

## ANALIZA PRIKLJUČENJA PV ELEKTRANE KORIŠĆENJEM SAVREMENIH SOFTVERSKIH ALATA

### ANALYSIS OF PV POWER PLANT CONNECTION USING MODERN SOFTWARE TOOLS

Todor ŠILJEGOVIĆ, Go2Power, Beograd, Srbija  
Mila DRAJIĆ, Go2Power, Beograd, Srbija  
Deniz GRANIĆ, JP Elektroprivreda BiH, Travnik, BiH

#### KRATAK SADRŽAJ

Sa ekspanzijom obnovljivih izvora energije, operatori distributivnog sistema se susreću sa velikim brojem novih zahteva za priključenje solarnih elektrana na mrežu. Kako bi se procenila mogućnost priključenja određene solarne elektrane, potrebno je sprovesti analize u odgovarajućim softverskim alatima. Takve analize se obično rade za definisani set podataka o potrošnji i proizvodnji u sistemu u određenom vremenskom trenutku. Kako su ti podaci stohastičke vrednosti, najčešće uzeti u kritičnim režimima rada (maksimalne i minimalne vrednosti), stanje u mreži koje se dobija ovakvom analizom ne daje sveobuhvatnu sliku o uticaju integracije elektrane na sistemske veličine, kao što su naponi i opterećenja elemenata. U ovom radu će biti predstavljena analiza integracije PV elektrane u izabrano distributivno područje. Analiza će biti sprovedena na nivou čitave godine, sa satnom rezolucijom proizvodnje elektrana u datoj mreži, kao i potrošnje na nivou 10/0.4kV trafostanica. Cilj rada će biti da se izvršiti provera mogućnosti priključenja elektrane na distributivni sistem prema Pravilima o radu distributivnog sistema Srbije. Za ovu analizu biće korišćen softverski paket DIgSILENT PowerFactory, tačnije modul za kvazidinamički proračun, koji omogućava ovakav vid analize.

**Ključne reči:** DIgSILENT PowerFactory, kvazidinamička analiza, priključenje, distributivni sistem, solarna elektrana

#### ABSTRACT

With the expansion of renewable energy sources, distribution system operators are faced with a large number of new requirements for solar power plants connection to the grid. In order to assess the possibility of connecting a solar power plant of interest, it is necessary to conduct analyses in appropriate software tools. Such analyzes are usually performed for the defined set of data for consumption and production in the system at a specific point in time. As these data are stochastic values, usually considered in critical operating regimes (maximum and minimum values), network conditions obtained this way donot give a comprehensive picture of the impact of the power plant integration on system variables, such as voltages and element loadings. This paper will present the PV power plant grid connection alaysis in the selected distribution area. The analysis will be carried out with a yearly horizont, with hourly resolution of power plant production in the given network, as well as the hourly resolution of demand at the level of 10/0.4kV substations. The aim of the paperwork is to check the possibility of power plant connection to the distribution system according to the Rules on the Operation of the Distribution System of Serbia. DIgSILENT PowerFactory software tool was used for this analysis, specifically its module for quasi-dynamic calculation, which enables to conduct this kind of analysis.

**Key words:** DIgSILENT PowerFactory, quasidynamic analysis, grid connection, distribution system, PV plant

Todor Šiljegović, [todor.siljegovic@go2power.eu](mailto:todor.siljegovic@go2power.eu)

#### 1. UVOD

Povećana penetracija obnovljivih izvora energije u elektroenergetske sisteme ima stalno rastući trend, kako u svetu, tako i u našoj zemlji i regionu. Potencijalni kandidati moraju da ispune niz zahteva sa unapred definisanim

kriterijumima, kako bi bili uzeti u razmatranje za priključenje na prenosne ili distributivne sisteme na posmatranoj lokaciji. Sa povećanim brojem ovakvih zahteva, naročito na distributivnoj mreži, javlja se potreba za efikasnijim načinima proračuna od "ručne" metode. Kao moderno i praktično rešenje nameće se upotreba softverskih alata, koji u mnogome mogu ubrzati pomenute proračune i obezbediti sveobuhvatnije sagledavanje uticaja kandidata za priključenje na postojeće elemente u sistemu u blizini tačke priključenja. Ispitivanje mogućnosti jednog takvog softvera – DIGSILENT PowerFactory-ja, za detaljnu analizu priključenja solarne elektrane na distributivni sistem biće prikazano u nastavku ovog rada.

## 2. ANALIZA PRIKLJUČENJA SOLARNE ELEKTRANE NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

### 2.1 Opis softverskog alata

Kao što je pomenuto u uvodu, za potrebe izvršenja proračuna u ovom radu korišćen je softverski alat DIGSILENT PowerFactory. Ovaj programski paket predstavlja napredni inženjerski alat koji omogućava različite vrste analiza elektroenergetskih sistema u postojećim i perspektivnim stanjima. Korišćen je od strane operatora za planiranje i upravljanje elektroenergetskim sistema u čitavom svetu [1]. Pored osnovnih funkcionalnosti koje program sadrži, koje podrazumevaju modelovanje elemenata sistema i osnovne vrste proračuna, kao što su tokovi snaga i proračun kratkih spojeva u mreži, ovaj softver takođe poseduje i module za dinamičku analizu sistema, za kvalitet električne energije – harmonijska analiza, a posebno zanimljiva funkcionalnost jeste kvazidinamička analiza.

