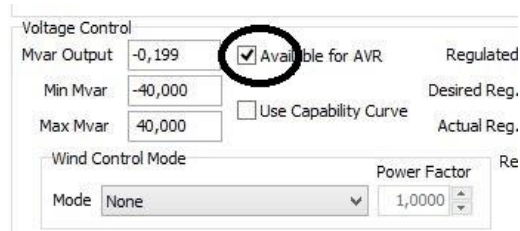


Slika 4.7. Pokretanje simulacije

4.1.1. Prva situacija – vjetropark na sabirnici 3

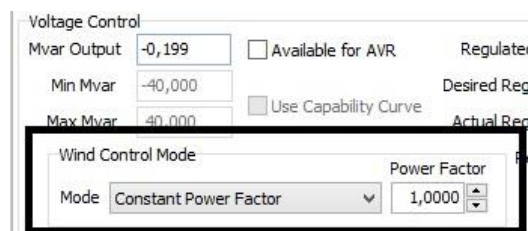
Nakon što izlaznu snagu postavimo na 50 MW, krećemo sa simulacijom.

Prema starim mrežnim pravilima [1], $\cos\varphi$ mora biti jednak 1. To se namješta na način da se nakon otvaranja prozora s postavkama vjetroparka „isključiti“ AVR (engl. *Automatic Voltage Regulation*) kao na slici 4.8., tj. kad se regulacija napona isključuje.



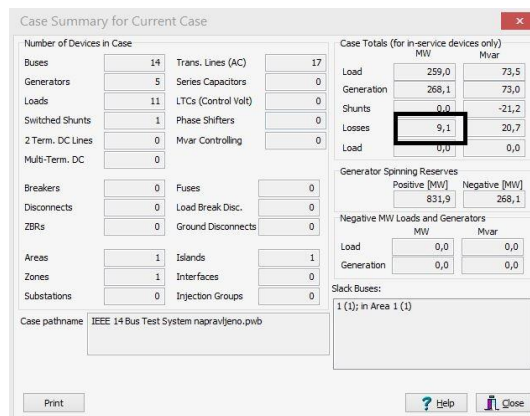
Slika 4.8. Isključivanje regulacije napona

Nakon isključivanja $\cos\varphi$ se postavlja na 1 u odjeljku „Wind Control Mode“, kao na slici 4.9., i promijenjene postavke se potvrđuju.



Slika 4.9. Postavljanje faktora snage

Tada se pokreće simulacija i prati što se događa sa naponom na svih 14 sabirnica. Potrebno je zabilježiti sve padove napona na elementima sustava kao što su vodovi, transformatori i sl. Kako bi se posao olakšao, u izborniku „Case Information“ odabire se „Case Summary“. Zatim se otvara izbornik u kojemu se nalazi odjeljak „Case Totals“, točnije gubici, tj. „Losses“, prikazan na slici 4.10..



Slika 4.10. Gubici kada se napon ne regulira

Gubici kada je $\cos\varphi = 1$, točnije, prema starim mrežnim pravilima [1] sa vjetroparkom na sabirnici 3, iznose 9,1 MW.

Potrebno je ponovno odrediti gubitke, ali kada se napon regulira, tj. prema novim mrežnim pravilima [2]. Koracima se kreće unatrag, stoga se $\cos\varphi$ isključuje u odjeljku „Wind Control Mode“, a AVR uključuje. Prilikom namještanja AVR očigledno je kako jalova snaga nije ograničena. Ona se ograničava na + 40 i – 40 MVar-a, dok napon koji se želi postići ostaje isti, odnosno 1,01 kao u tablici.

Simulaciju se zatim ponovno pokreće s istim ciljem – saznati gubitke te vidjeti napone na svim sabirnicama.

Potrebno je ponovno otići u „Case Information“ te očitati gubitke koji iznose 8,9 MW. Vidljivo je kako je u prijašnjoj situaciji, kad je napon reguliran, došlo do smanjenja napona, dok je u ovoj došlo do ponovnog vraćanja, odnosno povećavanja napona na sabirnicama.

