

Procena uticaja integracije solarnih elektrana na niskom i srednjem naponu na smanjenje vrednosti gubitaka aktivne snage u prenosnom sistemu

Impact Estimation of Distributed Generation from Solar Power Plants Connected to the Distribution System on Active Power Losses in the Transmission System

Vojislav Simović, Miroslav Žerajić

Akcionarsko društvo Elektromreža Srbije

Rezime - Priklučenje solarnih elektrana na niskom i srednjem naponu predstavlja najefikasniji način integracije ovih elektrana u elektroenergetski sistem u celini. Na ovaj način se postiže da proizvodnja bude električno blizu potrošnji, čime se smanjuju tokovi aktivnih snaga po napojnim vodovima prenosne i distributivne mreže u satima kada solarne elektrane proizvode, što kao posledicu, između ostalog, ima smanjenje gubitaka aktivne snage u prenosnom i distributivnom sistemu. Procena uticaja integracije solarnih elektrana na niskom i srednjem naponu na smanjenje vrednosti gubitaka aktivne snage u prenosnom sistemu će biti izvršena na osnovu izmerenih (ostvarenih) vrednosti potrošnje i izmerenih vrednosti gubitaka aktivne snage na satnom nivou, na periodu od godinu dana. Izmerene vrednosti predstavljaju ulazni podatak u simulacioni model prenosnog sistema, kao i referentno stanje u odnosu na koje će biti izvršeno poređenje rezultata nakon integracije solarnih elektrana na niskom i srednjem naponu. Integracija solarnih elektrana će biti modelovana kao smanjenje potrošnje na transformatorskim stanicama 110/X kV/kV uvažavajući satne profile proizvodnje solarnih elektrana i potrošnje na posmatranim transformatorskim stanicama.

Gljučne reči - solarna elektrana, integracija OIE, gubici, distribuirana proizvodnja, energetska efikasnost

Abstract - Connecting solar power plants at low and medium voltage level is the most efficient way to integrate this type of renewable energy source power plant into the power system. With this approach, it is achieved that the generation is close to the consumption/demand and therefore, active power flows on the overhead lines and cables are lower which consequently leads to a reduction of losses both in transmission and distribution system. This estimation will be carried out by using real historical measurements of the consumption/demand and active power losses values for every hour in the one year time period. Those values present inputs for the transmission system simulation model as well as the reference values for comparison of the results after the integration. Distributed generation will be

modelled as load reduction on substations 110/X kV/kV taking into account hourly profiles of both solar power plant generation and consumption/demand on the relevant substations.

Index Terms - solar power plant, RES integration, power losses, distributed generation, energy efficiency

I UVOD

Cilj ovog rada je prikaz jednog od pozitivnih efekata implementacije proizvodnje električne energije neposredno uz potrošnju. Pojavom distribuiranih izvora, koji se priključuju direktno na distributivnu mrežu, dolazi do promene smera tokova snaga u distributivnom sistemu [1]. Uticaj distribuirane proizvodnje na smanjenje tehničkih gubitaka u distributivnoj mreži, u zavisnosti od tehničkog rešenja za priključenje distribuiranog izvora može da smanji, ali i da poveća gubitke u distributivnoj mreži [2]. Pored uticaja na distributivnu mrežu, distribuirani izvori instalirani električno blizu krajnjih potrošača/kupaca utiču na opterećenje kapaciteta prenosne mreže, što znači da će i vrednost gubitaka u prenosnoj mreži varirati u zavisnosti od proizvodnje distribuiranih izvora. U ovom radu će se analizirati uticaj distribuirane proizvodnje na smanjenje gubitaka aktivne snage u prenosnoj mreži na primeru solarnih elektrana. Iako se može reći da je uticaj takve proizvodnje veći na distributivnu mrežu, i to jeste tačno sa aspekta jednog objekta ili čak jednog regiona, tj dela distributivne mreže, ideja ovog rada je analiza globalnog budućeg stanja elektroenergetskog sistema, sa velikom snagom u solarnim elektranama koje su rasprostranjene širom cele teritorije Republike Srbije. Rezultati analiza bi trebalo da ukažu na prednosti integracije obnovljivih izvora zasnovane na distribuiranoj proizvodnji koja, po mišljenju autora, predstavlja najefikasniji i „najzdraviji“ princip integracije OIE.