Kvazidinamička analiza predstavlja izvršavanje proračuna tokova snaga za određeni vremenski period i željeni korak simulacije, a prema prethodno dodeljenim vremenski zavisnim karakteristikama proizvodnje i potrošnje. Najčešće se koristi za studije sa srednje dugim (nekoliko dana ili meseci) i dugim (jedna ili više godina) horizontom posmatranja, kada je potrebno analizirati uticaje novih elemenata na postojeći sistem kroz vreme, sa različitim rezolucijom posmatranja definisanom kao korak simulacije (sekund, minut, sat).

Ovakav način analiziranja sistema nudi mnoštvo novih mogućnosti, kao što su istraživanje prekoračenja graničnih vrednosti napona koje se mogu javiti u mreži nakon priključenja novih elektrana i moguća preopterećenja elemenata mreže za različite uslove u mreži i svaki sat u godini, kao i analiza kontra tokova snaga u distributivnim mrežama i otkrivanje novih, kritičnih trenutaka za svako distributivno područje koji ne moraju biti ograničeni na nisu minimalni letnju/maksimalni zimski režim.

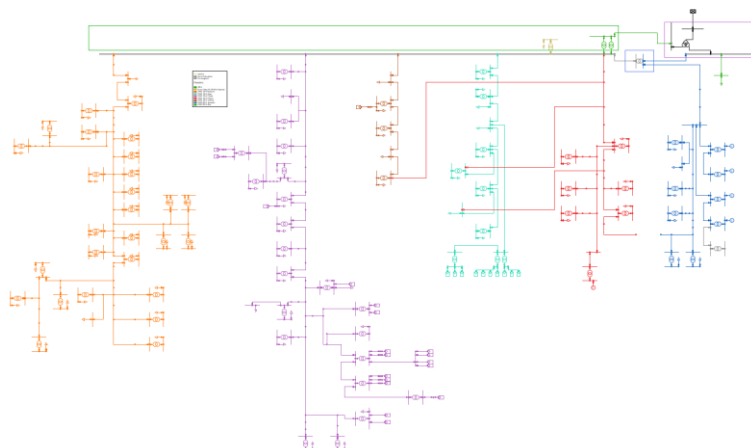
Dodatna prednost kvazidinamičke analize u softverskom alatu PowerFactory je mogućnost da se specificira određeni vremenski trenutak posmatranja, definisan datumom i satom, pri čemu vrednosti svih parametara/varijabli koje karakterišu modelovane elemente (prethodno unesenih u vidu karakteristika sa vrednostima na satnom nivou za celu godinu) bivaju automatski podešene na vrednosti za posmatrani vremenski trenutak. Ovakva mogućnost olakšava kretanje kroz različite trenutke i stanja u sistemu radi detaljnijeg proučavanja specifičnih režima, kao što su npr. trenutak najvišeg opterećenja određenog dalekovoda, eventualni slučaj divergencije proračuna ili detaljnija analiza perioda sa potencijalnim greškama u modelu/ulaznim podacima.

Takođe, ukoliko korisnik ima posebne zahteve ili želi dodatne funkcionalnosti ovakvog sistema (npr. ograničenje izlazne aktivne snage elektrane u slučaju prekoračenja granične vrednosti opterećenja elementa/vrednosti napona u tački priključenja – tzv. "curtailment"), moguće je uzeti ovakve zahteve u obzir korišćenjem programskih jezika ugrađenih u okviru PowerFactory softverskog paketa.

### 2.2 Opis analiziranog sistema

**2.2.1 Modelovanje postojećih elemenata sistema.** U radu je posmatran deo elektroenergetskog sistema koji predstavlja jedno postojeće distributivno područje na koje se priključuje solarna elektrana od interesa. Distributivna mreža modelovana je do nivoa srednjeg napona (niskonaponska strana kod transformatora X/0.4kV predstavljena je kao ekvivalentirana potrošnja).

Transformatorske stanice (TS), srednjenaponski dalekovodi i kablovi su modelovani korišćenjem stvarnih vrednosti njihovih parametara prema podacima dobijenim od operatora distributivnog sistema, ukoliko postoje. U slučaju nepotpunih ili nedostupnih podataka, pomenuti elementi su modelovani korišćenjem DIGSILENT PowerFactory baze podataka u kojoj postoji mnoštvo standardnih tipova transformatora, kablova i dalekovodne užadi. Kao što je prethodno navedeno, potrošački elementi su modelovani kao agregirana potrošnja na 0.4kV naponskom nivou, pri čemu je delu potrošača dodeljena vremenski zavisna karakteristika prema stvarnim merenjima potrošnje, a ostatku potrošača je dodeljena karakteristika procenjena na osnovu odobrene snage potrošača, profila opterećenja fidera (zahvaljujući merenjima na početku takvih izvoda) i tipa potrošača (industrija, domaćinstvo, javno osvetljenje, itd.). Model pomenutog deo sistema u DIGSILENT PowerFactory-ju prikazan je na Slici 1.