Dolazimo do zaključka da prilikom podizanja napona i smanjivanja struje, uz uvjet da snage ne diramo, dobivamo smanjene gubitke. Upravo ovo je ekvivalentno formuli:

$$P = I^2 R \text{ [W]}. \quad (4-1)$$

Kako je zadatak u Excelu grafički prikazati međusoban odnos u dvama uvjetima na svim sabirnicama, program PowerWorld [27] ima mogućnost izvesti tablične podatke svih sabirnica u Excel, stoga za svaki od ova dva slučaja možemo vidjeti tablične podatke sabirnica u programu. U „Case Information“ te „Model Explorer“ na alatnoj traci vidljiva je tablica svih sabirnica. Radi lakoće odrade zadatka, tablice se mogu prebaciti u Excel, tako što ćemo na tablici desnim klikom dobiti padajući izbornik te izabrati Copy/Paste/Send – Send All To Excel kao na slici 4.11..

Number	Name	Area Name	Nom KV	PU Volt	Volt (KV)	Angle (Deg)	Loa
1 1		1	138,00	1,06000	146,280	0,00	
2 2		1	138,00	1,04353	144,007	-3,63	
3 3		1	138,00	1,01000	139,360	-8,27	
4 4		1	138,00	1,00297	138,409	-8,08	
5 5		1	138,00	1,00534	138,736	-6,91	
6 6		1	69,00	1,02584	70,783	-12,49	
7 7		1	69,00	1,01888	70,302	-11,39	
8 8		1			70,302	-11,39	
9 9		1			70,156	-13,15	
10 10		1			69,736	-13,35	
11 11		1			70,008	-13,06	
12 12		1			69,742	-13,41	
13 13		1			69,427	-13,49	
14 14		1			68,545	-14,39	

Slika 4.11. Mogućnost izvoza tablice u Excel

Slika 4.12. prikazuje tablicu za situaciju na sabirnici 3 kada je $\cos\varphi = 1$ – stara mrežna pravila [1], dok slika 4.13. prikazuje tablicu za situaciju u kojima je prisutna regulacija napona.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1 1	1		138,00	1,06000	146,280	0,00			178,02	23,02
2	2 2	1		138,00	1,03675	143,072	-3,54	21,70	12,70	40,00	50,00
3	3 3	1		138,00	0,98740	136,261	-8,03	94,20	19,00	50,00	0,00
4	4 4	1		138,00	0,99166	136,850	-8,03	47,80	-3,90		
5	5 5	1		138,00	0,99606	137,456	-6,86	7,60	1,60		
6	6 6	1		69,00	1,01442	69,995	-12,56	11,20	7,50	0,00	0,00
7	7 7	1		69,00	1,00677	69,467	-11,42				
8	8 8	1		69,00	1,00677	69,467	-11,42			0,00	0,00
9	9 9	1		69,00	1,00441	69,304	-13,22	29,50	16,60		
10	10 10	1		69,00	0,99839	68,889	-13,42	9,00	5,80		
11	11 11	1		69,00	1,00270	69,167	-13,14	3,50	1,80		
12	12 12	1		69,00	0,99908	68,937	-13,50	6,10	1,60		
13	13 13	1		69,00	0,99441	68,614	-13,59	13,50	5,80		
14	14 14	1		69,00	0,98106	67,693	-14,49	14,90	5,00		

