



PLANIRANJE RADA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE SA VELIKIM BROJEM DISTRIBUIRANIH GENERATORA

DISTRIBUTION SYSTEM WORK PLANNING WITH LARGE NUMBER OF DISTRIBUTED GENERATORS

Saša ĐEKIĆ, ZP „Elektro Dobož“ a.d. Dobož, RS/BiH

KRATAK SADRŽAJ

Vlade u regionu intenzivno pokušavaju da decentralizuju proizvodnju u energetsom sektoru podsticanjem izgradnje distribuiranih elektrana i podsticanjem građana da proizvode električnu energiju. Nude se podsticaji, uvodi se nova kategorija “kupca-proizvođača”, tzv. "pronzjumer". U takvim okolnostima, priključenje distribuiranih proizvodnih jedinica mora biti striktno praćeno provjerom propisanih tehničkih kriterijuma i uslova prikljućenja. Takođe, planiranje razvoja elektrodistributivne mreže mora biti uslovljeno istim kriterijumima u očekivanim uslovima rada elektrodistributivne mreže sa velikim brojem distribuiranih generatora povezanih disperzivno na elektrodistributivnu mrežu. U suprotnom, perspektivno stanje distributivne mreže i performanse rada iste mogu biti veoma ugroženi. U radu će se kritički sagledati mogućnosti primjene ovih kriterijuma pri planiranju razvoja elektrodistributivne mreže u Republici Srpskoj/BiH, za veliki broj distributivnih agregata planiranih za prikljućenje kao i u pojedinaćnim slućajevima, i dati konkretni prijedlozi za postizanje ovog cilja, uz primjenu specijalizovanih softverskih paketa.

Ključne reći: distributivna mreža, planiranje i razvoj, distributivni generatori

ABSTRACT

Governments in the region are intensively trying to decentralize production in the energy sector by encouraging the construction of distributed power plants and encouraging citizens to produce electricity. Incentives are offered, a new category the so-called "pronzjumer". In such circumstances, the connection of distributed generation units must be strictly accompanied by checking the prescribed technical criteria and connection conditions. Also, the planning of the development of the electricity distribution network must be conditioned by the same criteria in the expected operating conditions of the electricity distribution network with a large number of distributed generators connected dispersively through the electricity distribution network. Otherwise, the perspective state of the distribution network and its performance can become very endangered. The paper will critically review the possibilities of applying these criteria when planning the development of the electricity distribution network in Republika Srpska/BiH, for a large number of distribution generators planned for connection as well as in individual cases, and will give specific proposals for achieving this goal using specialized software packages..

Key words: power distribution network, planning and development, distributed generators

Dr Saša Đekić, ZP „Elektro Dobož“ a.d. Dobož, Nikole Pašića 77, 74000 Dobož, RS/BiH, sasa.b.djekic@elektrodoboj.net

1. UVOD

Vlade u regionu intenzivno pokušavaju da decentralizuju proizvodnju u energetsom sektoru podsticanjem izgradnje distributivnih elektrana i podsticanjem građana da proizvode električnu energiju. Nude se podsticaji, uvodi se nova kategorija “kupca-proizvođača”, tzv. "pronzjumer". Najveći broj obnovljivih izvora elektrićne energije (OIE) se prikljućuje na elektroenergetsku distributivnu mrežu (EDM), tzv. distributivni generatori (DG). U ovu kategoriju spadaju male hidroelektrane, solarne elektrane, vetroelektrane i elektrane na biomasu. Ispitivanje mogućnosti prikljućenja, odnosno integracije, DG u elektrodistributivni sistem je preduslov za

njihovu izgradnju i generalno za zauzimanje stava društva po pitanju mogućnosti eksploatacije takvih izvora. U takvim okolnostima, priključenje distribuiranih proizvodnih jedinica mora biti striktno praćeno provjerom propisanih tehničkih kriterijuma i uslova priključenja. Takođe, planiranje razvoja elektrodistributivne mreže mora biti uslovljeno istim kriterijumima u očekivanim uslovima rada elektrodistributivne mreže, sa velikim brojem DG povezanih disperzivno na EDM. U suprotnom, perspektivno stanje distributivne mreže i performanse rada iste mogu biti veoma ugroženi. U skoro svim razvijenijim državama svijeta se intenzivno razmatra tranzicija tradicionalnog ED sistema prema sistemu koji bi se bazirao na mogućnostima upotrebe OIE. Na ovaj način se smanjuje zagađenje, globalno zagrijavanje i prelazi na koncept održivog energetskog razvoja. Kako bi se takav cilj postigao, u državama Evrope i svijeta su izrađene ili se izrađuju studije koje daju jasne smjernice po pitanju integracije OIE. U predmetnom radu će se naglasiti značaj primjene, kritički sagledati mogućnosti primjene usvojenih kriterijuma za priključenje malih elektrana na elektrodistributivnu mrežu u Republici Srpskoj u praksi, kako sa aspekta pojedinačne sukcesivne primjene tako i primjene istih pri planiranju razvoja elektrodistributivne mreže sa velikim brojem DG, i dati konkretni prijedlozi.