Slika 1 – Model posmatranog sistema sistema u DIgSILENT PowerFactory softveru

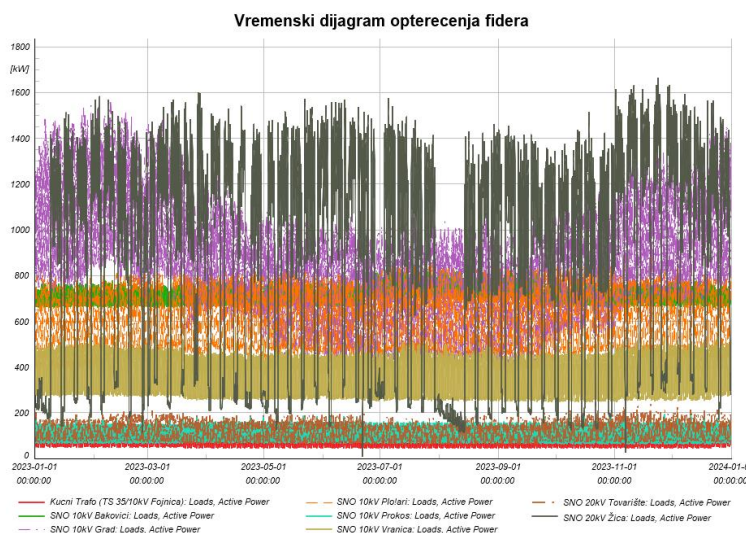
Veza posmatranog distributivnog sa prenosnim sistemom modelovana je preko tronamotajnog transformatora 110/36.75/21kV (snage 20 MVA). Ostatak sistema “uzvodno” od ovog transformatora predstavljen je kao eksterna mreža („External grid“). U simulacijama ona predstavlja krutu mrežu i održava napon na konstantnoj vrednosti. Ujedno, to je i balansni čvor, te kompenzuje sve nedostatke/viškove aktivne i reaktivne snage.

Lokalno generisanje u posmatranom distributivnom području bazira se na malim hidroelektranama (MHE) i fotonaponskim elektranama (FNE) koje su već u pogonu, te su njima dodeljene realne vrednosti generisanja aktivne i reaktivne snage merene u njihovim TS. U modelu su uzete u obzir i FNE koje su dobile odobrenje za priključak. Njihove proizvodnje su procenjene na osnovu odobrene snage elektrane i profila proizvodnje određenim na osnovu solarnog potencijala samog distributivnog područja (isti profil korišćen za sve elektrane koje su dobile odobrenje za priključenje). Rezolucija svih vremenski zavisnih karakteristika potrošnje i proizvodnje je sat vremena, a period koji se posmatra u analizi je jedna godina.

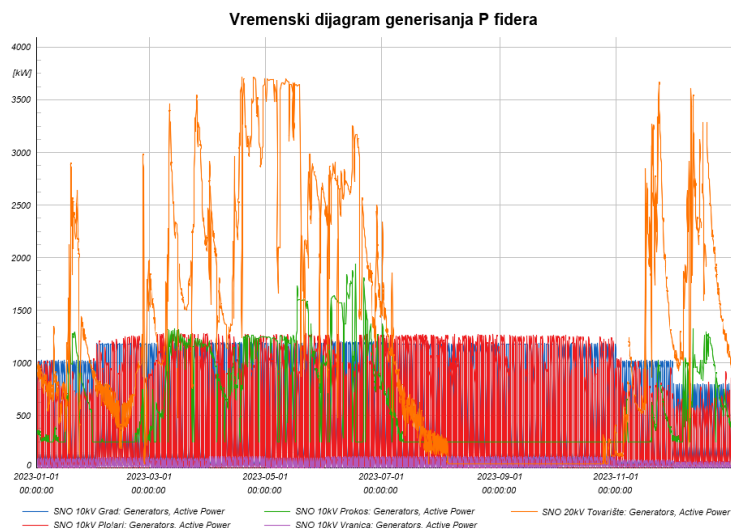
Vremenski dijagrami potrošnje i proizvodnje elektrana za svaki sat u godini dati su na Slici 2 i Slici 3, respektivno.

Maksimalna satna vrednost potrošnje iznosi 5458.2 MW (zimski dan, u 15h), dok je minimalna vrednost potrošnje iznosila 2078.8 MW (letnji dan, u 3h ujutru).

Maksimalna satna vrednost generisanja elektrana u modelu iznosi 7709.7 MW (mesec maj, u 13h – visoka proizvodnja iz MHE potpomognuta proizvodnjom iz FNE).



