



Cjeloviti popis zahtjeva prilikom priključenja novih OIE s obzirom na smanjenje konstante tromosti sustava i potreban opseg pomoćnih usluga sustava



Zagreb, 2020.

Projekt: Integracija vjetroelektrana u elektroenergetski sustava sa smanjenom tromosti

WIND energy integration in Low Inertia Power System - WINDLIPS

Dokument: Cjeloviti popis zahtjeva prilikom priključenja novih OIE s obzirom na smanjenje konstante tromosti sustava i potreban opseg pomoćnih usluga sustava

Isporuka: I17.4.

Partneri:



Autori:

Josip Đaković, mag. ing, FER
Tomislav Baškarad, mag. ing, FER
Matej Krpan, mag.ing., FER
Igor Kuzle, prof. dr. sc. FER
Perica Ilak, dr.sc., FER
Igor Ivanković, dr.sc., HOPS
Nikolina Zovko, mag. ing, HOPS
Antun Andrić, mag. ing, HOPS
Marko Špoljarić, mag. ing, HEP

Sadržaj

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Regulatorni zahtjevi za priključenje na mrežu | 7 |
| 2 | Osnovni zahtjevi za priključak proizvodnih modula..... | 8 |
| 2.1 | Tehničke mogućnosti proizvodnih modula | 8 |
| 2.1.1 | Tolerancija..... | 9 |
| 2.1.2 | Regulacija jalove snage | 9 |
| 2.1.3 | Regulacija radne snage | 10 |
| 2.1.4 | Zaštitni uređaji..... | 11 |
| 2.1.5 | Kvaliteta napajanja..... | 11 |
| 2.2 | Budući zahtjevi za proizvodne module | 12 |
| 2.3 | Usklađivanje mrežnih pravila..... | 13 |
| 3 | Zaključak..... | 13 |
| | Literatura | 13 |

Popis slika

Slika 1: Koncepti upravljanja proizvodnjom radne snage FNE

Popis tablica

Popis kratica

| | |
|--------------|---|
| AGKKR | Asinkroni generator s klizno-kolutnim rotorom |
| AGKR | Asinkroni generator s kaveznim rotorom |
| CHE | Crpna hidroelektrana |
| CPS | Crpna stanica |
| DFIG | <i>Doubly-Fed Induction Generator</i> ; Dvostruko- napajani asinkroni generator |
| DP | Distribuirana proizvodnja |
| EES | Elektroenergetski sustav |
| ELTO | Elektrana-toplana |
| ENTSO-E (CE) | <i>European Network of Transmission System Operators for Electricity (Continental Europe)</i> |
| EU | Europska unija |
| FACTS | <i>Flexible Alternating Current Transmission Systems</i> |
| FN | Fotonaponski |
| FN | Fotonaponske elektrane |
| FRC | <i>Frequency Restoration Control</i> |
| GE | General Electric |
| HE | Hidroelektrana |
| HOPS | Hrvatski operator prijenosnog sustava |
| HVDC | <i>High Voltage Direct Current</i> ; Visoki istosmjerni napon |
| IEC/WECC | <i>International Electrotechnical Commission/Western Electricity Coordinating Council</i> |
| KTE | Kombinirana termoelektrana |
| LFSM-O | <i>Limited Frequency Sensitive Mode – Overfrequency</i> |
| LFSM-U | <i>Limited Frequency Sensitive Mode – Underfrequency</i> |
| MPPT | <i>Maximum Power Point Tracking</i> |
| NE | Nuklearna elektrana |
| NP | Niskopropusni |
| OIE | Obnovljivi izvori energije |
| PPM | <i>Power Park Modules</i> |
| PSS | <i>Power System Stabilizer</i> ; Stabilizator elektroenergetskog sustava |

| | |
|-------|--|
| PWM | <i>Pulse-Width Modulation</i> ; Pulsno-širinska modulacija |
| RH | Republika Hrvatska |
| RHE | Reverzibilna hidroelektrana |
| ROCOF | <i>Rate-of-change-of-frequency</i> , brzina promjene frekvencije |
| SG | Sinkroni generator |
| SGPM | Sinkroni generator s permanentnim magnetima |
| TE | Termoelektrana |
| TETO | Termoelektrana-toplana |
| TS | Transformatorska stanica |
| TSO | Transmission System Operator; Operator prijenosnog sustava |
| VA | Vjetroagregat/i |
| VE | Vjetroelektrana/e |
| VP | Visokopropusni |