2. ZAKONODAVNI OKVIR KOJIM JE REGULISANA IZGRADNJA ELEKTRANA

Planiranje i izgradnja novih elektrana u Republici Srpskoj vrši se u skladu sa elektroenergetskom politikom. Vlada Republike Srpske vodi elektroenergetsku politiku u skladu sa strateškim dokumentima i planovima razvoja energetskog sektora a ista se prije svega definiše i usvaja kroz strategiju razvoja energetike i planove razvoja elektroenergetskog sektora. U Strategiji razvoja energetike BiH do 2035. godine, u dijelu koji se odnosi na Republiku Srpsku, data je lista potencijalnih kapaciteta za proizvodnju električne energije, gdje su prepoznati projekti u hidroelektranama i vjetroelektranama instalisane snage veće od 10 MW. Ostali oblici proizvodnje iz OIE, uključujući i male hidroelektrane, solarne fotovoltne elektrane date su kao zbirni planirani kapaciteti. Narodna skupština Republike Srpske usvojila je Strategiju razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine, kojom su definisani prioritetni projekti od interesa za RS. U strategiji razvoja energetike Republike Srpske do 2030. planirani su svi potencijalni objekti a pogotovo veliki proizvodni objekti: HE Dabar; HE Buk Bijela; HE Foča; HE Paunci; HE Sutjeska; HE Tegare; HE Rogačica; HE Dubravica; HE Dubrovnik 2 kao i manji proizvodni objekti. U Akcionom planu za korišćenje obnovljivih izvora energije Republike Srpske, pored ukupnih kapaciteta za svaku pojedinačnu tehnologiju proizvodnje električne energije iz OIE, nabrojani su i neki pojedinačni kapaciteti za hidroelektrane i vjetroelektrane. U domenu prostornog uređenja, projekti energetske infrastrukture definisani su i Prostornim planom Republike Srpske. S obzirom na to da prostorni plan Republike Srpske, ipak, ne sadrži većinu planiranih postrojenja koja koriste OIE zbog manje veličine i instalirane snage, nedostatak prostornih planova posebnih obilježja i područja, odnosno prostornih planova nižeg nivoa i sprovedbenih planova predstavlja prepreku efikasnijem investiranju u OIE. Nadležni organi nastoje premostiti ovaj problem u praksi tako što koriste zakonsku mogućnost pribavljanja stručnih mišljenja od strane subjekata koji posjeduju odgovarajuću licencu o tome da li se neki objekat, uključujući i elektroenergetski, može graditi na dotičnom prostoru. [1] U Zakon o uređenju prostora i građenju Republike Srpske i u podzakonske akte, unesena je obaveza aktivnog uključivanja javnosti u svim fazama donošenja dokumenta prostornog uređenja, počev od donošenja odluke o pristupanju izradi, izmjeni ili dopuni dokumenta, pripremanja i izrade dokumenta prostornog uređenja, utvrđivanja nacrti i prijedloga dokumenta prostornog uređenja, njihovog stavljanja na javni uvid i vođenja stručne i javne rasprave o prijedlozima, primjedbama i mišljenju javnosti radi usaglašavanja stavova i interesa, sve do izlaganja dokumenta u grafičkom i tekstualnom dijelu na stalni javni uvid i objavljivanja na internet stranici nadležnog organa. [1] Učešće javnosti značajno doprinosi izradi prostornoplanskih dokumenata, jer se na ovaj način javnost upoznaje sa planiranim projektom ili grupom projekata od samog početka, što znatno olakšava i ubrzava cijeli proces odobravanja i izgradnje projekta. Ovo je posebno korisno sa aspekta blagovremene razmjene informacija i podataka, između investitora, predstavnika lokalne zajednice i lokalnih vlasti te elektrodistributivnih i komunalnih preduzeća o planiranim budućim elektroenergetskim objektima na konkretnom području. Jako je važno od samog starta, od same ideje budućeg projekta, uspostaviti vezu investitora sa lokalnim ODS, za sve buduće planirane proizvodne objekte, koji će se u konačnici morati priključiti na elektrodistributivnu mrežu. S druge strane, planiranje razvoja elektrodistributivne mreže uslovljeno je vladanjem informacijama vezanim između ostalog i očekivanim razvojem izgradnje velikog broja distribuiranih generatora povezanih disperzivno na elektrodistributivnu mrežu.

3. ZAKONODAVNI OKVIR KOJIM JE REGULISANO PRIKLJUČENJE I POGON DG

Priključenje i paralelni rad distributivnih elektrana sa ED sistemom regulisani su Zakonom o električnoj energiji, Distributivnim mrežnim pravilima, Opštim uslovima za isporuku i snabdjevanje električnom energijom i posebno Pravilnikom o uslovima priključenja elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske¹.

¹ U primjeni dokument iz maja 2014.

Distributivna mrežna pravila usaglašeno donose operateri distributivnog sistema, uz prethodno pribavljenu saglasnost Regulatorne komisije. Distributivna mrežna pravila se jedinstveno primjenjuju na teritoriji Republike Srpske i usklađena su sa pravilima koje donosi operater prenosnog sistema i opšteprihvaćenim međunarodnim pravilima koja se odnose na elektroenergetske sisteme. Pravilnik o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske objedinjuje zahtjeve važećih tehničkih propisa i priznatih standarda, s ciljem da se definišu minimalni uslovi koje mora ispuniti proizvođač električne energije kod projektovanja, izgradnje, priključenja i pogona proizvodnog postrojenja koje se priključuje na elektrodistributivnu mrežu nazivnog napona 0,4kV, 10kV, 20kV i 35kV, a sve u cilju smanjenja utricaja paralelnog rada DG i EDM međusobno. Pravilnik propisuje zahtjeve i uslove za izgradnju proizvodnog postrojenja isključivo u dijelu koji se odnosi na priključenje i kasniji paralelan rad sa distributivnom mrežom. Pravilnikom se detaljno uređuju: izdavanje elektroenergetske saglasnosti, izrada elaborata o priključenju za elektrane čija je nazivna snaga veća od 250 kW, zaključenje ugovora o priključenju, izrada glavnog projekta priključka, izrada priključka, priključenje elektrane na mrežu i izdavanje dokumenta deklaracije o priključku. U prilogu Pravilnika dat je pregledan hodogram odvijanja aktivnosti od definisanja uslova za priključenje, preko izrade priključka, do samog priključenja proizvodnog postrojenja na distributivnu mrežu.

