

Analiza uticaja integracije vetroelektrana na raspoloživi prenosni kapacitet

Jelena Stojković, Aleksandar Savić

Katedra za elektroenergetske sisteme

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet

Beograd, Srbija

jstojkovic@etf.rs, savic@etf.rs

Sažetak—U ovom radu je opisana probabilistička metoda za analizu uticaja vetroelektrana (VE) na raspoloživi prenosni kapacitet. Monte Carlo simulacije (MCS) se koriste za modelovanje nesigurnosti koje su posledica stohastičke prirode proizvodnje iz VE i potrošnje. Na ovaj način se razmatraju različite kombinacije proizvodnje iz VE i potrošnje. Ova metoda uvažava zavisnost između proizvodnje iz VE na različitim lokacijama, kao i između potrošačkih područja. Veza između ovih veličina je uvažena korišćenjem korelisanih ulaznih veličina. Raspoloživi prenosni kapacitet daje grubu procenu sigurnosti elektroenergetskog sistema (EES-a) i veoma je značajan podatak za učesnike na tržištu. Ova metoda može biti korisna i za operatere prenosnih sistema (TSO) u pogledu uticaja integracije VE na sigurnost i pouzdanost sistema. Efikasnost predložene metode je demonstrirana na standardnom IEEE 39 test sistemu.

Ključne riječi- prenosni kapacitet; vetroelektrane; Monte Carlo simulacije; interkonekcija;

I. UVOD

Klimatske promene, koje su delom posledica korišćenja fosilnih goriva, su stavile obnovljive izvore energije (OIE) u prvi plan kada se radi o proizvodnji električne energije. Evropska unija je postavila jako ambiciozni i obavezujući cilj od 32% udela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji do 2030. godine [1]. Penetracija obnovljivih izvora energije, naročito vetra, u stalnom je porastu. Energija vetra ima veliki potencijal i proizvodnja električne energije iz vetroelektrana beleži značajni porast sa 539 GW instalisane snage u svetu do početka 2018. godine [2]. Integracija vetroelektrana utiče na mnoge tehničke i ekonomske parametre sistema i kao takva bila je predmet istraživanja mnogih istraživača. U ovom radu se ispituje uticaj integracije VE sa aspekta raspoloživog prenosnog kapaciteta. Veća vrednost ovog pokazatelja ukazuje na veću fleksibilnost i pouzdanost sistema.

Raspoloživi prenosni kapacitet predstavlja maksimalnu snagu koja sigurno može biti preneti između dva sistema u interkonekciji i predstavlja važan pokazatelj za siguran rad sistema i tržišta. Proračun ATC-a je veoma bitan zadatak u elektroenergetskim sistemima i može pružiti važne informacije za operatere sistema i učesnike na tržištu. Izračunavanje ATC-a je važno da bi se obezbedio siguran, ekonomičan i pouzdan

rad EES-a. Precenjena vrednost ATC-a može ugroziti pouzdanost rada sistema izazivajući neočekivana zagušenja u prenosu. S druge strane, potcenjena vrednost može dovesti ili do nedovoljnog iskorišćenja prenosnih kapaciteta ili rezultirati nepotrebnim nadogradnjama mreže.

Severnoamerički savet za pouzdan rad elektroenergetskog sistema je prepoznao važnost uključivanja sistemskih neizvesnosti kao što su fluktacije opterećenja i raspoloživost opreme u proračun ATC-a. [3] Integracija velikih vetroelektrana u prenosni sistem beleži stalan rast pa je i neizvesnost proizvodnje iz VE postala još jedan kritičan faktor. Pošto proizvodnja iz vetroelektrana može značajno odstupiti od svojih planiranih izlaza od presudnog je značaja uvažiti tu nesigurnost. U ovom radu, neizvesnost u potrošnji i proizvodnji iz VE uključena je kroz Monte Carlo simulacije.