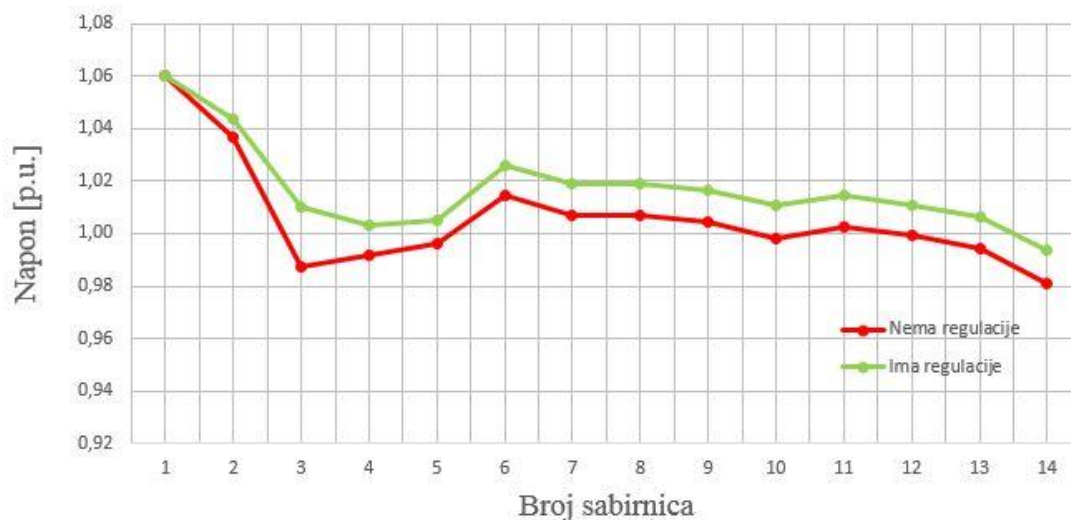
Slika 4.12. Prikaz rezultata kada je regulacija napona prisutna – sabirnica 3

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1 1	1		138,00	1,06000	146,280	0,00			177,75	6,83
2	2 2	1		138,00	1,04353	144,007	-3,63	21,70	12,70	40,00	50,00
3	3 3	1		138,00	1,01000	139,380	-8,27	94,20	19,00	50,00	14,00
4	4 4	1		138,00	1,00297	138,409	-8,08	47,80	-3,90		
5	5 5	1		138,00	1,00534	138,736	-6,91	7,60	1,60		
6	6 6	1		69,00	1,02584	70,783	-12,49	11,20	7,50	0,00	0,00
7	7 7	1		69,00	1,01888	70,302	-11,39				
8	8 8	1		69,00	1,01888	70,302	-11,39			0,00	0,00
9	9 9	1		69,00	1,01676	70,156	-13,15	29,50	16,60		
10	10 10	1		69,00	1,01067	69,736	-13,35	9,00	5,80		
11	11 11	1		69,00	1,01460	70,008	-13,06	3,50	1,80		
12	12 12	1		69,00	1,01075	69,742	-13,41	6,10	1,60		
13	13 13	1		69,00	1,00619	69,427	-13,49	13,50	5,80		
14	14 14	1		69,00	0,99340	68,545	-14,39	14,90	5,00		

Slika 4.13. Prikaz rezultata kada je regulacija napona prisutna – sabirnica 3

U programu Excel nacrtani su grafovi ovisnosti napona na svih 14 sabirnica. Ti podaci su dobiveni simulacijom te su prikazani slikom 4.14..

Vjetropark - sabirnica 3



Slika 4.14. Grafički prikaz rezultata simulacije – sabirnica 3

Kao što je vidljivo na prikazanom grafu, napon je veći kad postoji regulacija. Odnosno, napon je veći gledajući nova mrežna pravila [2]. Kada je napon veći, gubici su manji, što je više nego poželjno.

4.1.2 Druga situacija – vjetropark na sabirnici 6

Za situaciju u kojoj se vjetropark nalazi na sabirnici 6, kao i na sabirnici 8, koraci neće biti detaljno opisani jer se sve radi po istom postupku koji je objašnjen u prethodnom dijelu.

Za razliku od prošle situacije u kojoj su se vjetroparkovi na sabirnicama 6 i 8 gasili, ovdje se isključuju vjetroparkovi na sabirnicama 3 i 8, što znači da će jedini uključeni vjetropark biti na sabirnici 6.

Nakon isključivanja vjetroparkova, sljedeći korak je „isključivanje“ situacije AVR i postavljanje $\cos\varphi = 1$. Gubici u ovom slučaju iznose 11,1 MW. Sveukupno stanje na sabirnicama prikazano je slikom 4.15..