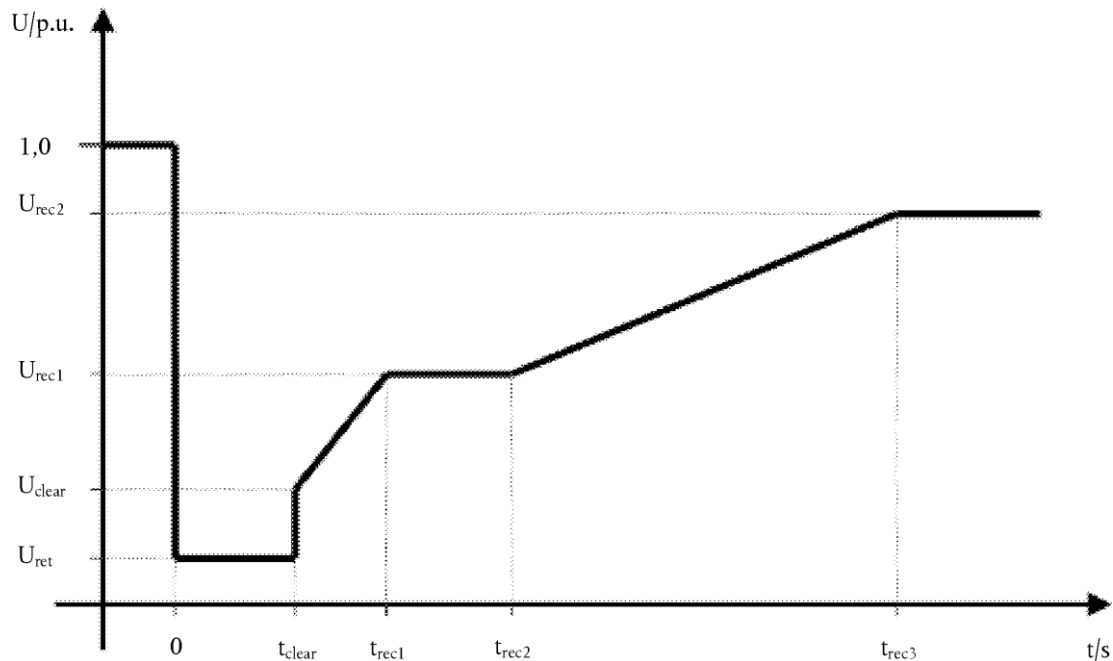
Pravilnik o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske usklađen je sa IEC 61000-3 Electromagnetic compatibility, ENTSO-E Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators i samom Uredbom komisije EU o uspostavljanju mrežnih pravila za zahtjeve za priključenje proizvođača električne energije na mrežu. Pomenutom Uredbom definisana je, između ostalog, i obaveza ispunjenja uslova tranzijentne stabilnosti elektrana za slučaj prolaznog kvara koji uzrokuje propade napona određene dubine i trajanja, i za elektrane manjih snaga koje se priključuju na naponske nivoe koji pripadaju elektrodistributivnoj mreži. Pravilnikom su definisani standardni kriterijumi koje u pogledu tehničkih uslova mora zadovoljiti mala elektrana da bi se priključila na elektrodistributivnu mrežu u određenoj tački a to su: kriterijum dozvoljenog strujnog opterećenja elemenata distributivne mreže, kriterijum dozvoljene promjene napona u stacionarnom režimu, kriterijum dozvoljene promjene napona u prelaznom režimu (kriterijum dozvoljene snage generatora), kriterijum dozvoljenih flikera (vjetrolektrane i solarne elektrane), kriterijum dozvoljenih struja i napona viših harmonika (elektrane priključene preko invertora/pretvarača) i kriterijum snage kratkog spoja (elektrane snage veće od 1 MVA). Pored osnovnih Pravilnikom su prepoznati i dodatni potrebni kriterijumi: kriterijum nesimetrije napona, kriterijum dozvoljenog injektiranja jednosmjerne struje (elektrane priključene preko invertora), kriterijum komutacionih napona (elektrane priključene preko mrežom vođenih pretvarača), kriterijum dopuštenog uticaja na prenos signala distributivnom mrežom. Pored navedenih osnovnih i proširenih tehničkih kriterijuma potrebnih za provjeru mogućnosti priključenja elektrana na elektrodistributivnu mrežu Pravilnikom su definisani i funkcionalni zahtjevi za rad elektrane paralelno sa elektrodistributivnom mrežom, a to su: smanjenje aktivne snage pri porastu frekvencije, ponovno priključenje elektrane nakon ispada zbog uslova u sistemu, regulacija proizvodnje reaktivne snage za elektrane na srednjem naponu, regulacija proizvodnje reaktivne snage za elektrane na niskom naponu, kao i kriterijum tranzijentne stabilnosti, prema kome elektrana mora biti osposobljena za stabilan rad pri kratkim spojevima u elektroenergetskom sistemu, tokom kojih dolazi do propada napona na mjestu priključenja na distributivnu mrežu.

Pravilnik predstavlja pre svega jedan napredan tehnički document, gledajući slične dokumente iz regiona iz tog perioda, usklađen sa međunarodnim tehničkim preporukama i standardima i evropskim direktivama. Navedeno je veoma pohvalno ali ipak stavlja pred korisnike, a pre svega odgovorna lica i zaposlena stručna lica u elektrodistributivnim preduzećima, odgovornost i zahtjevani visoki nivo stručne osposobljenosti za primjenu istog u praksi. Za šta je ponovo preduslov dostupnost sofisticiranih softverskih paketa namjenjenih za takve proračune i obučenosť ispred navedenih lica za korištenje istih. Cilj predmetnog rada jeste jeste takođe i kritički sagledati mogućnosti primjene usvojenih kriterijuma za priključenje malih elektrana na elektrodistributivnu mrežu u Republici Srpskoj te dati konkretne prijedloge za postizanje mogućnosti primjene istih u preksi.

4. KRITERIJUM TRANZIJENTNE STABILNOSTI

Na osnovu dugogodišnjeg prethodnog iskustva u predmetnoj oblasti i uvida u stanje sa primjenom i mogućnostima provođenja provjere osnovnih i proširenih tehničkih kriterijuma potrebnih prilikom ispitivanja mogućnosti priključenja elektrana na elektrodistributivnu mrežu, i funkcionalnih zahtjeva koji se postavljaju kao preduslov koji elektrana mora biti sposobna postići pri paralelnom radu sa elektrodistributivnom mrežom, autor predmetnog rada prepoznao je provjeru i dokazivanje uslova tranzijentne stabilnosti kao najkritičniji sa aspekta primjene standardnog korisnika, elektrodistributivnog preduzeća - kojima je zakonom povjeren predmetni posao. Namjera predmetnog rada jeste prije svega ukazati na važnost dosljedne provjere predmetnog kriterijuma za elektrane priključene na elektrodistributivnu mrežu. Dalje, namjera autora jeste kroz predmetni rad dati jasan teorijski opus postavke pojma tranzijentne stabilnosti i opisati način vršenja provjere. Odnosno, dati doprinos u razumjevanju predmetne problematike i omogućavanju primjene iste u praksi. Uredbom komisije EU o uspostavljanju mrežnih pravila za zahtjeve za priključenje proizvođača električne energije na mrežu definisana

je, između ostalog, i obaveza ispunjenja uslova tranzijentne stabilnosti elektrana za slučaj prolaznog kvara koji uzrokuje propade napona određene dubine i trajanja, i za elektrane manjih snaga koje se priključuju na naponskim nivoima koji pripadaju elektrodistributivnoj mreži. U samoj uredbi, ispunjenje kriterijuma tranzijentne stabilnosti definisano je na osnovu dijagrama datih na Slici 1 i Slici 2. Kao što je primjetno, konkretne vrijednosti parametara koji se moraju postići Uredbom nisu date, nego se preporučuju određene vrijednosti a korisnik mreže upućuje na OPS i ODS za dobijanje uslovljenih konkretnih vrijednosti.



Slika 1 - Dijagram prolaska proizvodnog modula kroz stanje kvara u mreži [4]

Na Slici 1 prikazana je donja granica vremenske karakteristike napona na mjestu priključenja, izražena pomoću odnosa njegove stvarne vrijednosti i njegove referentne vrijednosti prije, tokom i nakon otklanjanja kvara. U_{ret} zadržani je napon na mjestu priključenja tokom kvara, t_{clear} predstavlja trenutak kad je kvar uklonjen. U_{rec1} , U_{rec2} , t_{rec1} , t_{rec2} i t_{rec3} određene su tačke donjih granica uspostave napona nakon uklanjanja kvara.