Monte Carlo metoda predstavlja numeričku metoda koja daje približna rešenja vršenjem mnogo statistički generisanih scenarija. Jedna od prednosti MCS-a je jednostavna struktura algoritma za izračunavanje, pri čemu se vreme proračuna održava gotovo nepromenljivim pri povećanju veličine i složenosti elektroenergetskih sistema. U ovom radu moguća radna stanja elektroenergetskog sistema su generisana pomoću MCS-a. Potrošnja je generisana u skladu sa normalnom gustinom raspodele, dok brzina vetra prati Wiebull-ovu raspodelu. Važno je naglasiti da su ove generisane vrednosti za ulazne promenljive korelisane. Potrošnja u različitim čvorovima mreža je zavisna od sličnih vremenskih uslova kao i socioloških efekata. Na brzine vetra u susednim VE često utiču iste fizičke pojave i pokazuje se velika zavisnost između proizvodnje susednih vetroelektrana. Geografska korelacija između različitih vetroelektrana u Švedskoj je analizirana u [4]. Zbog toga je potrebno da se u proračun ATC-a uključi odgovarajuća zavisnost između slučajnih promenljivih na ulazu. Posle dobijanja trenutnog radnog stanja, metodom optimalnih tokova snaga se dolazi do vrednosti ATC-a uvažavajući sva relevantna ograničenja.

Cilj ovog rada je da odredi uticaj integracije vetroelektrana sa aspekta ATC-a pri čemu se uvažavaju nesigurnosti koje postoje u proizvodnji iz vetra, potrošnji kao i raspoloživosti

opreme. Doprinos ovog rada je uvažanje korelisanosti između ulaznih veličina za realnije formiranje scenarija.

Rad je organizovan na sledeći način: Poglavlje 2 sadrži teorijsku podlogu o ATC-u kao i značaj proračuna ovog pokazatelja. Metodologija zajedno sa predloženim algoritmom je prikazanu u poglavlju 3. Opis scenarija i rezultati simulacija su redom prikazani u sekciji 4 i 5. Zaključak kao i budući pravci istraživanja su prikazani u poglavlju 6.

II. ATC

A. Definicija ATC-a

Raspoloživi prenosni kapacitet ATC (Available Transfer Capability) se definiše kao maksimalna snaga transakcije koja se može preneti između dva čvora, odnosno dve oblasti u sistemu, a da se ne naruše sve relevantna ograničenja.

Matematički, ATC predstavlja razliku između ukupnog prenosnog kapaciteta (Transmission Transfer Capability – TTC) i tri sledeća faktora:

1. Deo već iskorišćenog prenosnog kapaciteta (Existing transmission commitment – ETC);
2. Rezerve pouzdanosti prenosa (Transmission Reliability Margin – TRM);
3. Rezerve za priključak novih potrošača (Capability Benefit Margin – CBM).

$$ATC = TTC - ETC - TRM - CBM \quad (1)$$

Ukupni prenosni kapacitet (TTC) je električna snaga koja se može bezbedno preneti preko elektroenergetske prenosne mreže, uz uvažavanje svih ograničenja sistema (pre i posle iznenadnih i nepredviđenih događaja).

Iskorišćeni prenosni kapacitet (ETC) je deo već zauzetog ukupnog prenosnog kapaciteta, do momenta kada se određuje raspoloživi prenosni kapacitet..

Rezerva pouzdanosti prenosa (TRM) definiše se kao deo ukupnog prenosnog kapaciteta, potrebnog da se obezbedi sigurnost prenosne mreže, uz razuman nivo neizvesnosti u uslovima rada sistema.

Rezerva za priključak novih potrošača (CBM) je deo ukupnog prenosnog kapaciteta, rezervisan za opsluživanje novih potrošača u cilju obezbeđenja njihovog pouzdanog pristupa proizvedenoj električnoj energiji elektrana, predatoj povezanom sistemu, iz kojeg se potrošači snabdevaju [5].

B. Značaj proračuna ATC-a

Koncept raspoloživog prenosnog kapaciteta je koristan iz nekoliko razloga.

1) ATC i sigurnost sistema

Povećanje dostupnog prenosnog kapaciteta igra značajnu ulogu kako pri planiranju tako i pri eksploataciji elektroenergetskog sistema u pogledu sigurnosti sistema. Sistem u kome su mogući veliki transferi snage između oblasti je uglavnom robusniji i fleksibilniji od sistema koji ima ograničenu sposobnost za transfer snage između područja. Zbog toga se ATC može koristiti kao grubi pokazatelj relativne

sigurnosti sistema. Jedna od prednosti povezivanja sistema je povećana pouzdanost rada celokupne interkonekcije. U interkonekciji, ispad proizvodne jedinice u jednoj oblasti se može zameniti snagom iz druge oblasti. Zbog toga, više sistema koji zajedno čine interkonekciju mogu pretrpeti mnoge poremećaje koje individualni sistemi ne mogu. Izračunavanje ATC-a je korisno za procenu sposobnosti međusobno povezanih sistema da ostanu sigurni nakon ispada neke proizvodne jedinice ili dalekovoda. Veća vrednost ATC-a ukazuju na veću mogućnost podrške koju povezani sistemi mogu međusobno da pruže.