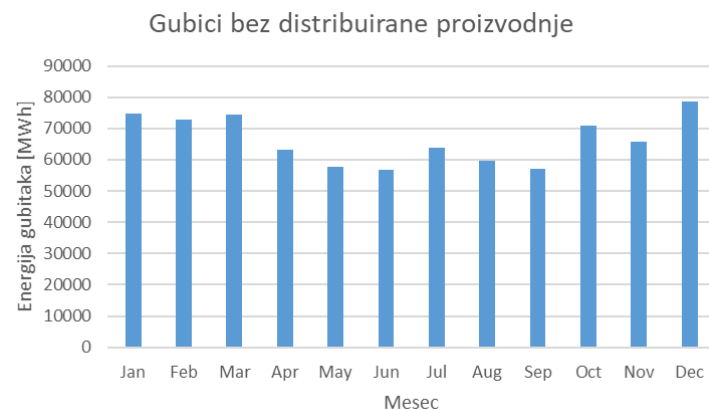
II POLAZNE PRETPOSTAVKE I APROKSIMACIJE

U cilju pojednostavljenja samog proračuna gubitaka i smanjenja broja simulacionih modela na kojima se vrše analize, formirani su aproksimativni modeli. Za svaki od 24 sata u jednom danu, za

svaki mesec, proračunate su srednje vrednosti proizvodnje električne energije iz jedinične solarne elektrane (snage 1MW), potrošnje distributivnih transformatorskih stanica (TS 110/X kV/kV), prekogranične razmene sa susednim OPS i proizvodnje elektrana u elektroenergetskom sistemu Republike Srbije. Zatim su od dobijenih srednjih satnih vrednosti formirani modeli za svaki sat, uz aproksimaciju da je svaki mesec sačinjen od *istih* dana, tj od dana koji čine 24h u kojima vrednosti veličina od interesa predstavljaju srednje vrednosti za svaki sat iz odgovarajućeg meseca. Na ovaj način se značajno redukuje broj modela za proračune dok se ne gubi preciznost informacija o ukupnoj energiji proizvodnje, potrošnje i gubitaka. Za proračune gubitaka je korišćen programski paket PSS/E [3], dok je za automatizaciju proračuna i ispis rezultata korišćen programski jezik *Python* [4]. Za podatke o proizvodnji jedinične solarne elektrane, korišćeni su podaci sistema *PVGIS* [5].

III OPIS PRORAČUNA I REZULTATI

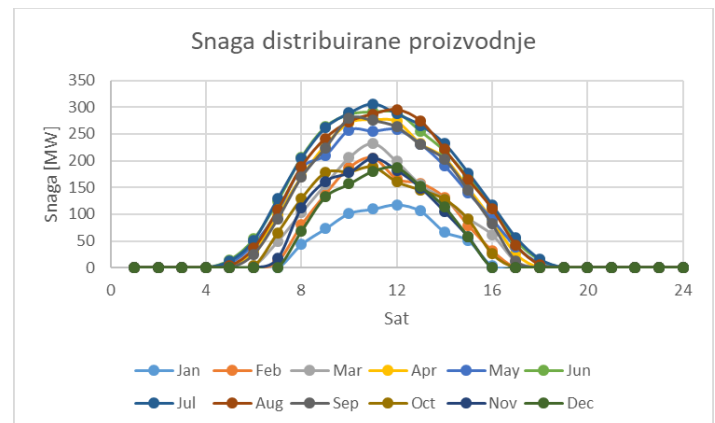
Nakon formiranja simulacionih modela, na način opisan u prethodnom podnaslovu, izvršena je analiza postojećeg stanja, tj. analiza relevantnih veličina pre implementacije distribuirane proizvodnje. Rezultati tih analiza daju vrednosti gubitaka u odnosu na koje će se vršiti poređenje vrednosti gubitaka nakon implementacije distribuirane proizvodnje na distributivnom sistemu. Kao što je rečeno, u ovom radu se posmatraju gubici u prenosnom sistemu i samim tim, elementi na kojima se proračunavaju vrednosti gubitaka su elementi prenosnog sistema, dalekovodi i transformatori naponskog nivoa 110 kV ili više, ne uključujući transformatore 110/X kV/kV u distributivnim transformatorskim stanicama. Na Slici 1 su prikazane ukupne energije gubitaka po mesecima, pre implementacije distribuirane proizvodnje.