1 Regulatorni zahtjevi za priključenje na mrežu

Svi korisnici priključeni na javnu električnu mrežu, bilo da su proizvođači ili potrošači, moraju se pridržavati dogovorenih tehničkih zahtjeva kako bi mreža mogla raditi sigurno i učinkovito. Električne mreže oslanjaju se na proizvođače sa sinkronim generatorima koji pružaju mnoge pomoćne usluge sustavu, pa su tehnički zahtjevi za proizvođače neizbježno složeniji nego za potrošače.

Navedeni tehnički zahtjevi često se nazivaju 'mrežnim pravilima' (eng. grid codes), no često postoje različita 'pravila', ovisno o naponskoj razini priključka ili veličini proizvodnje jedinice. Također, mogu postojati tehnički zahtjevi koja nisu navedena u mrežnim pravilima, ali koji se primjenjuju putem ugovora o priključenju ili na neki drugi način.

Svrha zahtjeva je definiranje tehničkih karakteristika i obveza proizvođača i operatora sustava, na način da [1]:

- Operatori elektroenergetskog sustava mogu biti sigurni da će EES biti siguran bez obzira na proizvodne projekte i primijenjene tehnologije;
- Proizvođači opreme mogu dizajnirati svoju opremu znajući da su zahtjevi jasno definirani i da se neće mijenjati bez upozorenja ili savjetovanja;
- Izvođači projekata imaju širi raspon dobavljača opreme na izbor;
- Ekvivalentni projekti tretiraju se pošteno; i
- Različite tehnologije generatora tretiraju se jednako.

U prošlosti je s vertikalno integriranom elektroprivredom ista organizacija bila odgovorna za planiranje i rad mreže i generatora, pa tehnički zahtjevi nisu trebali biti posebno jasno definirani. U današnje vrijeme, kako bi se izbjegla narušavanja konkurencije i udovoljilo liberaliziranom energetsom tržištu u Europi, postoji trend zakonskog razdvajanja proizvođača i vlasnika/operatora sustava. Kao rezultat toga, tehnički zahtjevi koji uređuju odnos između proizvođača i operatora sustava trebaju biti jasnije definirani. Uvođenje proizvodnje iz OIE, često komplicira navedeni proces, jer takvi proizvođači imaju drugačije fizikalne karakteristike od sinkrono povezanih generatora, koji se koriste u velikim konvencionalnim elektranama. U nekim zemljama izrađena su posebna mrežna pravila za vjetroelektrane, dok je u drugima cilj definirati zahtjeve na način koji je neovisan o tehnologiji elektrane. Prednost u provođenju imaju generalniji zahtjevi, kao što je jednako tretiranje svih priključnih projekata. To, međutim, može rezultirati da se manji projekti suočavaju s istim zahtjevima kao i najveći projekti, što možda nije tehnički opravdano. Zahtjeve obično predlaže operator sustava, a nadgleda ih regulatno tijelo ili vlada. Postupak izmjene zahtjeva trebao bi biti transparentan i uključivati savjetovanje s proizvođačima, korisnicima sustava, dobavljačima opreme i drugim uključenim sudionicima.