2) ATC i nadogradnja prenosnog sistema

ATC može poslužiti kao kvantitativno merilo za upoređivanje doprinosa planiranih ulaganja u prenosni sistem. Ekspanzija prenosnog sistema koja povećava prenosni kapacitet između dve oblasti je korisnija za mrežu u pogledu povećanja pouzdanosti i ekonomičnosti eksploatacije. Povećanje prenosnog kapaciteta istovremeno rezultuje u povećanoj pouzdanosti rada sistema kao i smanjenju troškova eksploatacije sistema. ATC se koristi kao mera količine eksterne proizvodnje koja može zameniti proizvodnju unutar sistema i kao indikacija kolika bi jeftina snaga mogla biti preneti u ili van regiona kroz sistem.

3) ATC i tržište električne energije

Proračuni ATC-a su veoma značajni za tržište električne energije kao i za tržište kapaciteta jer daju ograničenje u pogledu transakcija koje mogu biti izvršene između dve tačke. Vrednosti za ATC prikazuju aktuelne prenosne mogućnosti sistema, raspoložive u datom trenutku za tržište električne energije. Na osnovu njih, tržište donosi odluke o transakcijama, pa je preciznost proračuna posebno važna za oblasti gde se pojavljuju značajna zagušenja ili oblasti gde ima više kupovina i prodaja električne energije na veliko. ATC može poslužiti i kao indikator za potencijalno dostupnu jeftinu električnu energiju koja može biti dostupna oblastima koje imaju deficit električne energije ili kod kojih je cena električne energije veoma velika.

ATC je veoma važan podatak koji se koristi za predviđanje ponašanja tržišta električne energije. Učesnicima na tržištu i operatorima je veoma bitno da znaju potencijalno ponašanje sistema i tržišta. Međutim, detaljan rad tržišta i sistema u samo jednoj instanci vremena zahteva ogromnu količinu podataka i ti podaci nisu uvek dostupni. S obzirom na to da učesnici na tržištu često žele da simuliraju tržište u više hiljada iteracija gde uvode razne varijacije u sve od uslova sistema do cene goriva, pojednostavljivanje električne mreže je obično prvi korak. ATC tu igra važnu ulogu.

III. METODOLOGIJA

A. Proračun ATC-a

U literaturi postoje razne metode proračuna vrednosti ATC-a. Prva klasifikacija je na DC i AC model. Proračun ATC-a baziran na DC metodi je veoma brz ali istovremeno neprecizan zato što ne uključuje ograničenja po reaktivnoj snazi i naponu, kao i gubitke aktivne snage. On može da se koristi ukoliko tačnost proračuna nije od prevelike važnosti za problem koji se posmatra a potrebno je da se dobija približna vrednost za

kratko vreme. AC metode uključuju ponavljajuće proračune tokova snage i metodu optimalnih tokova snaga. ATC se definiše kao maksimalni vrednost snage koje može da se prenese između dve oblasti a da ne se ne naruši suguran rad EES-a. Metoda ponavljajućih tokova snaga kreće od baznog radnog stanja i postepeno povećava snagu koju odaje sending zone (oblast iz koje se posmatra prenos), odnosno smanjuju snagu receiving zone (oblast do koje se posmatra prenos). Na taj način se inkrementalno povećava snaga razmene između dve oblasti. Ovaj postupak se ponavlja sve dok se ne naruši neko od ograničenja i ta vrednost snage predstavlja maksimalnu prenosnu snagu između te dve oblasti. Postupak baziran na proračunima optimalnih tokova snaga određuje optimalnu snagu generisanja u svakom generatorskom čvoru u dve oblasti između kojih se posmatra razmena pri kojoj će se imati minimum kriterijumske funkcije. Snaga generisanja u svim drugim oblastima za koje se ne posmatra transfer se drži na fiksnoj vrednosti kao i u baznom slučaju. Ovo ograničenje se postiže tako što se ograničenja po maksimalnoj i minimalnoj snazi generisanja u svim drugim oblastima postavi na vrednost koja je dobijena OPF-om u baznom slučaju. Na taj način je snaga generisanja u drugim oblastima fiksirana. OPF metoda uključuje ograničenja vezana za siguran radni režim koja se odnose na ograničenje modula napona, snaga generisanja i maksimalnog opterećenja vodova. Objektivna funkcija je definisana kao minimum troškova generisanja i zbog toga je potrebno namestiti da su troškovi proizvodnje svih generatorskih jedinica u receiving oblasti veći od troškova proizvodnje svih generatorskih jedinica u sending oblasti ne bi li se obezbedio maksimalni transfer iz sending oblasti ka receiving oblasti. Transfer određen OPF metodom odgovora maksimalnom transferu između te dve oblasti pri kome nije narušeno ni jedno od ograničenja. U ovoj analizi je usvojena metoda nazirana na OPF-u pri proračunu ATC-a.