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1	1	1	138,00	1,06000	146,280	0,00			180,08	22,46
2	2	2	1	138,00	1,03457	142,771	-3,76	21,70	12,70	40,00	50,00
3	3	3	1	138,00	0,96917	133,745	-10,74	94,20	19,00	0,00	0,00
4	4	4	1	138,00	0,99474	137,275	-7,79	47,80	-3,90		
5	5	5	1	138,00	1,00273	138,377	-6,22	7,60	1,60		
6	6	6	1	69,00	1,03050	71,105	-7,53	11,20	7,50	50,00	0,00
7	7	7	1	69,00	1,00884	69,610	-9,92				
8	8	8	1	69,00	1,00884	69,610	-9,92			0,00	0,00
9	9	9	1	69,00	1,00505	69,348	-11,06	29,50	16,60		
10	10	10	1	69,00	1,00101	69,070	-10,74	9,00	5,80		
11	11	11	1	69,00	1,01109	69,765	-9,28	3,50	1,80		
12	12	12	1	69,00	1,01459	70,007	-8,65	6,10	1,60		
13	13	13	1	69,00	1,00778	69,537	-8,92	13,50	5,80		
14	14	14	1	69,00	0,98701	68,104	-11,22	14,90	5,00		

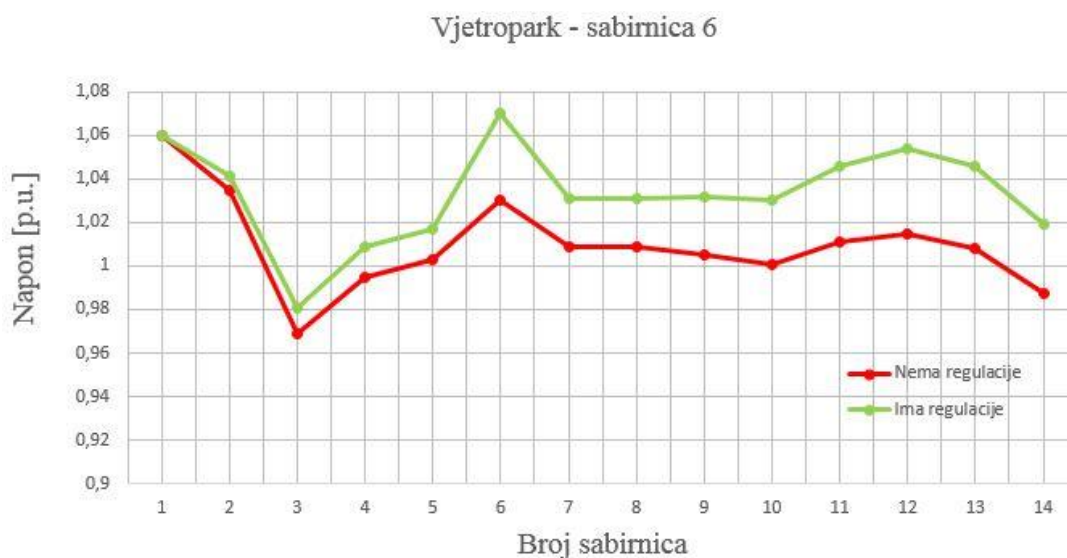
Slika 4.15. Prikaz rezultata kada nema regulacije napona – sabirnica 6