2 Osnovni zahtjevi za priključak proizvodnih modula

Raspored tehničkih zahtjeva unutar mrežnih pravila i sličnih dokumenata razlikuje se za različite EES-e. Međutim, radi jednostavnosti tipični zahtjevi za generatore mogu se grupirati na sljedeći način:

- Tolerancija - raspon uvjeta u EES-u za koje proizvodni park OIE mora nastaviti raditi;
- Regulacija jalove snage - često to uključuje zahtjeve za doprinos kontroli napona na mreži;
- Regulacija radne snage;
- Zaštitni uređaji; i
- Kvaliteta napajanja.

Važno je napomenuti da se ti zahtjevi često preciziraju na mjestu zajedničkog spajanja (eng. Point of Common Coupling- PCC) između OIE i električne mreže. U tom su slučaju zahtjevi postavljeni na razini elektroenergetskog proizvodnog parka, a moduli elektroenergetskog parka se mogu prilagoditi da udovolje tim zahtjevima. Cjelovit i detaljan popis trenutnih zahtjeva za priključenje proizvodnih jedinica (modula elektroenergetskog parka) na mrežu u Republici Hrvatskoj nalazi se u [2]. U navadenom dokumentu definiran je 'modul elektroenergetskog parka' na sljedeći način: *Jedinica ili skup jedinica za proizvodnju električne energije koja je nesinkrono priključena na mrežu ili povezana energetsom elektronikom te ima jedno mjesto priključenja na prijenosni sustav, distribucijski sustav, uključujući zatvoreni distribucijski sustav, ili istosmjerni sustav visokog napona.* Prema tome, u nastavku teksta, sve proizvodne jedinice koje imaju tehničku mogućnost pružanja pomoćnih usluga EES-u (uglavnom vjetroturbine) oslovljavat će se kao 'modul elektroenergetskog paraka' ili 'proizvodni modul'.

2.1 Tehničke mogućnosti proizvodnih modula

Razvoj vjetroturbina s promjenjivom brzinom, korištenjem energetskih elektroničkih pretvarača, ostvaren je uglavnom za potrebe smanjenje mehaničkih opterećenja. To pruža mogućnost dodatne regulacije jalove snage, a u većini slučajeva, također, smanjuje učinak vjetroatregata na mrežu tijekom iznenadnog kvara. Što je veći elektronički pretvarač (u odnosu na veličinu vjetroatregata), to je bolja kontrola jalove snage. Tako vjetroturbine s promjenjivom brzinom i regulacijom kuta lopatica turbine, temeljene na principu punog pretvarača, omogućuju željenu regulaciju vjetroturbina unutar potrebnih granica.

Za razliku od vjetroturbina, fotonaponske elektrane nemaju pokretnih, rotirajućih dijelova te zbog toga mogu vrlo brzo, u milisekundnom intervalu, ostvariti željenu regulaciju. Spojene su na mrežu preko DC/AC izmjenjivača, a dodatno se može koristiti i neki DC/DC pretvarač (silazni, ulazni) u spoju između fotonaponske elektrane i DC/AC izmjenjivača. S obzirom da fotonaponske elektrane ne proizvode radnu snagu tijekom noći, u tom periodu mogu u potpunosti doprinositi regulaciji

napona regulirajući jalovu snagu. Korištenjem spremnika energije, kondenzatora na DC-spoju ili tehnika rasterećenja elektrane (tzv. de-loading techniques), fotonaponske elektrane bi mogle sudjelovati u regulaciji frekvencije EES-a pružanjem odziva brzine jednake inercijskom odzivu sinkronih generatora.

Trenutno instalirani proizvodni moduli ne koriste u potpunosti ove mogućnosti prilikom rada, a mrežna pravila još uvijek ne iskorištavaju sve mogućnosti. Kako se integracija proizvodnih modula povećava, a mrežni operateri stječu iskustva s ponašanjem svojih sustava, mrežna pravila postat će sve zahtjevnija. Novi tehnički zahtjevi trebali bi se temeljiti na:

- Detaljnoj procjeni potreba za pomoćnim uslugama;
- Tehničkom potencijalu svi tipova elektrana; i
- Optimalanom načinu (tehničkom i ekonomskom) za ispunjavanje ovih zahtjeva.