B. Probabilistički proračuni tokova snaga

Proračuni tokova snaga daju informacije o stanju elektroenergetskog sistema. Razlikuju se deterministički i stohastički proračuni. Deterministički proračuni tokova snaga daju promenljive stanja u specifičnom scenariju, pod određenim opterećenjem i proizvodnjom i ne uključuju nesigurnost u ulaznim veličinama.

U probabilističkih proračunima tokova snaga, ulazne i izlazne promenljive sistema se posmatraju kao slučajne promenljive i na taj način je moguće dobiti različita moguća stanja EES-a. Metode bazirane na MCS se koriste često pri probabilističkim proračunima tokova snaga. Ova metoda predstavlja iterativan proces gde se u svakoj iteraciji biraju slučajne vrednosti za svaku od stohastičkih promenljivi sistema (potrošnja i proizvodnja iz OIE) na osnovu navedene funkcije gustine raspodele. Zatim se vrši proračun optimalnih tokova snaga za svaki set ulaznih slučajnih promenljivih. Rezultat svakog proračuna optimalnih tokova snaga se pamti i proces se ponavlja. Postupak se ponavlja sve dok se ne zadovolji uslov za prekid algoritma. Najčešće se kao izlazni kriterijum koristi maksimalni broj iteracija i to je izabrano i ovom radu.

Stohastična priroda potrošnje i proizvodnje iz OIE zahteva odgovarajuće probabilističke tehnike kojima se može pouzdano

proceniti ukupni uticaj integracije obnovljivih izvora energije. Stohastički proračuni tokova snaga predstavljaju efikasan način da se pristupi ovom problemu.

C. Korelisanost ulaznih veličina

Svako opterećenje je modelovano preko normalne raspodele $N(\mu, \sigma^2)$ sa parametrima $\mu=1$ i $\sigma=0.07$ u relativnim jedinicama [6]. Parametre normalne raspodele kojom je modelovana potrošnja najbolje je dobiti iz istorijskih podataka o potrošnji na dužem vremenskom intervalu. Ovi parametri bi bili različiti za različite potrošačke čvorove zavisno od njihove strukture i karakteristika. Potrošnja u različitim čvorovima mreže nije međusobno nezavisna već postoji korelisanost između ovih veličina. Ovo je posledica da slični faktori i fenomeni utiču na smanjenje/povećanje potrošnje u različitim čvorovima. Ovu zavisnost je potrebno uvažiti jer će se na taj način izbeći formiranje scenarija koji nisu realni u stvarnosti. U radu [7] je opisan postupak nalaženja kupole koje najbolje aproksimira zavisnost između dve serije slučajnih podataka. U ovom radu nemamo na raspolaganju istorijske podatke o potrošnji na različitim lokacijama tako da je nemoguće primeniti tu metodu već je usvojena korelisanost prvog stepena koja je definisana pomoću proizvoljne matrice korelacije.