Slika 1. Ukupna energija gubitaka po mesecima pre implementacije distribuirane proizvodnje

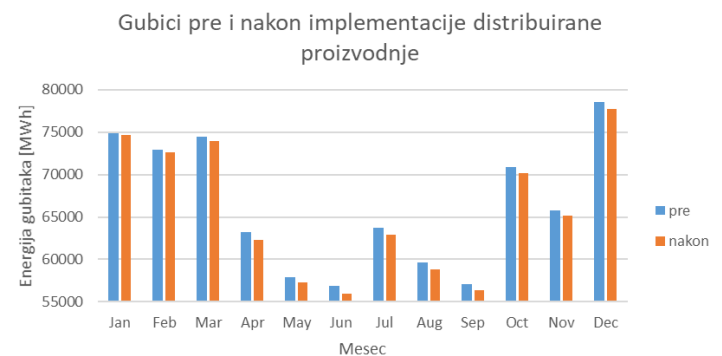
Nakon dobijanja referentnog stanja, potrebno je modelovati distribuiranu proizvodnju i proračunati efekte na vrednost gubitaka u prenosnom sistemu. U ovom proračunu, zbog prirode distribuirane proizvodnje da je pozicionirana neposredno uz potrošnju, uticaj distribuirane proizvodnje je modelovan kao smanjenje potrošnje. Pretpostavljeno je da je instalisana snaga distribuirane proizvodnje jednaka 10% vrednosti maksimalne potrošnje u sistemu. Zatim je prema karakterističnom godišnjem

profilu proizvodnje jedinične solarne elektrane, instalisane snage 1MW, proračunata očekivana proizvodnja u svim srednjim satima skaliranjem tih vrednosti proizvodnje sa vrednošću instalisane snage. Očekivana snaga distribuirane proizvodnje po satima i mesecima je prikazana na Slici 2. Oduzimanjem te proizvodnje od ostvarene potrošnje u odgovarajućim satima, dobijene su nove vrednosti potrošnje koja je smanjena pod uticajem distribuirane proizvodnje. Zbog promene vrednosti potrošnje potrebno je prilagoditi total Srbije. U ovom radu je to izvršeno po principu da se, u režimima u kojima je Srbija izvoznik električne energije, povećava vrednost izvoza, dok se, u režimima u kojima Srbija uvozi električnu energiju, smanjuje vrednost uvoza. U oba slučaja angažovanja generatora u elektroenergetskom sistemu Srbije ostaju nepromenjena.



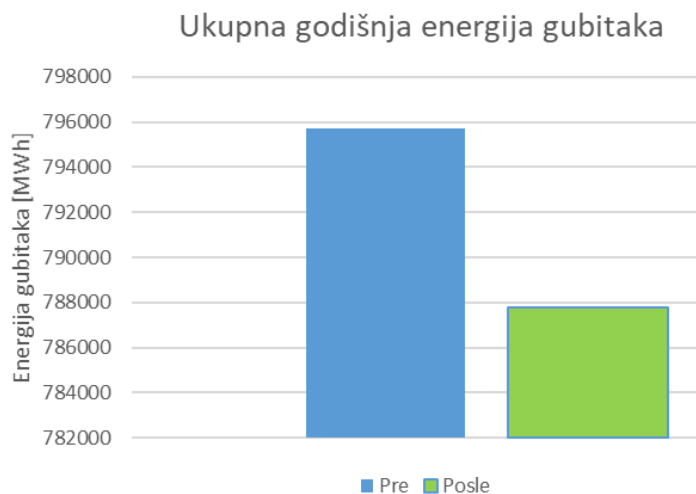
Slika 2. Očekivana snaga distribuirane proizvodnje po satima i mesecima

Nakon dobijanja nove vrednosti potrošnje i novih vrednosti razmene sa susednim zemljama, te vrednosti se unose u softver i proračunom tokova snaga se dobijaju vrednosti snage gubitaka za svaki sat. Zbog prethodno opisane aproksimacije usrednjavanja sati u svakom mesecu, ukupna mesečna energija gubitaka će biti jednaka proizvodu broja dana u mesecu i ukupne energije gubitaka u jednom *srednjem* danu, dok je ukupna energija gubitaka u jednom danu jednaka zbiru satnih vrednosti gubitaka u tom danu. Na Slici 3 je prikazano poređenje vrednosti gubitaka u prenosnom sistemu pre i nakon implementacije distribuirane proizvodnje.