2.1.1 Tolerancija

Proizvodni modul mora nastaviti raditi između minimalnog i maksimalnog graničnog napona. Obično se navedene veličine odnose na ravnotežno stanje u mreži, iako postoje i kratkoročna ograničenja koja dozvoljavaju širi raspon pogonskih vrijednosti.

Modul, također, mora nastaviti raditi između ograničenja minimalne i maksimalne frekvencije. Često postoji raspon koji se primjenjuje kontinuirano i nekoliko ekstremnijih kratkoročnih raspona.

U EES-ima s relativno visokim udjelom OIE, uobičajeni je zahtjev da proizvodni moduli nastave raditi tijekom ozbiljnih poremećaja u sustavu, tijekom kojih napon može pasti na vrlo niske razine u vrlo kratkim vremenskim razdobljima. To se naziva "prolazak kroz kvar" (eng. Fault Ride Through - FRT) ili "prolazak kroz niski napon" (eng. Low Voltage Ride Through - LVRT). Zahtjevi mogu biti složeni i ovisiti o tehničkim karakteristikama elektroenergetskog sustava. Dokazivanje sukladnosti sa zahtjevima može biti teško i skupo. Moguće je koristiti module koji nisu u skladu s FRT zahtjevima instaliranjem dodatne opreme koja može proizvesti ili potrošiti jalovu snagu na razini modula ili centralno u okviru proizvodnog parka.

2.1.2 Regulacija jalove snage

Proizvodnja i potrošnja jalove snage od strane proizvodnih modula omogućuje mrežnim operaterima kontrolu napona u EES-u. Zahtjevi se mogu definirati na više načina, od kojih je najjednostavniji fiksni faktor snage, najčešće s jediničnom vrijednošću. Često nisu navedeni potrebni intervali točnosti i integracije za provjeru faktora snage, a fiksna vrijednost može se povremeno mijenjati, na primjer u zimskom i ljetnom periodu ili za vrijeme vrhunca potrošnje i praznog hoda.

Alternativno, proizvodni modul će možda morati prilagoditi svoju potrošnju ili proizvodnju jalove snage kako bi regulirao napon na zadanu vrijednost. To je obično napon na PCC-u, ali mogu se odrediti i druga mjesta. Mogu postojati zahtjevi za točnost regulacije i brzinu odgovora. Brzo upravljanje može biti teško postići, ovisno o mogućnostima SCADA komunikacijskog sustava modula. Neke izvedbe vjetroagregata mogu ispuniti ove funkcije, čak i kad vjetroturbina ne radi. Ovo je potencijalno vrlo korisna funkcija za mrežne operatore, ali još nije uobičajeni zahtjev. FRT zahtjevi mogu se zadovoljiti centralnom opremom za kompenzaciju jalove snage.

2.1.3 Regulacija radne snage

Svi oblici upravljanja radnom snagom u proizvodnim modulima zahtijevaju smanjenje izlazne snage, što znači smanjenje prihoda. To je manje problematično za konvencionalne elektrane, gdje se izgubljeni prihod, donekle, nadoknađuje smanjenjem troškova goriva. Stoga, operateri sustava i energetske regulatori prepoznaju da smanjenje proizvodnje proizvodnih modula treba koristiti kao krajnju metodu.