U određenom periodu, brzina vetra se može približno aproksimirati Weibull-om raspodelom čija funkcija gustine verovatnoće ima sledeći oblik:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

gde su: k - faktor oblika i c - faktor skaliranja. Ovi parametri se u opštem slučaju dobijaju iz istorijskih podataka o merenim brzinama vetra na nekoj lokaciji. Aktivna snaga vetroturbine (VT) je određena brzinom vetra. Da bi se dobila korelisana snaga iz VE na različitim lokacijama potrebno je formirati zavisnost između brzina vetra na tim lokacijama. Pošto ne postoje istorijski podaci korišćenja je korelisanost prvog stepena sa proizvoljno formiranom matricom korelisanosti. Kada se generiše korelisani vektor brzine vetra koji prati Weibull-ovu raspodelu lako je dobiti aktivnu snagu vetroturbine koristeći klasičnu krivu snage VT. U ovom radu se koristi VestasV90-3.0 vetroturbina za sprovedene scenarije. Brzina uključenja, isključenja i nominalna brzina vetra su redom je 3.5m/s, 25m/s i 15m/s a nominalna snaga 3 MW.

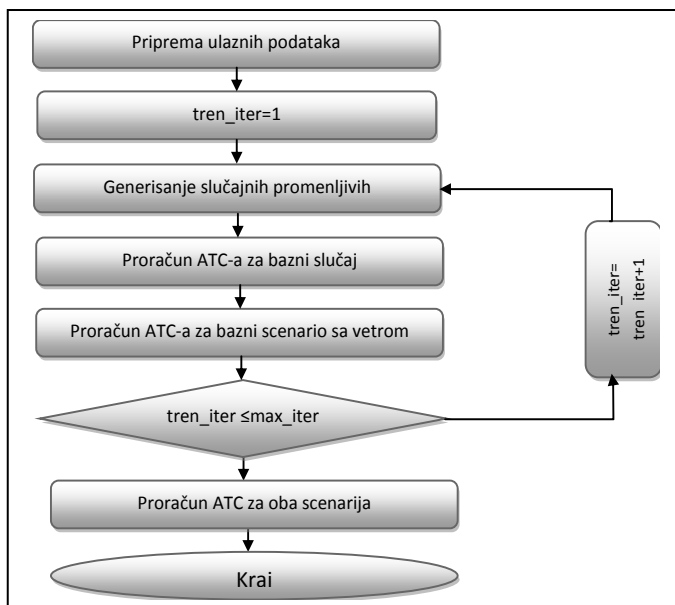
D. Implementacija algoritma

U ovom poglavlju je opisan korak po korak predloženog algoritma za izračunavanje ATC-a.

Korak 1: Priprema baze podataka za generatore (gornje i donje granice u pogledu aktivnih i reaktivnih snaga generisanja, koeficijenti troškova proizvodnje), parametre mreže (sa granicama u amplitudama napona čvorova i prividnim snagama koje se prenose kroz vodove) kao i potrošnje aktivne i reaktivne snage u čvorovima. Usvajanje parametara Monte Carlo simulacija - Maksimalni broj iteracija ($max_iter=1000$).

- Korak 2:** Postavlja se brojač trenutne iteracije na vrednost 1 ($tren_iter=1$)
- Korak 3:** Generisanje slučajnih promenljivih za potrošnju. Opterećenja su modelovana preko normalne raspodele $N(\mu, \sigma^2)$ sa parametrima $\mu=1$ i $\sigma=0.07$ u relativnim jedinicama. Generisanje slučajnih promenljivih za proizvodnju iz vetroelektrana. Brzina vetra je modelovana preko Weibull-ove raspodele. Promenljive su generisane za sve scenarije.
- Korak 4:** Proračun ATC za bazni scenario i scenario sa vetroelektranama.
- Korak 5:** Provera kriterijuma za izlaz iz MSC. Ako je broj trenutne iteracije manji od max_iter , povećava se brojač trenutne iteracije za 1 i ponavljaju se koraci od **Korak 3** do **Korak 5**, u suprotnom se nastavlja na **Korak 6**.
- Korak 6:** Proračun parametara za ATC za oba scenarija na osnovu rezultati pojedinačnih iteracija MCS.
- Korak 7:** Prikaz rezultata i kraj algoritma.

Na Sl. 1 je prikazan celokupan algoritam. Predloženi algoritam je implementiran u MATLAB-u i primenjen je na standardnu mrežu IEEE 39.