Slika 3. Ukupna energija gubitaka po mesecima pre i nakon implementacije distribuirane proizvodnje

Sabiranjem mesečnih energija gubitaka pre i posle implementacije distribuirane proizvodnje dobijaju se vrednosti ukupne godišnje energije gubitaka za scenarije pre i posle integracije, što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Ukupna godišnja energija gubitaka pre i posle integracije

Oduzimanjem vrednosti za scenarije pre i posle integracije prikazanih na Slici 4 dobija se godišnje smanjenje energije gubitaka u prenosnom sistemu usled integracije distribuirane proizvodnje ukupne snage 450 MW i ono iznosi 7942,9 MWh, što je oko 1% ukupne energije gubitaka pre integracije.

IV ZAKLJUČCI

Nakon sprovedenih analiza prikazan je uticaj distribuirane proizvodnje, priključene na distributivni sistem, na gubitke u prenosnom sistemu. Iz rezultata se vidi da distribuirana proizvodnja smanjuje gubitke u prenosnom sistemu. Iako vrednost smanjenja u procentima nije velika, treba imati u vidu da je ukupna energija gubitaka u prenosnom sistemu i pre i posle integracije veća od ukupne godišnje proizvodnje iz distribuiranih izvora ukupne snage 450 MW, zbog čega smanjenje od 1% nije zanemarljivo. Takođe, treba imati u vidu da je snaga od 450 MW distribuirane proizvodnje mala za teritoriju Republike Srbije i da

se u budućnosti, uzimajući u obzir dobar potencijal solarne energije na teritoriji cele države, može očekivati značajno veća snaga distribuirane proizvodnje čime bi došlo do dodatnog smanjenja gubitaka. Smanjenje gubitaka se može očekivati sve do neke granične vrednosti integracije distribuirane proizvodnje, kada se, zbog promene smera toka aktivne snage (iz distributivnog sistema u prenosni sistem), u odnosu na konvencionalni smer (iz prenosnog sistema u distributivni sistem) vrednost gubitaka izjednači ili poveća u odnosu na stanje pre integracije. Zbog toga je važno da se proces integracije ovakvih izvora planira i sprovodi racionalno. Pored prikazanog uticaja na smanjenje gubitaka, integracija OIE kroz distribuiranu proizvodnju ima i druge pozitivne uticaje koji u ovom radu nisu analizirani, neki od njih su rasterećenje prenosnih i distributivnih kapaciteta, naročito u režimima visoke potrošnje i smanjene propusne moći elemenata elektroenergetskog sistema usled lošijih uslova hlađenja, ušteda prostora ukoliko se solarne elektrane grade na krovovima, korišćenje postojeće infrastrukture za priključenje čime se izbegava izgradnja nove infrastrukture, dok se postojeća efikasnije koristi.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Babić, I., Žarković, M., Distribuirana proizvodnja električne energije sa primerom vetroagregata, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vo. 15, No. 3-4, pp. 259-264, 2013.
- [2] Radošević, V., Komnen, V., Utjecaj distribuirane proizvodnje na gubitke u distribucijskoj mreži, in *Proc. 7(13) savjetovanje Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIREĐ*, Šibenik, SO6-10, 24. - 27. lipnja 2021.
- [3] PSS@E Program Operation Manual, Siemens Industry, Inc., April 2017.
- [4] Programski jezik Python <https://www.python.org/> [pristupljeno 05.03.2022.]
- [5] PVGIS tool, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [pristupljeno 05.03.2022.]

AUTORI/AUTHORS

msr Vojislav Simović – master inženjer elektrotehnike i računarstva, Vodeći inženjer za izradu sistemskih studija, vojislav.simovic@ems.rs, ORCID [0000-0002-8532-5378](https://orcid.org/0000-0002-8532-5378)
msr Miroslav Žerajić - master inženjer elektrotehnike i računarstva, Stručnjak za razvoj prenosnog sistema, miroslav.zerajic@ems.rs, ORCID [0000-0001-9601-9045](https://orcid.org/0000-0001-9601-9045)