Gubici za slučaj kada reguliramo napon, odnosno, kada se služimo novim mrežnim pravilima [2], kada „uključujemo“ AVR i ograničavamo jalovu snagu iznose 10,8 MW. Slikom 4.16. prikazani su rezultati prilikom regulacije napona.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1	1	1	138,00	1,06000	146,280	0,00			179,67	-4,65
2	2	2	1	138,00	1,04106	143,667	-3,83	21,70	12,70	40,00	50,00
3	3	3	1	138,00	0,98053	135,314	-10,71	94,20	19,00	0,00	0,00
4	4	4	1	138,00	1,00911	139,256	-7,88	47,80	-3,90		
5	5	5	1	138,00	1,01681	140,320	-6,37	7,60	1,60		
6	6	6	1	69,00	1,07000	73,830	-7,74	11,20	7,50	50,00	14,20
7	7	7	1	69,00	1,03136	71,164	-9,85				
8	8	8	1	69,00	1,03136	71,164	-9,85			0,00	0,00
9	9	9	1	69,00	1,03161	71,181	-10,89	29,50	16,60		
10	10	10	1	69,00	1,03013	71,079	-10,61	9,00	5,80		
11	11	11	1	69,00	1,04549	72,139	-9,30	3,50	1,80		
12	12	12	1	69,00	1,05371	72,706	-8,78	6,10	1,60		
13	13	13	1	69,00	1,04618	72,186	-9,01	13,50	5,80		
14	14	14	1	69,00	1,01940	70,339	-11,09	14,90	5,00		

Slika 4.16. Prikaz rezultata kada ima regulacije napona – sabirnica 6

Programom Excel nacrtani su grafovi ovisnosti napona na svih 14 sabirnica. Ti podaci su dobiveni simulacijom te su također prikazani slikom 4.17..



Slika 4.17. Grafički prikaz rezultata simulacije – sabirnica 6

Nova mrežna pravila [2] omogućuju vjetroparku da regulira napon, te s njima postizemo viši napon, dok su gubici manji u odnosu na prijašnja mrežna pravila [1] koja toliki napon i gubitke nisu sposobna omogućiti.

4.1.3. Treća situacija – vjetropark na sabirnici 8

U ovoj situaciji upaljen je samo vjetropark na sabirnici 8. Ostali su isključeni.

Ponovno „isključujemo“ AVR te prema starim mrežnim pravilima [1] postavljamo $\cos\phi$ na 1 i promatramo simulaciju. Kao i u prošla dva slučaja, možemo primijetiti kako prilikom podizanja napona i smanjivanja struje uz istu snagu dolazi do manjih gubitaka.

Slika 4.18. prikazuje situaciju u kojoj se služimo pravilima iz starih mrežnih pravila [1]. Gubici u ovom slučaju iznose 10,2 MW.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1 1		1	138,00	1,06000	146,280	0,00			179,21	29,07
2	2 2		1	138,00	1,03275	142,519	-3,67	21,70	12,70	40,00	50,00
3	3 3		1	138,00	0,96654	133,382	-10,52	94,20	19,00	0,00	0,00
4	4 4		1	138,00	0,99187	136,878	-7,40	47,80	-3,90		
5	5 5		1	138,00	0,99621	137,476	-6,30	7,60	1,60		
6	6 6		1	69,00	1,00992	69,685	-10,85	11,20	7,50	0,00	0,00
7	7 7		1	69,00	1,00329	69,227	-6,97				
8	8 8		1	69,00	0,99944	68,961	-1,93			50,00	0,00
9	9 9		1	69,00	1,00367	69,253	-9,87	29,50	16,60		
10	10 10		1	69,00	0,99724	68,809	-10,36	9,00	5,80		
11	11 11		1	69,00	1,00018	69,013	-10,74	3,50	1,80		
12	12 12		1	69,00	0,99455	68,624	-11,68	6,10	1,60		
13	13 13		1	69,00	0,99066	68,355	-11,65	13,50	5,80		
14	14 14		1	69,00	0,97897	67,549	-11,76	14,90	5,00		