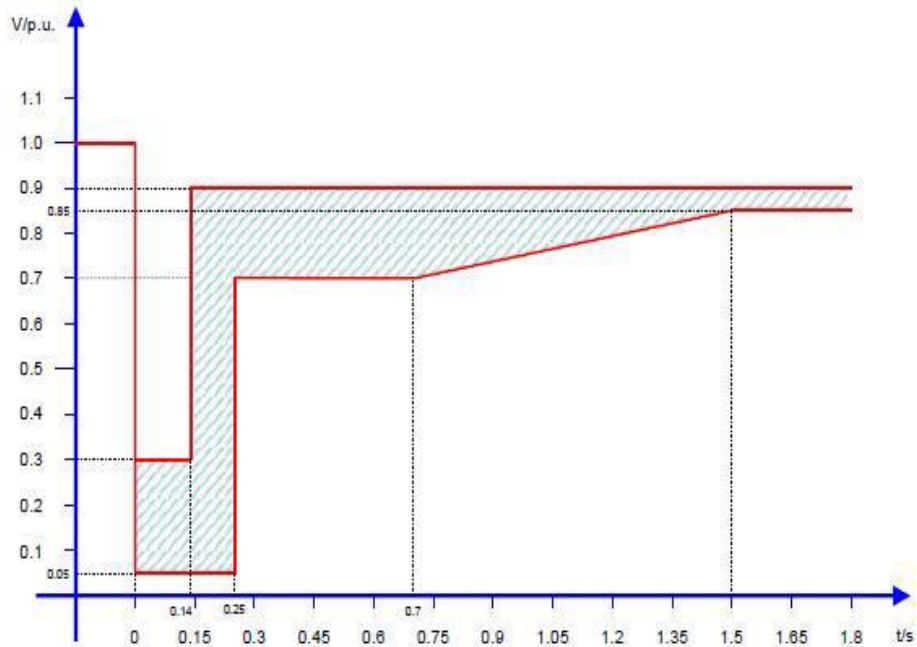
Tabela 1 Predloženi parametri za sliku 1, sposobnost prolaska kroz stanje kvara u mreži za sinhronu proizvodne module [4]

Naponski parametri [pu]		Vremenski parametri [sekunda]	
U_{ret}	0,05 – 0,3	t_{clear} :	0,14 – 0,15 (ili 0,14 – 0,25 ako se to zahtijeva zbog sigurnog pogona)
U_{clear}	0,7 – 0,9	t_{rec1} :	t_{clear}
U_{rec1}	U_{clear}	t_{rec2} :	$t_{rec1} - 0,7$
U_{rec2}	0,85 – 0,9 i $\geq U_{clear}$	t_{rec3} :	$t_{rec2} - 1,5$

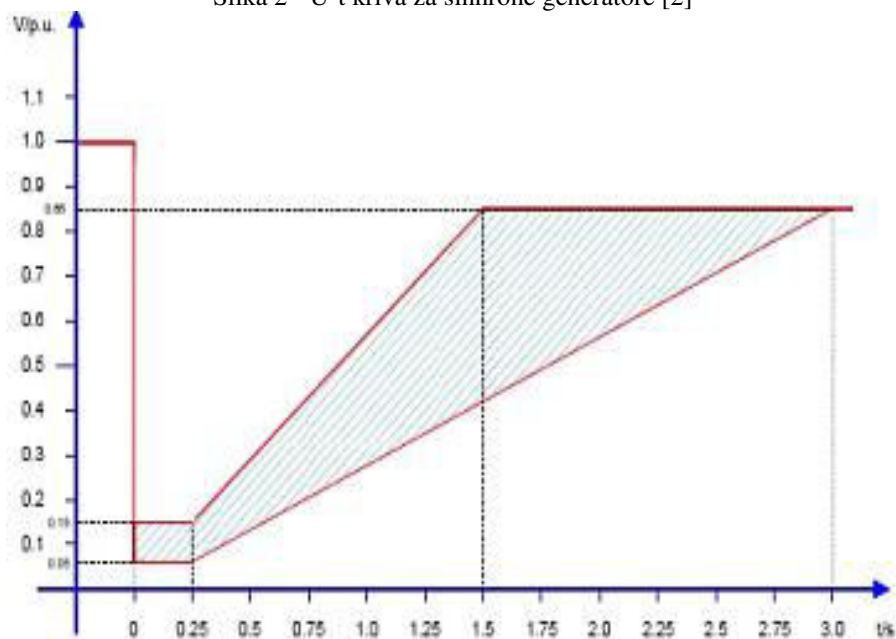
Tabela 2 Predloženi parametri za sliku 1, sposobnost prolaska kroz stanje kvara u mreži za nesinhronu proizvodne module [4]

Naponski parametri [pu]		Vremenski parametri [sekunda]	
U_{ret}	0,05 – 0,15	t_{clear} :	0,14 – 0,15 (ili 0,14 – 0,25 ako se to zahtijeva zbog sigurnog pogona)
U_{clear}	$U_{ret} - 0,15$	t_{rec1} :	t_{clear}
U_{rec1}	U_{clear}	t_{rec2} :	t_{rec1}
U_{rec2}	0,85	t_{rec3} :	1,5 – 3,0

S druge strane, Pravilnikom o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske je definisano da elektrana mora biti osposobljena za stabilan rad pri kratkim spojevima u elektroenergetskom sistemu, tokom kojih dolazi do propada napona na mjestu priključenja na distributivnu mrežu. U tom smislu, preostali napon na mjestu priključenja na distributivnu mrežu tokom kratkog spoja definisan je karakteristikom napon-vrijeme, prikazanom na slikama Slika 2. i Slika 3.



Slika 2 - U-t kriva za sinhronne generatore [2]



Slika 3 U-t kriva za ostale tipove generatora [2]