Slika 2 – Potrošnja sistema na godišnjem nivou sa satnom rezolucijom

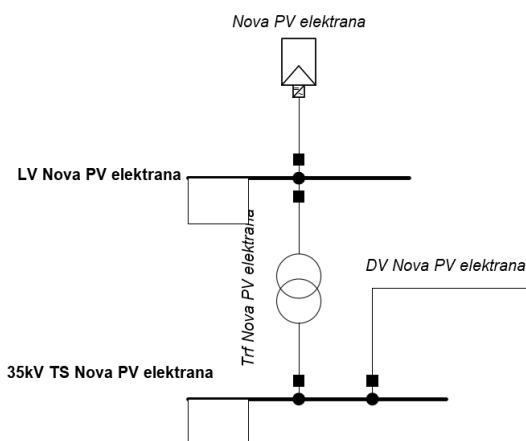


Slika 3 – Proizvodnja sistema na godišnjem nivou sa satnom rezolucijom

**2.2.2 Modelovanje solarne elektrane.** Solarna elektrana čije se priključenje analizira u radu modelovana je u softverskom alatu DIGSILENT PowerFactory kao ekvivalentni generator (“Nova PV elektrana”) pomoću koga je na agregiran način predstavljena snaga svih pojedinačnih panela u FNE. Ovakva reprezentacija FNE sadrži i njene pogonske karakteristike (maksimalnu aktivna snagu i pogonski dijagram, doprinose elektrane strujama kratkih spojeva, parametre kvaliteta električne energije čitave elektrane, itd.). Prikaz posmatrane solarne elektrane da je na Slici 4.

Niskonaponske sabirnice na koje je vezan ovaj ekvivalentni generator (“LV Nova PV elektrana”) dalje su preko transformatora povezane na posmatranu mrežu. Modelovanje ovog transformatora (“Trf Nova PV elektrana”) bitno utiče na kompenzaciju reaktivnih gubitaka na transformatoru, što je od velike važnosti za tokove reaktivnih snaga u distributivnoj mreži.

Takođe, modelovan je i vod preko kojeg elektrana prosleđuje proizvedenu snagu u distributivni. Vod je odabran prema prividnoj snazi elektrane za slučaj kada je faktor snage  $\cos\phi = 0.95$ .



Slika 4 – Model analizirane solarne elektrane u DIGSILENT PowerFactory softveru

Za srednjoročne i dugoročne analize, kada se analiziraju uticaji priključenja FNE na sistemske parametre, potrebno je poznavati očekivani profil proizvodnje elektrane za čitavu godinu, sa satnom rezolucijom, određen na osnovu solarnog potencijala lokacije priključenja. Često informacija o očekivanoj satnoj proizvodnji elektrane nije dostupna u gotovoj formi od strane investitora, te je stoga vrlo dragocena mogućnost koju PowerFactory. Na osnovu definisanje georeferencirane lokacije FNE (slika 5), program procenjuje solarnu iradijaciju na datoj lokaciji iz svoje baze podataka. Zatim, na osnovu dodeljenog tipa i broja PV panela, orijentacije elektrane i nagiba stringova, broja invertora određene naznačene snage i efikasnosti u okviru elektrane, softver procenjuje godišnju proizvodnju FNE i sa tim vrednostima ulazi u godišnji satni – kvazidinamički proračun (slika 6).

System Geographical Location	
Note: GPS position is defined in terminal, busbar or substation.	
Latitude	43.96295 deg
Longitude	17.9201 deg
Time Zone (Offset)	UTC+01:00
Orientation and Tilt	
Mounting System	Fixed/Stationary
Orientation Angle	0. deg
Tilt Angle	30. deg
Inverter	
Efficiency Factor	95. %

Slika 5 – Podaci o georeferenciranoj lokaciji posmatrane FNE

Number of	
Parallel Inverters	25
Panels per Inverter	1600
Ratings	
Rated Apparent Power	200. kVA
Rated Power Factor	1.

Slika 6 – Podaci o broju i snazi invertora u softverskom modelu FNE

Odabran je tip PV panela Aleo Solar 150 S, snage 150 W (DC). Ukupna DC snaga analizirane solarne elektrane biće 6 MW<sub>p</sub>, dok će maksimalna snaga u tački priključenja elektrane biti 5 MW (AC). Snaga priključnog trafoa iznosi 6 MVA i kablovski priključak će biti izveden 35kV Al kablom preseka 120 mm<sup>2</sup> (nominalna struja kabla je 280 A).

### 2.3 Metodologija proračuna

Po trenutno važećim propisima i standardima, za proveru mogućnosti priključenja elektrane na distributivni sistem na području Srbije koriste se „Pravila o radu distributivnog sistema“ ("Službeni glasnik RS" br. 71/2017)“ [2] (u daljem tekstu: Pravila). Po njima je potrebno proveriti šest osnovnih tehničkih uslova za priključenje elektrane na distributivni sistem:

- Kriterijum maksimalno dozvoljene snage generatora u elektrani (tačke 4.9.2.6.1. – 4.9.2.6.7. Pravila).
- Kriterijum dozvoljenih vrednosti napona u stacionarnom stanju (tačka 4.9.2.7. Pravila).
- Kriterijum dozvoljenog strujnog opterećenja elemenata distributivne mreže (tačka 4.9.2.8. Pravila).
- Kriterijum snage kratkog spoja (tačka 4.9.2.9. Pravila).
- Kriterijum flikera (tačka 4.2.9.10. Pravila).
- Kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika i interharmonika (tačka 4.9.2.11. Pravila).