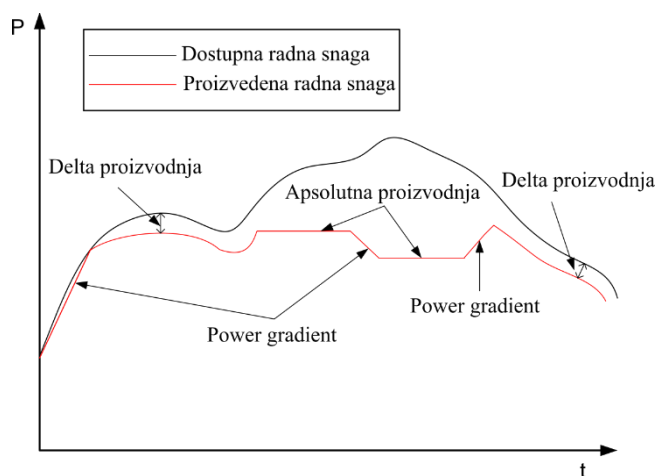
Najjednostavnija metoda regulacije radne snage je da se proizvodnom modulu (ili proizvodnom parku) daje naputak da proizvodnju održi ispod određene razine. Složenija verzija ograničenja je inzistirati na tome da se proizvodnja drži na fiksnoj razini ispod neograničene snaga dostupne iz OIE.

Paralelno s ograničavanjem snage, modulu se, također, može naložiti da regulira brzinu promjene snage (rampe), drugim riječima da ograniči brzinu kojom se izlazna snaga može povećati (zbog povećane brzine vjetra ili vraćanja turbina u pogon nakon nekog prekida, u slučaju vjetroturbina). Brzina promjene definirana je tijekom razdoblja, na primjer, jedne minute ili 10 minuta. To ograničava zahtjeve mrežnog operatora prema drugim proizvodnim jedinicama za brzom promjenom snage. Jasno je da se proizvodnja iz VE ne može automatski kontrolirati prilikom 'negativne' promjene snage, ako brzina vjetra iznenada padne. Međutim, s dobrim alatima za prognozu vjetra moguće je unaprijed prognozirati smanjenje brzine vjetra, čime se proizvodnje može postupno smanjivati i održavati na prihvatljivoj razini, prije naglog smanjenja brzine vjetra.

Energetski resurs fotonaponske elektrane je sunce, a glavni parametar mjere resursa je ozračenost (engl. irradiance [W/m^2]). Prognoze ozračenosti plohe jednostavnije su i točnije od prognoze vjetra jer nagle promjene ozračenosti događaju se u dosta manjem broju slučajeva (uzrok je najčešće iznenadni prolazak oblaka). Dakle, fotonaponske elektrane mogu dosta jednostavnije regulirati proizvodnju radne snage u skladu sa željenim načinom (Slika 1):

- **Apsolutna proizvodnja** – FNE proizvodi radnu snagu koju određuje OPS

- **Delta proizvodnja** – FNE održava proizvodnju radne snage na određenom postotku s obzirom na maksimalnu snagu. Ovaj način pogona omogućuje održavanje snage rezerve potrebne za primarnu regulaciju frekvencije u slučaju poremećaja.
- **Promjena snage (Power gradient)** – povećanje i smanjivanje radne snage mora u svakom trenutku biti unutar određenog intervala MW/min.



Slika 1: Koncepti upravljanja proizvodnjom radne snage FNE

U sustavima s relativno velikim prodorom OIE, često postoji zahtjev za frekvencijskim odzivom ili regulacijom frekvencije. To može imati razne oblike, ali osnovno je načelo da, prema uputama, proizvodni modul smanji izlaznu snagu za nekoliko posto, a zatim je prilagodi kao odgovor na frekvenciju sustava. Povećavanjem snage kada je frekvencija niska ili smanjenjem snage kada je frekvencija visoka, proizvodni modul može doprinijeti kontroli frekvencije sustava.

2.1.4 Zaštitni uređaji

Zaštitni uređaji, poput releja, osigurača i prekidača, potrebni su za zaštitu proizvodnih modula i mreže od električnih kvarova. Pažljiva koordinacija je potrebna između navedenih uređaja kako bi se osiguralo da se kvarovi otklanjaju na siguran način i da se ispravno funkcionirajuća oprema ne odvaja sa mreže nepotrebno. Primjerice, prema [2], modul elektroenergetskog parka mora imati sposobnost prolaska kroz stanje kvara tijekom promjene (pada) frekvencije koja se odvija brzinom do 2 Hz/s, unutar promatranog vremenskog okvira od 500 ms.