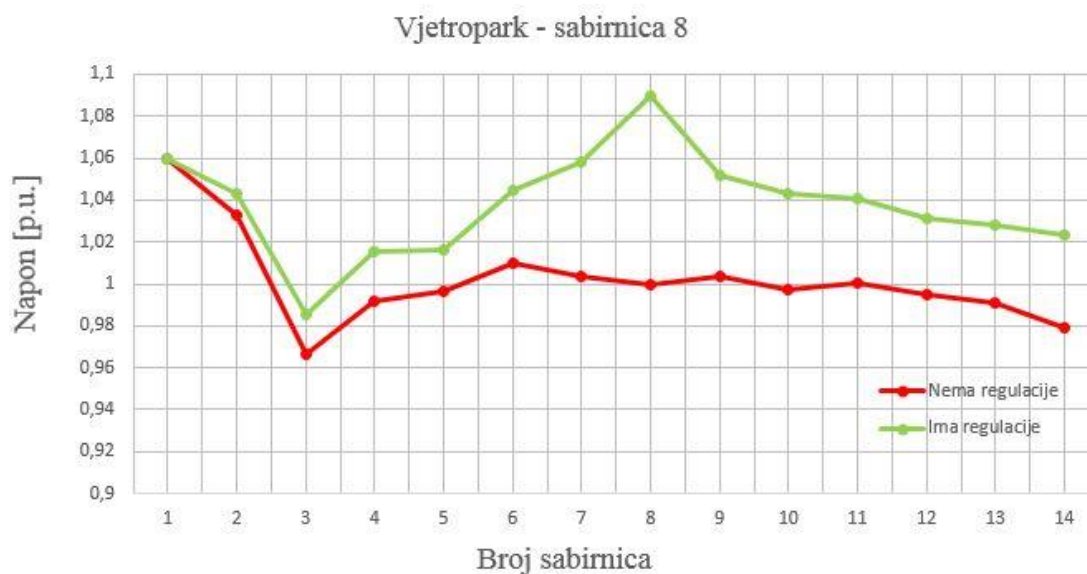
Slika 4.18. Prikaz rezultata kada nema regulacije napona – sabirnica 8

Slika 4.19. prikazuje stanje napona na svim sabirnicama prilikom regulacije napona. Gubici pri regulaciji napona iznose 9,7 MW.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	1 1		1	138,00	1,06000	146,280	0,00			178,52	2,05
2	2 2		1	138,00	1,04290	143,920	-3,78	21,70	12,70	40,00	50,00
3	3 3		1	138,00	0,98508	135,941	-10,51	94,20	19,00	0,00	0,00
4	4 4		1	138,00	1,01567	140,163	-7,62	47,80	-3,90		
5	5 5		1	138,00	1,01637	140,259	-6,48	7,60	1,60		
6	6 6		1	69,00	1,04482	72,093	-10,66	11,20	7,50	0,00	0,00
7	7 7		1	69,00	1,05820	73,016	-7,29				
8	8 8		1	69,00	1,09000	75,210	-2,91			50,00	21,59
9	9 9		1	69,00	1,05182	72,575	-9,95	29,50	16,60		
10	10 10		1	69,00	1,04340	71,995	-10,37	9,00	5,80		
11	11 11		1	69,00	1,04097	71,827	-10,65	3,50	1,80		
12	12 12		1	69,00	1,03100	71,139	-11,44	6,10	1,60		
13	13 13		1	69,00	1,02819	70,945	-11,43	13,50	5,80		
14	14 14		1	69,00	1,02339	70,614	-11,61	14,90	5,00		

Slika 4.19. Prikaz rezultata kada ima regulacije napona – sabirnica 8

Rezultati dobiveni simulacijom grafički su nacrtani u Excelu te su prikazani slikom 4.20..



Slika 4.20. Slika 4.17. Grafički prikaz rezultata simulacije – sabirnica 8

Kao i kod prijašnjeg primjera, isti slučaj je i ovdje. Nova mrežna pravila [2] omogućuju veći napon kada regulacije ima, za razliku od starih mrežnih pravila [1]. Ovdje je bitno primijetiti kako baš na sabirnici 8, gdje se vjetropark nalazi, dolazi do puno većeg napona prilikom regulacije, za razliku od situacije u kojoj regulacija nije prisutna. Samim time su gubici puno manji, nego pri slučaju kada nema regulacije.