2.3.1. Što se tiče prvog uslova, on proverava da li se pri uključenju generatora u okviru elektrane napon u tački priključenja FNE menja više od maksimalno dozvoljene vrednosti date u Pravilima. Do sada, ovaj uslov se ispitivao korišćenjem izraza datih u Pravilima. Za proveru ovog uslova u DIGSILENT PowerFactory-ju čitav model distributivnog područja, kao i elektrana koja se priključuje bi morao biti modelovan dinamički (uz podatke dostavljene od strane proizvođača invertora i operatora distributivnog sistema), te ovaj kriterijum neće biti obrađivan kroz softver u okviru ovog rada.

2.3.2. U okviru kriterijuma dozvoljenih vrednosti napona proverava se da li u svakoj tački distributivnog sistema napon ostaje u okviru dozvoljenih granica ( $\pm 10\%$  u odnosu na nominalnu vrednost napona) nakon priključenja FNE. Dosadašnja praksa ispitivanja ovog uslova sastojala se u analizi režima minimalne/maksimalne potrošnje, bez/sa priključenom elektranom na distributivni sistem. Kriterijum za proveru je promena napona nakon priključenja elektrane, pri čemu elektrana za režim maksimalnog opterećenja radi sa  $\cos\varphi = 0.95$  (natpobuđen režim) i injektira reaktivnu snagu u sistem, dok se za režim minimalnog opterećenja usvaja angažovanje sa  $\cos\varphi = 1$ . Pri tome promena napona ne sme biti veća od 5% (uvažavajući sve elektrane priključene na posmatrani deo distributivnog sistema). Ovaj uslov se u PowerFactory-ju može proveriti proračunom tokova snaga za svaki sat u godini, pri čemu se model elektrane, tačnije njenog kontrolera prilagođava faktoru snage koji je od interesa u posmatranom režimu ( $\cos\varphi = 0.95$  ili  $\cos\varphi = 1$ ). Ovakvom proverom se dobija sveobuhvatnija slika o stanju u mreži nakon priključenja FNE, te se mogu utvrditi potencijalni kritični dani/sati, što pri analizi dva stacionarna režima (minimalna i maksimalna potrošnja) nije lako uočljivo.

2.3.3. Kriterijum trajno dozvoljene struje elemenata distributivnog sistema se kroz softver proverava na sličan način kao prethodni uslov, proračunom tokova snaga za svaki sat u godini i analizom opterećenja elemenata u neposrednom okruženju elektrane koja se priključuje, pre svega priključnog voda i transformatora elektrane, a zatim i okolnih elemenata sistema. Takođe, ukoliko je potrebno uvažavati različite režime opterećenja vodova i transformatora u modelu, uzetih u obzir korišćenjem korekcionih faktora za trajno dozvoljenu struju u zavisnost od eksploatacionih uslova, moguće je dodeliti vremenski zavisnu karakteristiku trajno dozvoljenoj snazi elementa (primer za to su zimski i letnji režim opterećenja nekog elementa, definisan sa mesečnom rezolucijom).

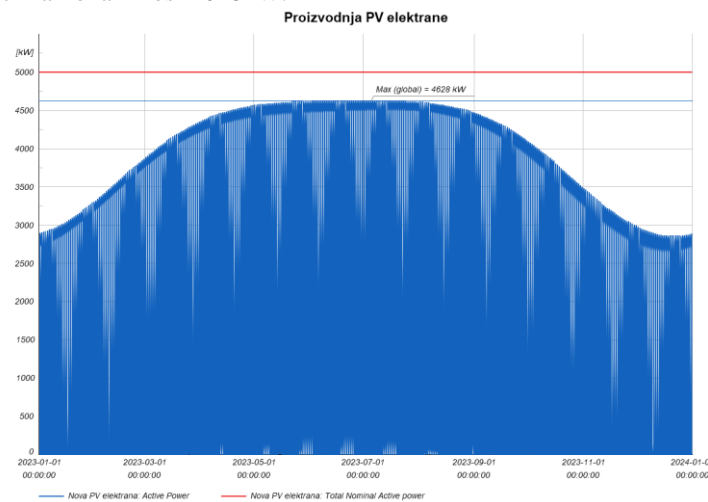
2.3.4. Doprinos FNE u pogledu struja kratkih spojeva se uzima u obzir u okviru samog modela ekvivalentnog generatora, definisanjem vrednosti simetrične struje kratkog spoja za trofazni, dvofazni i jednofazni kratak spoj koje dostavlja proizvođač invertora. Vrednosti doprinosa strujama kratkih spojeva za svaki inverter pojedinačno su obično 20-30% veće u odnosu na nominalnu struju invertora. Vrednost ukupne struje kratkog spoja na mestu priključenja elektrane na distributivni sistem, nakon uvažavanja njenog doprinosa, treba da je manja od maksimalno dozvoljene vrednosti struje koja je u Pravilima definisana za svaki naponski nivo.

2.3.5. i 2.3.6. Velika prednost provere uslova priključenja FNE na distributivni sistem pomoću softvera DIGSILENT PowerFactory je mogućnost detaljne analize parametara kvaliteta električne energije - struja viših harmonika i flikera. Modelovanjem doprinosa elektrane u pogledu struja viših harmonika i flikera (uz uvažavanje harmonijskog spektra mreže, ukoliko postoje takva merenja), a zatim proračunom harmonijskih tokova snaga za naznačeni spektar može se utvrditi doprinos FNE harmonijskoj distorziji mreže u tački priključenja i mogu se uočiti potencijalno kritična stanja u pogledu „zaprljanja“ mreže.