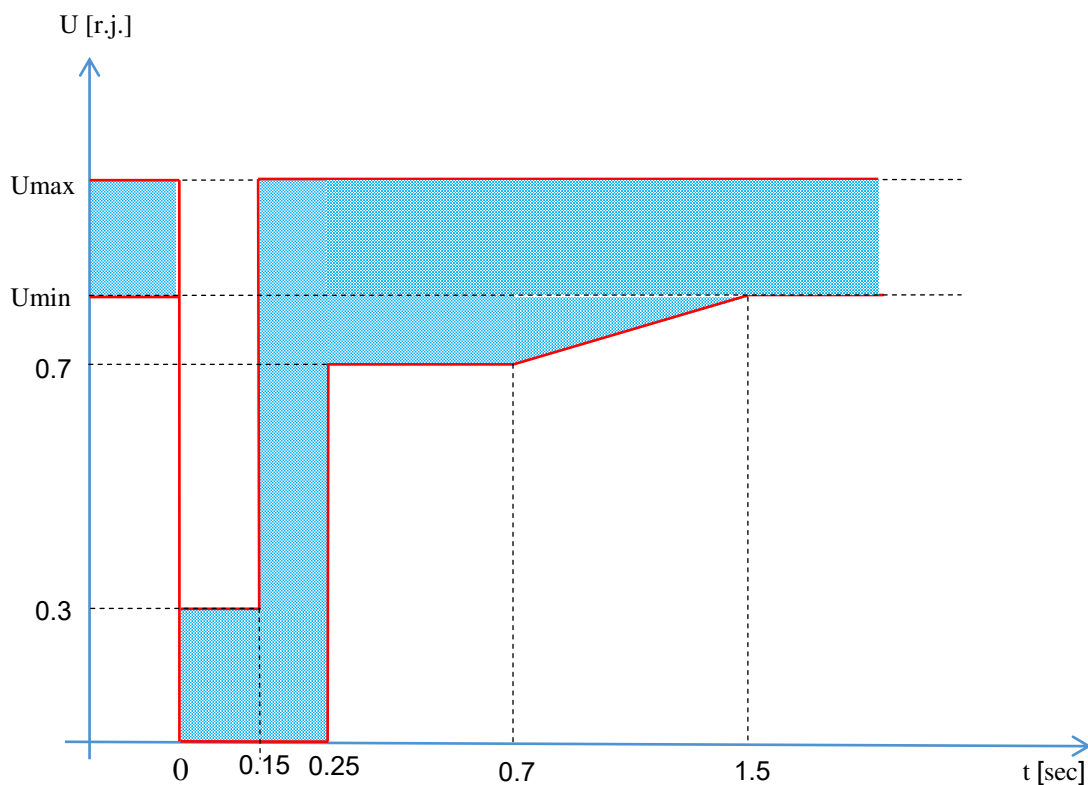
Prema Pravilniku, za kratke spojeve tokom čijeg trajanja je preostali napon u funkciji vremena iznad propisane U-t krive, elektrane moraju bez narušavanja stabilnosti rada ostati u pogonu, osim u slučaju djelovanja zaštita od unutrašnjeg kvara elektrane. Propisana U-t kriva se definiše donjim limitom vrijednosti linijskih napona na mjestu priključenja na distributivnu mrežu tokom simetričnog kvara, kao funkcija vremena prije, tokom i poslije kvara. U osnovi, provjera kriterijuma tranzijentne stabilnosti svodi se na provjeru i dokazivanja sposobnosti stabilnog rada elektrana za slučaj prolaznog kvara koji uzrokuje propade napona određene dubine i trajanja, i za elektrane manjih snaga koje se priključuju na elektrodistributivnu mrežu. Uslovi koje elektrana mora da ispuni po osnovu tranzijentne stabilnosti su definisani dijagramom prolaska kroz stanje kvara koji je dat na prethodnim slikama. Preporuka autora rada, prema iskustvu stečenom na simulacionim provjerama tranzijentne stabilnosti

generatorska data je na Slici 4. Šrafiranom površinom je označen opseg u kom se mora nalaziti kriva napona u tački priključenja tokom prelaznog procesa. Ovaj dijagram važi za sinhronu i nesinhronu generatorske jedinice.

Kriterijum tranzijentne stabilnosti se provjerava simuliranjem trofaznog kratkog spoja u neposrednoj električnoj okolini tačke priključenja elektrane. Kratak spoj se simulira na vodu koji je električno blizak tački priključenja elektrane tako da održani napon u tački priključenja bude manji 0.3 r.j., pri čemu bi trajanje kratkog spoja, prema prijedlogu autora rada a u skladu sa Pravilima o radu prenosnog sistema, Elektromreža Srbije a.d., Mart 2020., trebalo biti veće do jednako 150 ms i manje do jednako 250 ms. Nakon isteka definisanog vremena trajanja kvara zaštitni uređaj isključuje vod pogođen kvarom koji do kraja simulacije ostaje van pogona. Isključenje voda pogođenog kvarom ne isključuje elektranu sa sistema. U zavisnosti od definisanog načina priključenja elektrane kratak spoj se simulira na:

- Početku jednog od priključnih vodova ako je elektrana na sistem priključena po principu ulaz–izlaz i ako se nazivna snaga elektrane u sistem može plasirati po bilo kom od ta dva voda. Ovo je slučaj kada je zadovoljen „N-1“ kriterijum sigurnosti. Preporučuje se da se kratak spoj u ovom slučaju simulira na 10% dužine voda od tačke priključenja elektrane.
- Nekom od otcjepa izvoda na koji je priključena elektrana u slučaju radijalnog priključenja elektrane na sistem, s tim da isključenje tog otcjepa ne isključuje elektranu sa sistema.
- Susjednom izvodu u TS u kojoj je priključen izvod na koji je priključena elektrana.

Kriterijum tranzijentne stabilnosti je zadovoljen ako sistem, nakon dejstva kratkog spoja, povratu ravnotežno stanje u kom se sve sistemske veličine nalaze u dozvoljenim granicama. Dodatni uslov je i to da kriva napona u vremenu u tački priključenja elektrane bude u opsegu koji definiše sledeća slika.



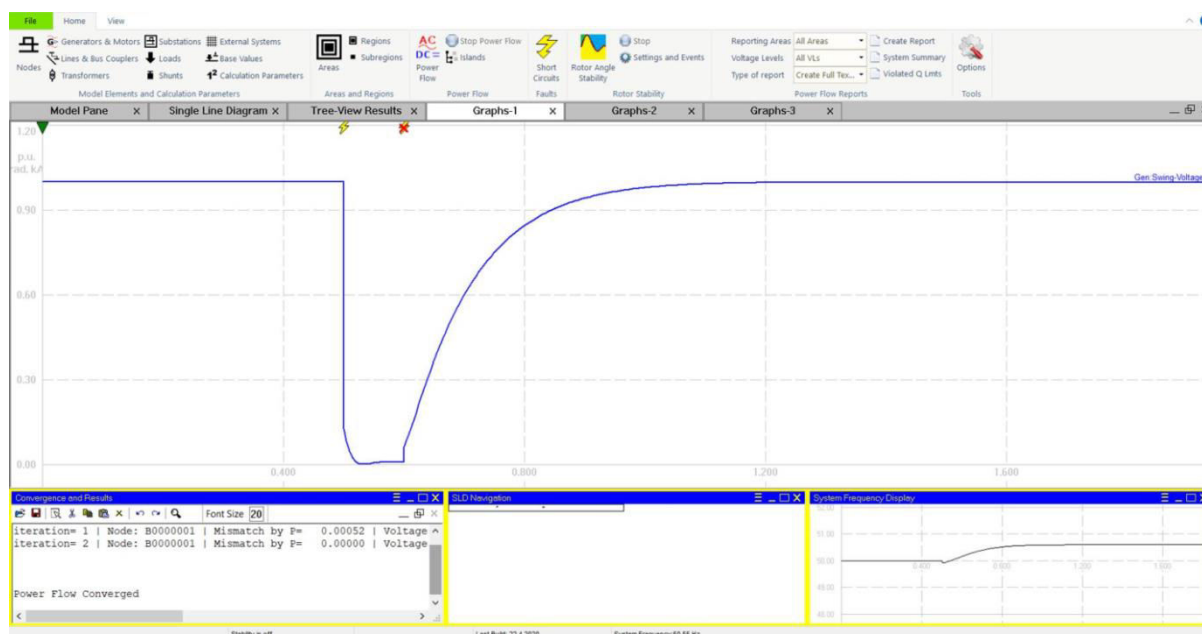
Slika 4 - Dijagram prolaska kroz stanje kvara

U_{max} i U_{min} na prethodnoj slici predstavljaju maksimalno i minimalno dozvoljene vrednosti napona u relativnim jedinicama, u normalnom pogonu, računato prema nominalnom naponu određenog naponskog nivoa DM na koji je priključena elektrana.