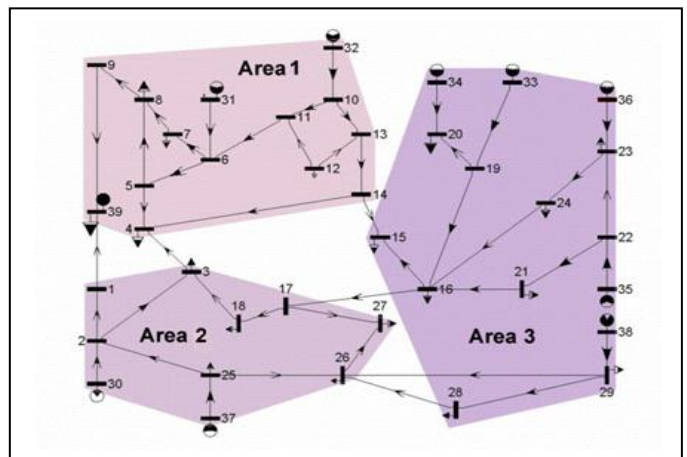


Slika 1. Algoritam za proračun ATC-a

IV. OPIS SCENARIJA

A. Test sistem

Za test sistem je izabran standardni IEEE 39 sabirnički sistem (Sl. 2) koji predstavlja redukovani model realne mreže Nove Engleske. Sistem ima 10 generatora, 19 potrošačkih čvorova, 36 dalekovoda i 12 transformatora. Podeljen je u tri zone između kojih će se posmatrati i analizirati vrednosti ATC-a (Zona 3 sadrži dva podsistema koja nisu direktno povezani). Detaljni parametri sistema se mogu naći u [8].



Slika 2. IEEE 39 test sistem

B. Opis scenarija

Posmatraju se dva scenarija: bazni i scenario sa integrisanim vetroelektranama. Analiziraće se uticaj četiri vetroelektrane koje su priključene u čvorove 2, 12, 24 i 26. Instalirane snage ovih vetroelektrana su redom 300MW, 210MW, 240MW i 150MW. Parametri Weibull-ove raspodele za vetroelektrane su prikazani u Tabeli I. Prvo se proračunava vrednost ATC-a za bazni scenario kada VE nisu integrisane u sistem a zatim vrednost ATC-a sa uključenim vetroelektranama.

TABELA I. PARAMETRI WEIBULL-OVE RASPODELE

	V3	V12	V24	V26
k	2.01	2.12	2.31	1.98
c	8.62	7.89	8.34	8.16

Ova analiza može da se vrši za pojedinačne VE da bi se utvrdilo kako pojedinačno utiču na raspoloživi prenosni kapacitet, odnosno koje lokacija predstavlja optimalnu za integraciju VE sa aspekta povećanja dostupnog prenosnog kapaciteta.

V. REZULTATI SIMULACIJA

Vrednosti ATC-a između određenih oblasti u slučaju kad postoje i ne postoje vetroelektrane su date u Tabeli II.

TABELA II. STATISTIČKI PARAMETRI ZA ATC IZMEĐU OBLASTI

scenario	Srednja vrednost μ (MW)	Standardna devijacija σ (MW)	Srednja vrednost μ (MW)	Standardna devijacija σ (MW)
	1-2		2-1	
bazni	464.40	96.79	423.83	148.84
Sa VE	575.26	116.55	564.13	167.07
	1-3		3-1	
bazni	160.15	77.06	141.21	88.31
Sa VE	234.23	87.19	225.92	89.62
	2-3		3-2	
bazni	228.67	86.27	234.29	88.84
Sa VE	338.82	118.89	336.47	109.99

Rezultati simulacija pokazuju da će integracija VE uticati povoljno sa aspekta povećanja raspoloživog prenosnog kapaciteta. Ovi rezultati su opravdani jer će na ovaj način potrošnja biti delimično lokalno zadovoljena što za posledicu ima rasterećenje prenosnih vodova i povećanje raspoloživog prenosnog kapaciteta. Ove vrednosti zavise od stepena penetracije VE i jedan od daljih koraka je analiza osetljivosti kojom bi se dobio odgovor kako se ATC menja sa smanjenjem odnosno povećanjem stepena penetracije vetra. Ova analiza može biti korisna pri određivanju optimalne lokacije VE sa aspekta ATC-a. Kako rad EES-a postaje sve više tržišno orijentisan, povećanje ATC-a dobija na važnosti kako sa aspekta sigurnosti tako i sa aspekta ekonomičnosti.

Vrednosti standardne devijacije su veći u slučaju scenarija sa VE jer je tada veća nesigurnost podataka.