## 2.4 Rezultati analize

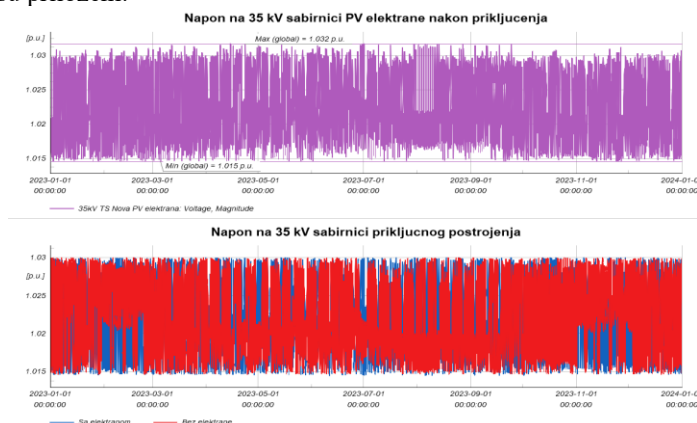
Za sistem opisan u poglavlju 2.2. i proračune nabrojane u poglavlju 2.3. urađene su simulacije u softverskom alatu DIGSILENT PowerFactory. Najbitniji rezultati za utvrđivanje ispunjenosti pojedinih kriterijuma za priključenje posmatrane FNE na distributivni sistem prikazani su na sledećim slikama.

Slika 7 prikazuje proizvodnju FNE na godišnjem nivou sa satnom rezolucijom (prikazano plavom bojom), kao i maksimalnu snagu FNE (prikazano crvenom linijom). Kao što je i očekivano, maksimalna proizvodnja elektrane se javlja u letnjim mesecima i ona iznosi 4628kW.



Slika 7 – Proizvodnja posmatrane solarne elektrane na godišnjem nivou sa satnom rezolucijom

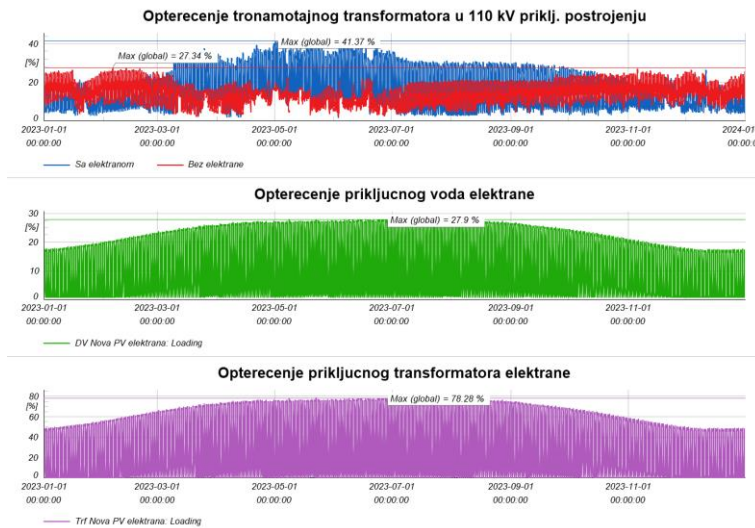
Slika 8 prikazuje napone sredjenaponskih sabirnica FNE (gornji grafik) i priključnog postrojenja pre i nakon priključenja FNE (donji grafik), koji su od interesa za procenu ispunjenosti 2. kriterijuma za priključenje. Za prikazane grafike, usvojeno je da elektrana radi čitave godine sa  $\cos\phi = 1$ . Sa slike se može zaključiti da naponi ostaju u dozvoljenim granicama i nakon priključenja posmatrane elektrane – promene su neznatne. Urađena je i analiza rada elektrane sa  $\cos\phi = 0.95$  (natpobuđen režim), ali vrednosti napona posmatranih sabirnica su gotovo identični, te rezultati nisu priloženi.



Slika 8 – Naponi na sredjenaponskim sabirnicama

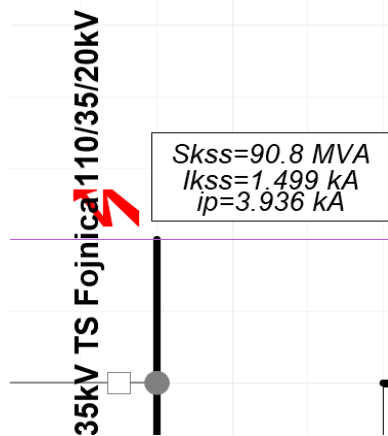


Slika 9 prikazuje opterećenje transformatora u priključnom postrojenju pre i nakon priključenja FNE (gornji grafik), opterećenje priključnog voda elektrane (srednji grafik), kao i opterećenje priključnog transformatora elektrane, koji su od interesa za procenu ispunjenosti 3. kriterijuma za priključenje. Vidi se porast opterećenja 110kV transformatora (sa 27% na 41%) i on se javlja početkom meseca maja (posmatrajući ovaj model, tada je visoka proizvodnja iz MHE i FNE). Opterećenje priključnog voda ne prelazi 27%, dok je maksimalno opterećenje priključnog transformatora ispod 80%, te se može zaključiti da je priključna oprema adekvatno odabrana.