2.1.5 Kvaliteta napajanja

U mrežnim pravilima, obično, postoje ograničenja harmoničkih struja koje proizvodni modul može injektirati u mrežu, a njihova detaljna analiza može biti teška. U slabim mrežama, naponski

koraci uzrokovani puštanjem ili zaustavljanjem vjetroagregata ili energiziranjem transformatora, mogu predstavljati problem. S tim u vezi problem je i treperenje napona, koje može biti uzrokovano pokretanjem ili zaustavljanjem vjetroagregata ili normalnim radom agregata.

2.2 Budući zahtjevi za proizvodne module

Kako se udio OIE u EES-u bude povećavao, budući tehnički zahtjevi za sve proizvodne module povezane preko energetske elektronike, postat će sve teži i zahtjevniji.

Jedan od mogućih zahtjeva je funkcija inercije, koja se često naziva 'virtualna (sintetička) inercija'. Inercija sadržana u rotirajućim masama konvencionalnih generatora, pruža znatnu korist EES-u djelujući kao zamašnjak, ublažavajući kratkoročne razlike u proizvodnji i potrošnji električne energije. Vjetroturbine s promjenjivom brzinom nemaju takav ekvivalentan učinak, ali teoretski bi njihovi sustavi upravljanja mogli pružiti funkciju koja oponaša efekt tromosti.

Kao što je rečeno, fotonaponske elektrane nemaju rotirajućih dijelova koji bi mogli smanjiti ili povećavati svoju kinetičku energiju, te stoga ne doprinose inherentno inercijskom odzivu. Međutim, zahvaljujući brzom odzivu pretvarača, fotonaponske elektrane mogu reagirati na promjenu frekvencije u vremenskom okviru jednakom inercijskom odzivu sinkronih generatora što znači da mogu doprinijeti poboljšanju frekvencijskog odziva tijekom poremećaja ako bi imale upravljačke petlje koje bi omogućile sudjelovanje u regulaciji frekvencije. Jedno od najčešćih rješenja za poboljšanje inercijskog odziva tijekom regulacije frekvencije temelji se na korištenju kondenzatora na DC spoju pomoću kojeg se može ostvariti mogućnost sudjelovanja u inercijskom odzivu, tzv. virtualni inercijski odziv. Sposobnost regulacije frekvencije je u ovom slučaju ograničena količinom apsorbirane ili otpuštene energije tj. kapacitetom kondenzatora. Jednaku funkciju koju obavlja kondenzator mogu obavljati velike baterije odnosno spremnici energije. Međutim, problem je cijena spremnika energije koja je još uvijek velika, a i njihov životni vijek je kraći nego FNE.

Također, može se očekivati pomak prema tržištima pomoćnih usluga EES-u, umjesto prema obveznim zahtjevima. To bi ekonomski imalo smisla jer bi svaku uslugu pružao proizvođač koji najbolje može pružiti specifičnu uslugu. Također, zbog vrlo niskih graničnih troškova obnovljivih izvora energije, poput energije vjetra, to bi bilo ekološki i ekonomski učinkovitije. Na primjer, ako bi vjetroelektrana pružala pomoćnu uslugu regulacije napona (drugim riječima, učinila bi više nego što je potrebno da se nadoknade vlastiti negativni učinci na mrežu), tada bi vjetroelektrana mogla naplatiti uslugu. To može biti jeftinije od ostalih opcija dostupnih operateru sustava.

2.3 Usklađivanje mrežnih pravila

Način na koji su se razvila mrežna pravila u Europi, rezultirao je neučinkovitošću i dodatnim troškovima za potrošače, proizvođače i vlasnike proizvodnih modula. Sa sve većim prodorom OIE, sve je veća potreba za razvojem usklađenog skupa mrežnih pravila. Harmonizirani tehnički zahtjevi maksimizirat će učinkovitost za sve strane i trebali bi se primijenjivati kad god je to moguće i prikladno. Međutim, nije praktično potpuno uskladiti tehničke zahtjeve svih država, jer bi to moglo dovesti do nepotrebne provedbe najstrožih zahtjeva za svaku državu članicu, što ne bi bilo učinkovito ili ekonomski opravdano.