VI. ZAKLJUČAK

Integracija vetroelektrana, kao jedno od rešenja za smanjenje emisije CO₂, beleži stalan rast. Klimatske promene i smanjenje cena tehnologija daju dodatani podstrek za korišćenje snage vetra u proizvodnji električne energije. Međutim, integracija VE u postojeće sisteme predstavlja vrlo kompleksan zadatak najviše zbog njihove stohastične i intermitentne prirode. Cilj ove analize je da se istraži uticaj VE na prenosnu mrežu čime bi se izbegle nepoželjne situacije koje bi potencijalno mogle naškoditi sistemu. U ovom radu akcentat je stavljen na analizu dostupnog prenosnog kapaciteta koji predstavlja grubi pokazatelj sigurnosti i fleksibilnosti sistema. Veća vrednost ovog indeksa ukazuje na mogućnost veće podrške od susednih sistema u slučaju nekog poremećaja kao i efikasniju eksploataciju sistema zbog dostupne potencijalno jeftinije električne energije. Zaključci ovog rada se u velikoj meri oslanjaju na konceptu probabilističkih tokova snaga. Ovom metodom se uključuje stohastičko ponašanje potrošnje i proizvodnje iz VE u sistemu. Uključena je i međusobna korelisanost između VE na različitim lokacijama. Zaključak rada je da integracija VE utiče povoljno na povećanje dostupnog prenosnog kapaciteta što je direktna posledica lokalnog snabdevanja potrošača od strane VE i smanjenja opterećenja prenosnih vodova. Cilj ovog rada je bio da razvije metodu za analizu uticaja VE na vrednost ATC-a koja se može primeniti na konkretan slučaj planirane VE. Jedan od potencijalnih pravaca daljeg rada uključuje analizu optimalne lokacije i kapaciteta VE sa aspekta povećanja ATC-a kao i analizu osetljivosti kako stepen penetracije utiče na vrednost ATC-a. Primena algoritma na realnom sistemu sa konkretnim ulaznim podacima bi dala odgovor za potencijalne VE za koje se razmatraju studije izvodljivosti.

ZAHVALNICA

Autori zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je omogućilo izradu ovog rada u okviru Projekta III 42009 Inteligentne energetske mreže.

LITERATURA

- [1] E. Commissie, "Clean Energy for All Europeans - Winter Package," *Europese Commissie, Brussel*, 2018.
- [2] R. S. Committee, "Renewables 2018, Global Status Report," Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, Tech. Rep, 2018.
- [3] T. T. C. T. Force, "Available transfer capability definitions and determination," *North American Electric Reliability Council, Princeton, New Jersey*, 1996.
- [4] J. Widén, "Correlations between large-scale solar and wind power in a future scenario for Sweden," *IEEE transactions on sustainable energy*, vol. 2, pp. 177-184, 2011.
- [5] Ejebe, G. C., Tong, J., Waight, J. G., Frame, J. G., Wang, X., & Tinney, W. F. (1998). Available transfer capability calculations. *IEEE Transactions on Power systems*, 13(4), 1521-1527.
- [6] T. Wang, H.-D. Chiang, and R. Tanabe, "Toward a flexible scenario generation tool for stochastic renewable energy analysis," in *Power Systems Computation Conference (PSCC), 2016*, 2016, pp. 1-7
- [7] A. Pai, *Energy function analysis for power system stability*: Springer Science & Business Media, 2012.
- [8] T. Athay, R. Podmore, and S. Virmani. A Practical Method for the Direct Analysis of Transient Stability". In: *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS-98* (2 Mar. 1979), pp. 573- 584.

ABSTRACT

This paper describes the probabilistic method for analyzing the influence of wind power plants on the available transmission capability. Monte Carlo simulations are used to model uncertainties that are a consequence of the stochastic nature of production from wind power plants and loads. In this way, different combinations of production from wind power plants and loads are considered. This method respects the dependence between wind power plants production at different locations, as well as between consumer areas. The available transmission capability provides a rough assessment of the safety of the electricity system and it is very important for the market participants. This method can also be useful for transmission system operators in order to assess impact of integration of wind power plants on the security and reliability of the power system. The efficiency of the proposed method is demonstrated on a standard IEEE 39 test system.

IMPACT OF WIND POWER GENERATION ON THE AVAILABLE TRANSFER CAPABILITY

Jelena Stojković, Aleksandar Savić