5. PRIMJER PRAVILNE PROVJERE STABILNOSTI RADA ED PODRUČJA SA DG

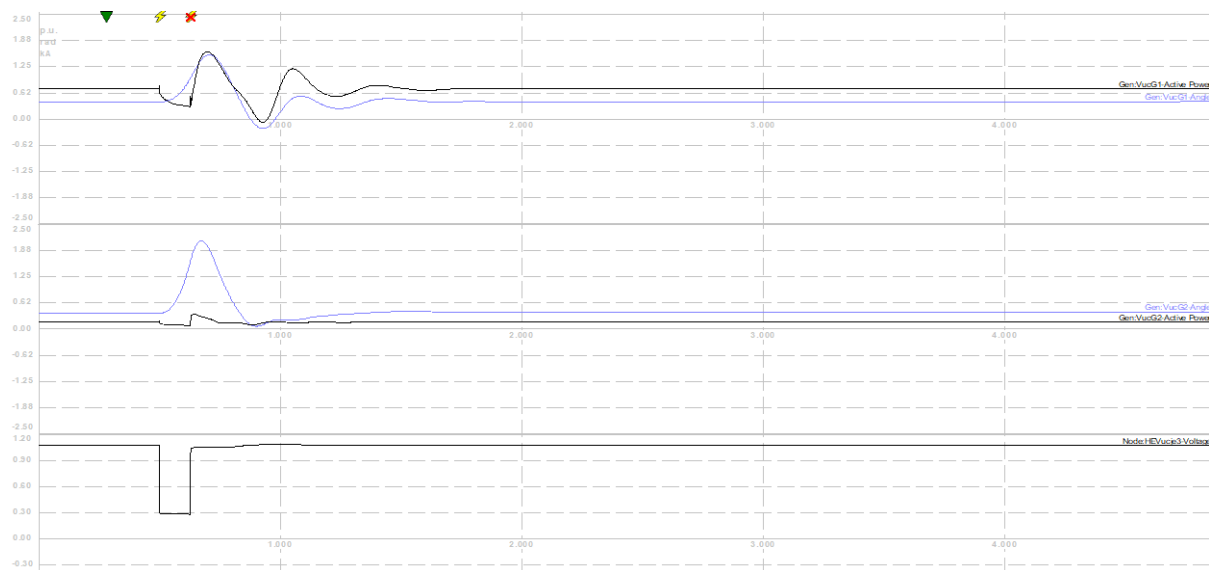
Danas se EES ili njegovi dijelovi modeluju sa različitim nivoom detaljnosti i obimnosti u zavisnosti od svrhe za šta su namenjeni. Najmanji nivo detaljnosti je potreban za proračune tokova snaga i naponskih prilika dok je za proračune tranzijentne stabilnosti nivo detaljnosti daleko veći. Za potrebe kratkoročnog planiranja rada sistema i izrade svakodnevnih analiza sigurnosti, prenosni sistem kao dio EES se modeluje bez blok transformatora a generatorske jedinice u elektranama sa više generatora se ekvivalentiraju jednim generatorom koji je priključen

na VN sabirnice elektrane. OPS–ovi razmenjuju modele svoje mreže u okviru ENTSO-E interkonekcije i svaki OPS za potrebe svojih analiza pravi regionalni model dodajući na model svog sistema modele susjednih i drugih PS od uticaja. Modelovanje se završava opterećenjima na granici OPS i ODS. Kada je riječ o elektrodistributivnoj mreži situacija je značajno kompleksnija. Elektrodistributivna mreža je glomazna, radijalno razgranata elektroenergetska mreža sa često nedovoljno prikupljenim ili barem neažuriranim bazama tehničkih podataka. Ovo ne samo otežava nego i djeluje odbojno obrađivačima studija razvoja da se sa potrebnim nivoom detaljnosti upuste u modelovanje kakvo zahtjeva simulacija stabilnosti rada DG na nekom određenom području. Iz dugogodišnjeg iskustva iz vršenja predmetnih proračuna na elektrodistributivnom području ZP „Elektro Doboј“ a.d. Doboј, u periodu zaključeno sa 2018., autoru rada poznata je količina i zahtjevani nivo tačnosti tehničkih podataka o elementima ED mreže i samim DG koji omogućavaju vršenje predmetnih analiza i proračuna. Međutim, takvi proračuni vršeni su na pojedinačnoj osnovi, prilikom provjere uslova i mogućnosti priključenja malih elektrana na ED mrežu, na način kako se striktno zahtjeva Pravilnikom. Pozitivan primjer studijskog pristupa provjere funkcionalnosti rada elektrodistributivnog sistema sa svim priključenim elektranama na određenom elektrodistributivnom području izvršen je kroz izradu studije Načini priključenja obnovljivih izvora energije na elektrodistributivni sistem i pametne mreže, za Javno preduzeće Elektroprivreda Srbije, Beograd, za čije potrebe je i razvijen i specijalizovani softverski paket CASE, namjenjen za kompleksne statičke i dinamičke proračune EES i posebno rada ED mreže sa DG. Studijom su bila obuhvaćena pet elektrodistributivnih područja od kojih je područje Leskovca bilo najveće.