5. ZAKLJUČAK

Energija vjetra i izgradnja vjetroelektrana su u globalnom zamahu. Tome pripada i Republika Hrvatska koja intenzivno radi na poboljšanju uvjeta, izgradnji vjetroelektrana, kao i na unaprjeđenju cjelokupnog sustava energije vjetra. Vlasnici vjetroelektrana, odnosno proizvođači električne energije prodaju električnu energiju različitim ustanovama pa tako i nama, korisnicima. Da bi sustav radio pravilno, bez ikakvih problema te kako bismo mi, kao korisnici, imali što veću kvalitetu električne energije, zadužene su određene nadležne državne ustanove. One donose pravila kojih se proizvođači moraju pridržavati, u ovom slučaju prilikom priključka na prijenosnu mrežu.

Napredak energije vjetra, njene proizvodnje i modernizacije vjetroelektrana moraju pratiti i Mrežna pravila među kojima je došlo do promjene. Proučavajući prijašnja i sadašnja Mrežna pravila zaključuje se kako je došlo do znatnih promjena. Najviše od svih promjena ističe se promjena po pitanju faktora snage koji po novim mrežnim pravilima [2] omogućuje aktivnu naponsku regulaciju proizvođačima. U starim mrežnim pravilima [1] nije bilo moguće regulirati napon jer je faktor snage bio konstantan, iznosa jedan. Programskom simulacijom dokazano je kako, držeći se novih mrežnih pravila [2], proizvođači imaju mogućnost regulacije napona te se samim time postiže veći iznos napona. Kao rezultat povećanja raspona faktora snage, napon postaje veći, a gubici manji.

LITERATURA

[1] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, Narodne novine 36/2006, 31.3.2006., url:

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_03_36_907.html [18.4.2019.].

[2] Hrvatski operator prijenosnog sustava, Mrežna pravila prijenosnog sustava, Narodne novine 67/2017, 12.7.2017., url:

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_07_67_1585.html [19.4.2019.].

[3] Hrvatski operator prijenosnog sustava, url: <https://www.hops.hr/> [25.8.2019.].

[4] Hrvatska energetska regulatorna agencija, url <https://www.hera.hr/> [25.8.2019.].

[5] Hrvatski operator prijenosnog sustava, Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu, Narodne novine 7/2018, 26.4.2018., url: <https://www.hops.hr/pravila-o-prikljucenju-na-prijenosnu-mrezu> [27.8.2019.].

[6] Preuzeto s web stranice Tumblr – Archives & Special Collections, url:

<https://stratharchives.tumblr.com/post/167974301001/harnessing-the-winds-professor-james-blyth> [2.5.2019.].

[7] F. Wagner, Renewables in Future Power Systems, Springer, Švicarska, 2014.

[8] D. Šljivac, D. Topić, Obnovljivi izvori električne energije, FERIT, Osijek, 2018.

[9] Preuzeto sa web stranice ResearchGate, url: https://www.researchgate.net/figure/First-wind-mill-by-Charles-Brush-built-in-1888-3_fig1_329680879 [2.5.2019.].

[10] Preuzeto sa web stranice eZadar, url: <https://ezadar.rtl.hr/dogadaji/2630657/na-pagu-necebiti-novog-vjetroparka/> [2.5.2019.].

[11] IEEE Working Group, Characteristics of Wind Turbine Generators for Wind Power Plants, Calgary, Canada, 2009., url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5275330> [10.5.2019.].

[12] GWEC, Global Wind Report 2018, Brussels, Belgium, 2019., url: <https://gwec.net/global-wind-report-2018/> [10.5.2019.].

[13] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, url: <https://mzoe.gov.hr> [17.5.2019.].