3 Zaključak

Specifični tehnički zahtjevi unutar mrežnih pravila prema OIE u pogledu tolerancije, upravljanja radnom i jalovom snagom, zaštitnih uređaja i kvalitete električne energije mijenjaju se kako se povećava udio OIE i povećavaju se tehničke mogućnosti pružanja pomoćnih usluga proizvodnih modula spojednih preko energetske elektronike, poput aktivne regulacija napona i pružanja potpore frekvenciji mreže. Također, očekuje se pomak prema tržištima pomoćnih usluga, umjesto prema obveznim zahtjevima, što bi bilo ekonomski pošteno prema proizvođačima sposobnima za pružanje usluge. Proizvodnim modulima se postupno nameću sve veći zahtjevi mrežnih pravila, uzimajući u obzir kontinuirani razvoj tehničkih mogućnosti modula. U tom je pogledu presudno proaktivnije sudjelovanje industrije OIE u razvoju usklađenih zahtjeva mrežnih pravila u Europi.

Literatura

- [1] EWEA, »Wind Energy The Facts,« [Mrežno]. Available: <https://www.wind-energy-the-facts.org/index-35.html>. [Pokušaj pristupa 2021].
- [2] HOPS d.o.o., »Izmjene i dopune mrežnih pravila prijenosnog sustava,« 20 11 2020. [Mrežno]. Available: <https://www.hops.hr/page-file/qwmpXPbliKzM15Pj08gnp6/popis-propisa-vezanih-za-prikljucenje-na-prijenosnu-mrezu/Izmjene%20i%20dopune%20Mre%C5%BEnih%20pravila%20prijenosnog%20sustava.pdf>. [Pokušaj pristupa 2021].
- [3] I. Kuzle, *Identifikacija dinamičkih parametara srednjerazvijenog elektroenergetskog sustava s obzirom na promjene frekvencije*, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2002.
- [4] M. Krpan and I. Kuzle, "Inertial And Primary Frequency Response Model Of Variable-Speed Wind Turbines," *The Journal of Engineering*, vol. 2017, pp. 844-848, 1 2017.

- [5] J. Đaković, P. Ilak, T. Baškarad, M. Krpan i K. Igor, »Effectiveness of Wind Turbine Fast Frequency Response Control on Electrically Distanced Active Power Disturbance Mitigation,« u *11th Mediterranean conference on power generation, transmission, distribution and energy conversion (MEDPOWER2018)*, Dubrovnik (Cavtat), 2018.
- [6] HOPS, *Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2018.-2027., s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje*, 2017.
- [7] National Renewable Energy Laboratory; University of Colorado; Electric Power Research Institute , "Active Power Controls from Wind Power: Bridging the Gaps," January 2014 .
- [8] MathWorks Documentation, "Wind Farm Using Doubly-Fed Induction Generators," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ug/wind-farm-using-doubly-fed-induction-generators.html>. [Accessed 2019].
- [9] MIGRATE report, »Lessons learned from monitoring & forecasting KPIs on impact of PE penetration,« MIGRATE consortium, 2018.
- [10] P. Kundur, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill Education, 1994.
- [11] HOPS, »Vođenje EES-a,« [Mrežno]. Available: <https://www.hops.hr/vodenje-ees-a>. [Pokušaj pristupa 2020.].
- [12] P. Tielens, *Operation and control of power systems with low synchronous inertia*, KU Leuven – Faculty of Engineering Science, 2017.
- [13] A. Taşçıkaraoğlu and O. Erdiñç, "A Survey of Recent Developments and Requirements for Modern Power System Control," in *Pathways to a Smarter Power System*, Elsevier Ltd, 2019, p. 442.