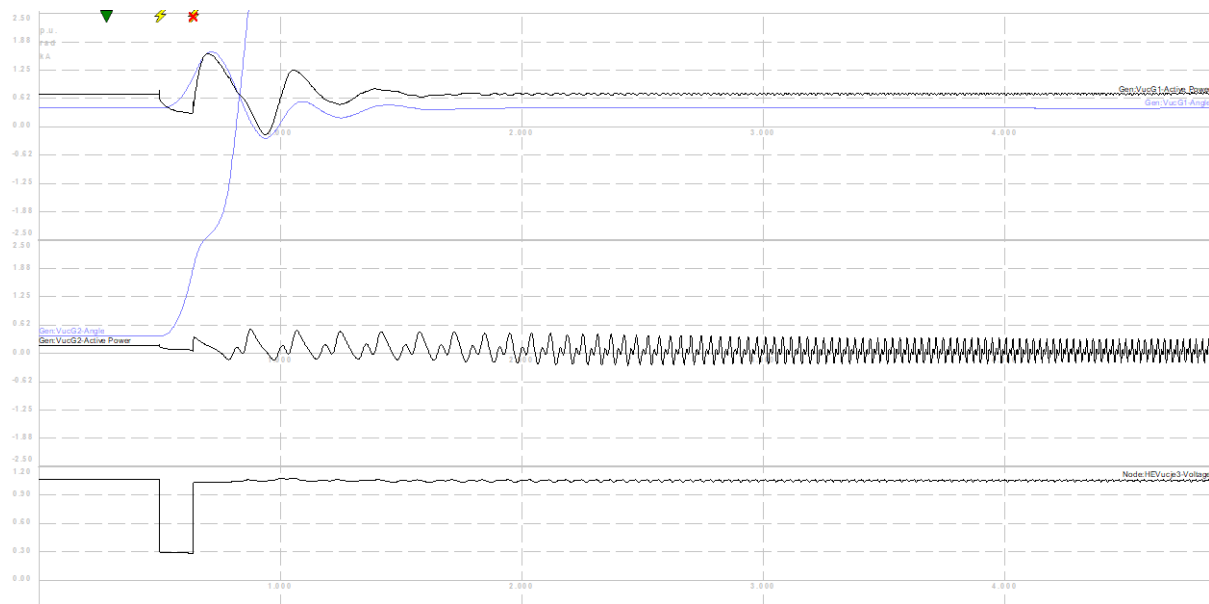
Slika 5 – Primjer simulacije napona na priključcima generatora za predmetne svrhe uz primjenu softvera CASE

Pošto je model ED Leskovac sadržao podatke potrebne za proračune tranzijentne stabilnosti, uz to bio i najveći, na tom primjeru demonstriraće se praktični pristup provjere tranzijentne stabilnosti generatora na većem i jednom manjem generatoru u HE „Vučje“. U ovom simulacionom modelu se takođe nalaze i HE „Vrla 1“, HE „Vrla 2“, HE „Vrla 3“ koje su priključene na PS (110 kV) i HE „Vrla 4“ koja je priključena na DS (35 kV). Trofazni kratak spoj je simuliran na otcjepu V3 – Dubrava, na udaljenosti 60% od ukupne dužine otcjepa od prvog čvora (V3). Vrijeme događaja kvara je 0.5 s a vreme čišćenja kvara 0.63 s od početka simulacije. Drugim riječima, vrijeme trajanja kratkog spoja je 130 ms. Posmatraćemo ugao rotora i aktivnu snagu generatora na većem i jednom manjem generatoru u HE „Vučje“, pošto su dva manja generatora istih karakteristika. Ugao rotora i aktivna snaga većeg i manjeg generatora su prikazani na sljedećoj slici.



Slika 6 - Ugao rotora i aktivna snaga generatora G1 i G2 i napon u tački priključenja HE „Vučje“ za vrijeme trajanja kvara od 130 ms

Otklanjanje kvara na vodu se vrši tako što se vod isključuje na oba svoja kraja. Sa slike se vidi da za vrijeme trajanja kvara aktivna snaga generatora ima trend pada dok ugao rotora raste usljed neravnoteže na vratilu mašine, pošto je mehanički momenat veći od električnog. U trenutku čišćenja kvara aktivna električna snaga mašina naglo raste i javlja se prigušeni oscilatorni proces kod oba generatora. Kao što se sa naredne slike vidi, ovaj prigušeni oscilatorni proces traje relativno kratko, oko 1 s. U nastavku analize ćemo povećati vrijeme trajanja kvara na 140 ms, tako što definišemo da se događaj čišćenja kvara dogodi u trenutku $t=640$ ms. Na narednoj slici su prikazani ugao rotora i aktivna snaga oba generatora i napon u tački priključenja elektrane za vreme trajanja kvara od 140 ms.



Slika 7 - Ugao rotora i aktivna snaga generatora G1 i G2 i napon u tački priključenja HE „Vučje“ za vrijeme trajanja kvara od 140 ms– nestabilan rad manjih generatora

Sa slike se vidi da manji generator nakon čišćenja kvara ulazi u nestabilan režim rada, što se posebno vidi iz trenda naglog rasta ugla rotora. Još jedan jasan pokazatelj nestabilnog rada je talasni oblik aktivne snage generatora na kom se vide oscilacije velike amplitude koje se ne prigušuju u vremenu. Ugao rotora većeg generatora G1 se nakon čišćenja kvara i prelaznog procesa vraća na vrijednost koja je bila prije poremećaja. Na talasnom obliku aktivne snage generatora G1 se vide oscilacije male amplitude. Ove oscilacije nisu posljedica nestabilnog rada generatora G1 već generatora G2 koji se nalazi u njegovoj neposrednoj električnoj okolini i čiji

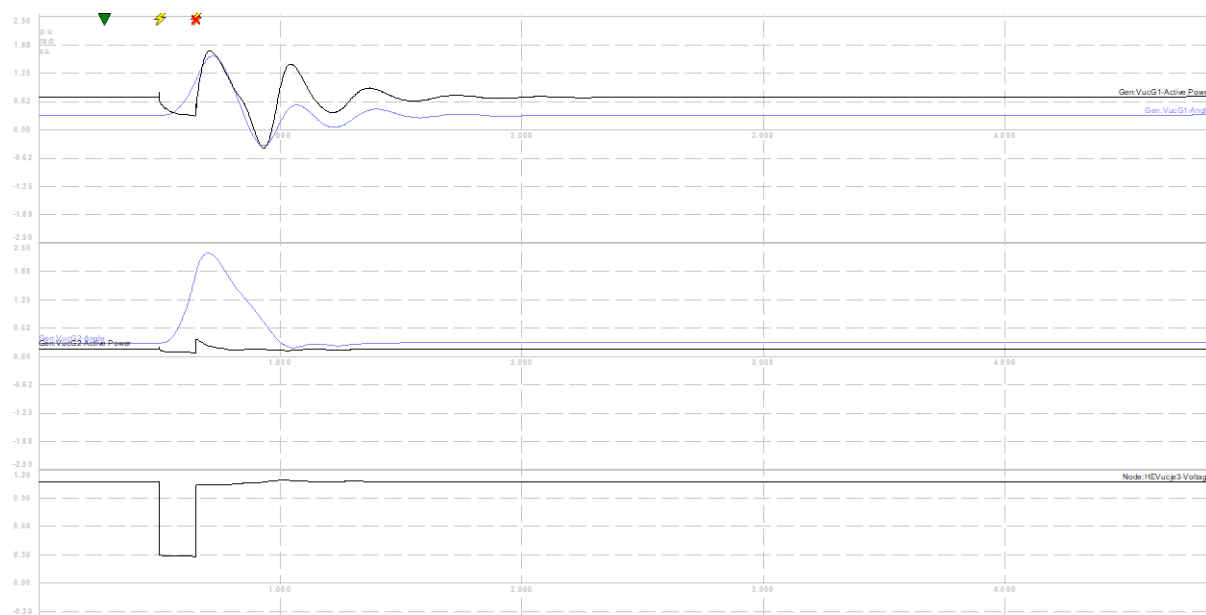
nestabilan rad izaziva oscilacije male amplitude kod generatora G1. Upravo na prikazanom primjeru na najbolji način se oslikava značaj decidne primjene provjere kriterijuma tranzijentne stabilnosti DG i uticaja potencijalne nestabilnosti u radu jednog DG na rad drugih DG i rad ED sistema predmetnog područja. Rješavanje problema nestabilnog rada DG, kakav je simuliran na prikazanom primjeru, može se vršiti na sljedeće načine:

-Brzo isključenje kvara. Napretkom tehnologije vrijeme odziva se smanjuje tako da je moguće izolovati kvar za manje od tri periode.