- [14] Energetski institut Hrvoje Požar, url: <http://www.eihp.hr/> [17.5.2019.].
- [15] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2017, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb, 5.12.2018., url: http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2019/03/Energija2017_final.pdf [18.5.2019.].
- [16] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2016, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb, 5.12.2017., url: <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2018/06/EUH2016.pdf> [18.5.2019.].
- [17] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2015, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb, 1.12.2016., url:
<http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2016/12/Energija2015.pdf> [18.5.2019.].
- [18] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2014, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2015., url: https://www.mingo.hr/public/EuHR2014_V2.pdf [18.5.2019.].
- [19] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2013, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2014., url: <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2015/02/Energija2013.pdf> [18.5.2019.].
- [20] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2012, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2013., url:
[https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Energija2012_web%20\(1\).pdf](https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Energija2012_web%20(1).pdf) [18.5.2019.].
- [21] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2011, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2012., url:
<https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/ENERGIJA%20U%20HRVATSKOJ%202011.pdf> [18.5.2019.].
- [22] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2010, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2011., url: https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Energija2010_cd.pdf [18.5.2019.].

[23] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2009, Ministarstvo gospodarstva, Zagreb, 2010., url:

<https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Energija%20u%20Hrvatskoj%202009.pdf>

[18.5.2019.].

[24] Energetski institut Hrvoje Požar, Energija u Hrvatskoj 2008, Ministarstvo gospodarstva,

Zagreb, 2009., url: https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/EUH08_za%20web.pdf

[18.5.2019.].

[25] IEEE Working Group, Common Format For Exchange of Solved Load Flow Data, SAD,

1973., url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4075293> [10.9.2019.].

[26] Preuzeto sa web stranice ResearchGate, url: https://www.researchgate.net/figure/The-IEEE-14-bus-test-system-12_fig5_309388174 [10.9.2019.].

[27] PowerWorld Corporation, url: <https://www.powerworld.com/> [9.9.2019.].

SAŽETAK

U ovom radu potrebno je bilo proučiti te usporediti Mrežna pravila elektroenergetskog sustava iz 2006. godine i Mrežna pravila prijenosnog sustava iz 2017. godine. Rad je dao naglasak na priključak vjetroelektrane na prijenosnu mrežu prema postojećim pravilima. Uz usporedbu Mrežnih pravila dodatno su teorijski obrađene vjetroelektrane i vrste vjetroelektrana uz opis sadašnje situacije i budućnosti energije vjetra u svijetu i Hrvatskoj. Nakon teorijskog dijela, prelazi se na praktični dio u kojemu je u programskom paketu PowerWorld odrađena simulacija tokova snaga uz pomoć već prije napisanog i proučenog teorijskog dijela. Proučenim teorijskim dijelom i dokazima proračuna dolazi se do zaključka i prikaza načina na koji nova mrežna pravila utječu na prijenosnu mrežu.

Ključne riječi: Vjetroelektrana, prijenosna mreža, mrežna pravila, elektroenergetski sustav, faktor snage, napon, simulacija, tok snage.

ABSTRACT

In this final thesis, it was necessary to study and compare The Grid Code of Electric Power System of 2006 and The Grid Code of Transmission System of 2017. This final thesis emphasizes the connection of wind turbine to the transmission network while following the existing rules. Along with comparing the grid code, wind turbines and types of wind turbines are also theoretically explained using the description of current situation, but also the future of wind energy in the world and in Croatia. After the theoretical part, we move on to the practical part in which a simulation of power flows is made in the PowerWorld software package with the help of already written and studied theory. The studied theoretical part and budgetary evidence lead to the conclusion and the picture of how the new grid code affects the transmission network.

Keywords: Wind power, transmission network, grid code, electric power system, power factor, voltage, simulation, power flow.

ŽIVOTOPIS

Karlo Šekerija rođen je 08.06.1997. godine u Osijeku. Završio je Osnovnu školu Višnjevac, u Višnjevcu. Nakon osnovne škole upisuje strukovnu Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer tehničar za računalstvo. U sklopu škole pohađao je praksu u tvrtki HEP-operater distribucijskog sustava Osijek. Srednju školu završava 2016. godine. Nakon završetka srednje škole odlučio je upisati se na preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini opredjeljuje se za smjer elektroenergetika. Dvije godine je predstavljao fakultet te zastupao interese studenata kao član Studentskog zbora FERIT.