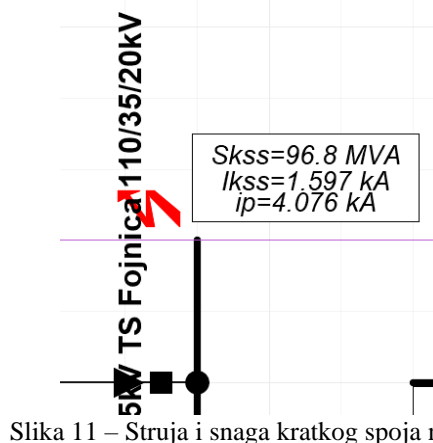


Slika 9 – Opterećenje transformatora i priključnog voda elektrane

Slike 10 i 11 prikazuju vrednosti struje i snage trofaznog kratkog spoja u priključnoj TS za režime pre i posle priključenja FNE (na srednjenaponskim sabirnicama u pomenutoj TS), koje su relevantne za procenu ispunjenosti 4. kriterijuma za priključenje. Prema rezultatima, može se reći da je uticaj planirane elektrane na porast vrednosti struja trofaznog kratkog spoja jako mali, kao i da vrednosti i dalje ostaju daleko ispod tipizirane vrednosti navedene u Pravilima (12kA).

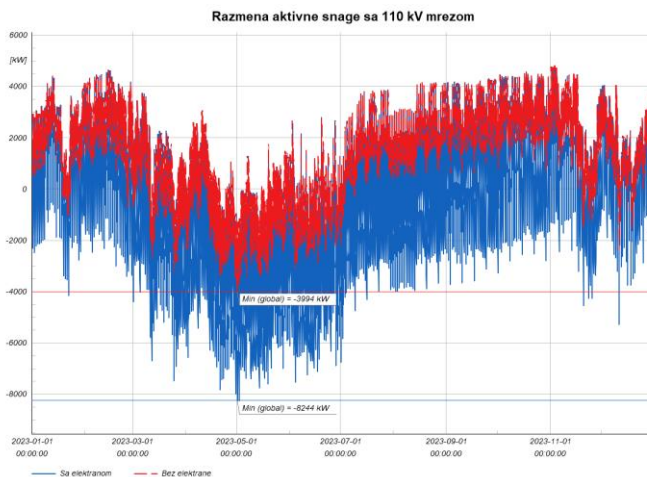


Slika 10 – Struja i snaga kratkog spoja pre priključenja FNE



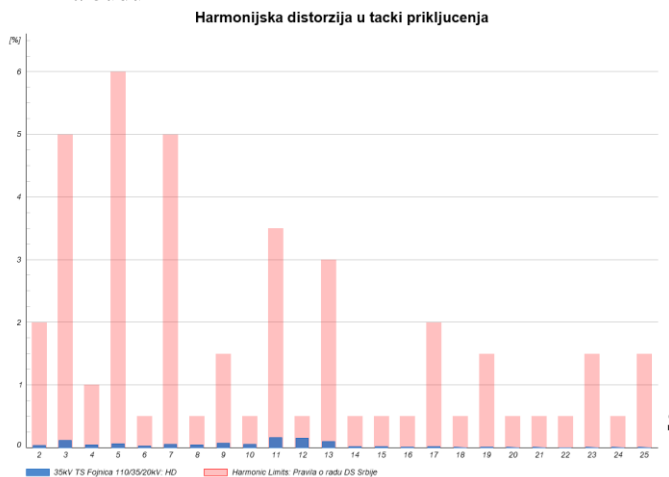
Slika 11 – Struja i snaga kratkog spoja nakon priključenja FNE

Slika 12 prikazuje razmenu aktivne snage između distributivnog i prenosnog sistema tokom godine na satnom nivou, pre i nakon priključenja FNE (crvenom bojom prikazana je razmena pre priključenja FNE, a plavom bojom nakon priključenja FNE na posmatranu mrežu). Pre priključenja posmatrane FNE, smer razmene aktivne snage je od prenosne ka distributivnoj mreži tokom većeg dela godine, sa određenim intervalima u kojima se uočava kontra smer, što se objašnjava prisustvom lokalnog generisanja iz već postojećih FNE i MHE. Nakon priključenja FNE, lokalno generisanje na distributivnom nivou se povećava, što dovodi do porasta broja intervala tokom godine sa kontra smerovima aktivne snage (od distributivne ka prenosnoj mreži). Maksimalni „izvoz“ aktivne snage iz distributivne u prenosnu mrežu javlja se početkom maja, kada su visoke proizvodnje MHE i FNE, i iznosi 8244kW (baš tada je i 110kV transformator najopterećeniji).