-Promena parametara generatora.

-Smanjenje tranzijentnog pojačanja automatskog regulatora napona (ARN). Proširenje izlaznog opsega pobudnog napona.

Na Slici 8 prikazano je ponašanje ugla rotora istog DG pri trajanju kvara od 150 ms, ali pri preduzetim mjerama navedenim ispred. Na primjer, nakon promene parametara ARN. Dakle, pravilnim blagovremeni pristupom moguće je otkloniti potencijalno velike probleme u funkcionisanju rada ED sistema sa DG na nekom distributivnom području. Ali osnovni preduslov za uočavanje i rješavanje predmetnih potencijalnih problema jeste dosljedna provjera, uočavanje nestabilnosti u radu svakog DG, simulacija uzrokovanje nestabilnosti rada drugih DG u okruženju kao i cjelokupnog distributivnog područja na tom lokalitetu.



Slika 8 - Ugao rotora i aktivna snaga generatora G1 i G2 i napon u tački priključenja HE „Vučje“ za vrijeme trajanja kvara od 150 ms, nakon promene parametara ARN

6. ZAKLJUČAK

U svim razvijenijim državama svijeta intenzivna pažnja se posvećuje tranziciji tradicionalnih elektrodistributivnih sistema prema sistemu koji bi se bazirao na mogućnostima upotrebe OIE, pri čemu i dalje pouzdano radio sa velikim brojem disperzivno rasutih distributivnih generatora. Kako bi se takav cilj postigao, u državama Evrope i svijeta su izrađene ili se izrađuju veoma detaljne studije koje daju jasne smjernice po pitanju integracije OIE u EES putem sistema DG. Republika Srpska još od 2014. ima usvojen, za to vrijeme veoma napredan tehnički dokument, Pravilnik o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske koji je usklađen sa sa IEC 61000-3 Electromagnetic compatibility, ENTSO-E Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators i Uredbom komisije EU o uspostavljanju mrežnih pravila za zahtjeve za priključenje proizvođača električne energije na mrežu. Ovako definisan obavezujući podzakonski akt omogućava provođenje tehnički i administrativno korektna i pravična procedure priključenja pojedinačnog proizvodnog objekta na ED mrežu, ako se dosljedno provodi na svakom DG kako se koji pojavljuje sa zahtjevom za izdavanje EES. S druge strane, dosljedna primjena Pravilnika zahtijeva visok nivo stručne osposobljenosti samog ODS-a, u pogledu kadrovske strukture i dostupnost adekvatnih specijalizovanih softverskih rješenja. Predmetni posao zakonskim aktima povjeren je ODS-u a u okviru MH „ERS“ MP a.d. Trebinje postoji 5 nezavisnih ODS-ova. Pored dosljedne provjere svih tehnički propisanih kriterijuma o uslovima i mogućnostima priključenja pojedinačnih proizvodnih objekata, veoma važnu ulogu ima strateško planiranje razvoja i rada ED sistema sa velikim brojem DG u paralelnom radu sa ED mrežom. Kako bi se isto postiglo neophodno je insistirati na razmjeni podataka između nadležnih ministarstava, pre svega ministarstava zaduženih za energetiku i prostorno uređenje i odjeljenja zaduženih za urbarnizam u lokalnim

samoupravama sa ODS-ovima u Republici Srpskoj a kako bi se usklađeno vladalo sa podacima vezanim za buduće planirane proizvodne objekte koji se planiraju priključiti na ED mrežu. Blagovremena razmjena podataka omogućila bi pravovjernu informaciju investitorima o mogućnostima ne samo priključenja nego i nesmetanog budućeg plasmana proizvedene snage i energije. U skladu sa Zakonom, Operater distributivnog sistema svake tri godine donosi i javno objavljuje desetogodišnji plan razvoja, uz prethodno pribavljenu saglasnost Regulatorne komisije, koji je usklađen sa Strategijom razvoja energetskog sektora Republike Srpske, planom razvoja prenosne mreže, dokumentima prostornog uređenja i zahtjevima korisnika za priključenje na distributivnu mrežu. Potrebno je beskompromisno insistirati na obavezi provođenje studiozne provjere funkcionalnosti rada elektrodistributivnog sistema sa svim priključenim elektranama na određenom elektrodistributivnom području, postojećim i planiranim, prilikom izrade nevedenih planova razvoja a sve u skladu sa važećim Pravilnikom kojim se definišu ne samo uslovi za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske nego i funkcionalni zahtjevi za rad elektrane paralelno sa ED mrežom kao što su: smanjenje aktivne snage pri porastu frekvencije, ponovno priključenje elektrane nakon ispada zbog uslova u sistemu, regulacija proizvodnje reaktivne snage za elektrane na srednjem naponu, regulacija proizvodnje reaktivne snage za elektrane na niskom naponu, kao i kriterijum tranzijentne stabilnosti. U suprotnom, perspektivno stanje distributivne mreže i performanse rada iste, kao i perspektivno stanje pogona DG priključenih na ED mrežu, mogu biti bespovratno ugroženi !

LITERATURA

- [1] Analiza pravnog okvira i preporuke za otklanjanje prepreka za investiranje u sektor energije u Republici Srpskoj, nacrt, USAID
- [2] Pravilnik o uslovima za priključenje elektrana na elektrodistributivnu mrežu Republike Srpske, maj 2014.
- [3] ENTSO-E Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators, 2013.
- [4] Commission Regulation (EU) 2016/13, Official Journal of the European Union L 112/1, 2016.
- [5] Pravila o radu prenosnog sistema, Elektromreža Srbije a.d., Mart 2020.
- [6] Načini priključenja obnovljivih izvora energije na elektrodistributivni sistem i pametne mreže, GOPA – IntEC, Omega Plus d.o.o. Beograd, 2021.
- [7] Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies: “Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, February 1992.
- [8] J. Machowsky, Z. Lubosny, J. W. Bialek, J. R. Bumby: “Power System Dynamics: Stability and Control”, Third edition, John Willey & Sons Ltd, 2020.