Slika 12 – Razmena snage između distributivnog i prenosnog sistema na godišnjem nivou sa satnom rezolucijom

Slika 12 i Slika 13 prikazuju rezultate analize kvaliteta električne energije na priključnim 35kV sabirnicama, nakon integracije planirane FNE. Kao ulazni podatak, korišćen je harmonijski spektar PV invertora Huawei SUN2000 snage 215kVA [3], kao i podaci o doprinosu nivoima flikera. Rezultati analize pokazuju da su nivoi pojedinačnih harmonika prikazani na Slici 13 daleko ispod limita (crvenom bojom prikazani su odbirci sa maksimalno dozvoljenim vrednostima prema Pravilima, dok su plavom bojom dati rezultati harmonijske analize). Sistemske veličine koje se tiču flikera su takođe zadovoljene, sa velikom marginom. Treba naglasiti da druge elektrane u sistema nisu deljano modelovane za analizu kvaliteta električne energije (ne postoje njihovi harmonijski doprinosi), te ovi rezultati nisu u potpunosti verodostojni, ali pokazuju mogućnosti koje softver pruža za buduće analize.



Slika 13 – Harmonijski spektar na 35kV priključnoj sabirnici nakon integracije FNE

35kV TS Fojnica 110/35/20kV

$THD=0.298\%$ $Pst\_cont=0.070$ $Plt\_cont=0.070$ $Pst\_sw=0.020$ $Plt\_sw=0.019$ $d\_sw=0.101\%$
--

Slika 14 – Parametri flikera na 35kV priključnoj sabirnici nakon integracije FNE

### 3. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je analiza priključenja solarne elektrane na posmatrani deo postojećeg distributivnog sistema, a pomoću softverskog alata DiGSILENT PowerFactory. Cilj rada bio je da se prikažu mogućnosti primene pomenutog softvera za proveru ispunjenosti kriterijuma za priključenje navedenih u „Pravilima o radu distributivnog sistema ("Službeni glasnik RS" br. 71/2017), koja su na snazi na teritoriji Srbije.

DiGSILENT PowerFactory nudi mogućnost detaljnog modelovanja željenih elemenata sistema i vršenje različitih vrsta proračuna, kao što su proračun tokovi snaga i kratkih spojeva u mreži, dinamička analiza sistema, analiza kvalitet električne energije – harmonijska analiza, kao i kvazidinamička analiza. Poslednja od navedenih – kvazidinamička analiza, uzima u obzir vremenski zavisne karakteristike proizvodnje i potrošnje i time omogućava utvrđivanje uticaja novih elemenata na postojeći sistem na dužem vremenskom interval, sa željenom rezolucijom posmatranja – satnom, minutnom, sekundom.

Rezultati kvazidinamičke analize dobijeni simulacijom u pomenutom softverskom alatu mogu se direktno upotrebiti za procenu ispunjenosti kriterijuma za priključenje elektrane od interesa. Direktnim očitavanjem vrednosti od interesa sa grafika koji su snimljeni kao izlazne promenljive proračuna može se sagledati da li su



posmatrani naponi u tačkama od interesa, kao i strujna opterećenja okolnih elemenata u okviru dozvoljenih limita.

Snage kratkog spoja na mestu priključenja posmatrane FNE očitavaju se u tački priključenja nakon simulacije željenog kvara na istom mestu i direktno se mogu porediti sa maksimalnim vrednostima dozvoljenih snaga kratkog spoja u zadatoj tački. Direktno očitavanje je moguće zahvaljujući činjenici da su doprinosi nove elektrane već uzeti u obzir kroz softversko modelovanje FNE.

Sa većim prisustvom energetske elektronike u elektroenergetskim sistemima, kvalitet isporučene energije će imati sve veći značaj u budućnosti. Stoga je detaljna analiza parametara kvaliteta električne energija koju DIGSILENT PowerFactory pruža ne samo inovativno, već i neophodno sredstvo za buduće proračune ovog tipa.

Još jedan značajan rezultat ovakve softverske analize je mogućnost posmatranja razmene električne energije između distributivnog i prenosnog sistema tokom godine. Kako se u budućnosti očekuje da broj FNE u našoj i regionalnim distributivnim mrežama poraste, prateći trend koji je aktuelan u većini evropskih zemalja, doći će do „zamene uloga“ u određenim trenucima u toku dana/godine, te će aktivna snaga biti usmerena od distributivnog ka prenosnom sistemu. Odatle proističe potreba da se nivo razmene ubuduće konstantno prati, što je ovim putem moguće ostvariti sa željenom rezolucijom na odabranom vremenskom horizontu.

S obzirom na prethodno pomenute mogućnosti i performanse softverskih alata za brzo i jednostavno vršenje proračuna, a bez ograničenja u pogledu veličine posmatrane mreže i broja vremenskih trenutaka koji se analiziraju, može se izvesti zaključak da je ovakva vrsta simulacija ne samo luksuz, već i potreba koja će u budućnosti biti sve izraženija sa ekspanzijom elektroenergetskih sistema ka “zelenoj” budućnosti.

## ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju preduzeću JP Elektroprivreda BiH d.d. Sarajevo koja je ustupila i dala dozvolu za korišćenje simulacionog modela dela distributivnog područja za potrebe pisanja ovog rada.

## LITERATURA

- [1] User Manual, *PowerFactory 2023*, 2023.
- [2] “Pravila o radu distributivnog sistema”, "Službeni glasnik RS" br. 71/2017, Beograd, Srbija
- [3] “Huawei SUN2000-215KTL-H0 Inverter Datasheet”, Datasheet, 2023.