

ANALIZA RADA FOTONAPONSKE ELEKTRANE „EMY“ 30 kWp PRIKLJUČENE NA ELEKTROENERGETSKU DISTRIBUTIVNU NISKONAPONSKU MREŽU NA PODRUČJU OPŠTINE ŽEPČE-BiH

Sakib JUSIĆ, JP “Elektroprivreda BiH” d.d. Sarajevo – Podružnica “Elektrodistribucija” Zenica , BiH
Emir HRNJIĆ, JP “Elektroprivreda BiH” d.d. Sarajevo – Podružnica “Elektrodistribucija” Zenica , BiH

KRATAK SADRŽAJ

Današnje okruženje i uslovi za provođenje projekata obnovljivih izvora energije i u BiH zasigurno su znatno povoljniji od onih prije nekoliko godina. Donesene zakonske odredbe kojima se utvrđuje obaveza preuzimanja električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije prema zajamčenim tarifama sasvim sigurno doprinosi sve većem interesu kako domaćih tako i stranih investitora za projekte obnovljivih izvora energije s jedne strane, te proizvođača opreme, projekatanta i izvođača s druge strane. Poticajne otkupne cijene proizvedene električne energije su i glavni razlog zbog čega se novoizgrađeni obnovljivi izvori u našem okruženju isključivo priključuju kao distribuirani izvori na elektroenergetsku distributivnu mrežu. Pošto je prema važećim zakonskim odredbama distributer obavezan preuzeti svu energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora, nužno je za razvoj distributivne mreže što preciznije odrediti uticaj distribuiranih izvora na električne prilike u mreži, kako bi se potrošačima mogla isporučiti električna energija zadovoljavajućeg kvaliteta, vodeći pri tome računa da se gubici električne energije svedu na minimum. Porast nivoa penetracije fotonaponskih sistema u distributivnoj mreži unosi još veće promjene tokova snaga i otežava održavanje naponskih nivoa u propisanim granicama, što uz sezonske i dnevne varijabilnosti opterećenja i proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sistema, dodatno usložnjava pogon distributivne mreže. Cilj ovog rada je da se kroz analizu relevantnih parametara na primjeru dosadašnjeg pogona fotonaponske elektrane „Emy“ 30 kWp, priključene na elektroenergetsku distributivnu niskonaponsku mrežu na području Opštine Žepče, BiH, potvrdi ili koriguje dosadašnja praksa korištenja sunčeve energije u domaćim specifičnostima, kako iz ugla investitora, tako i iz perspektive distributivnih kompanija.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, fotonaponska elektrana, elektroenergetska distributivna, niskonaponska mreža, distribuirana proizvodnja električne energije

SUMMARY

Today's environment and conditions for the implementation of renewable energy projects in BiH are certainly much more favorable than those a few years ago. The legal provisions that determine the obligation to take over electricity from renewable energy sources at guaranteed tariffs certainly contribute to an increasing interest of both domestic and foreign investors for renewable energy projects on the one hand, and producers of equipment, designers and contractors on the other. The incentive purchasing prices of electricity produced are also the main reason why newly built renewable sources in our environment merely connect as distributed sources to the power distribution grid. As the distributor is obliged to take over all the energy produced from renewable sources according to the legal regulations in force, it is necessary for the development of the distribution network to determine more precisely the influence of distributed sources on electrical network conditions in order to deliver electricity of satisfactory quality to consumers the losses of electricity are reduced to a minimum.

The increase in penetration levels of photovoltaic systems in the distribution network entails even greater changes in power flows and makes it difficult to maintain the voltage levels within the prescribed limits, which, together with the seasonal and daily variability of the load and electricity production from photovoltaic systems, further complicates the distribution network drive.

The aim of this paper is to confirm or correct the current practice of using solar energy in the domestic specifics, through the analysis of relevant parameters on the example of the existing photovoltaic power plant "Emy" 30 kWp, connected to the power distribution low voltage network in the area of Zepce, as well as from the perspective of distribution companies.

Key words: renewable energy sources, solar power plant, power distribution low voltage network, distributed generation

UVOD

Pad cijena opreme distribuiranih sistema, poticajne državne subvencije i povoljne otkupne cijene za proizvedenu električnu energiju doveli su u proteklom periodu do masovnije instalacije distribuiranih sistema različitih snaga. Pritom se nije vodilo računa o adekvatnom planiranju i usklađivanju takvih projekata sa stanjem i mogućnostima energetske infrastrukture.

Tokovi snaga u distributivnim mrežama bez distribuiranih izvora energije su jednosmjerni, odnosno teku u jednom smjeru i to od mjesta preuzimanja električne energije pa do potrošača. Priključenjem nekog distribuiranog izvora energije, dolazi do promjene smjerova tokova snaga, distributivni vodovi postaju dvostrano napajani, a distributivna mreža nije više pasivna već postaje aktivna (*Vahl, Ruther, Filho (1)*).

S obzirom na raspoloživ solarni potencijal širom svijeta, kao i na kontinuirano smanjivanje cijena komponenti solarnih elektrana kao posljedice razvoja tehnologije proizvodnje fotonaponskih ćelija i ekspanzije tržišta, zaključuje se da je sasvim opravdana pojava sve većeg broja fotonaponskih sistema priključenih na elektroenergetsku distributivnu mrežu.

Kod solarnih elektrana povezanih na distributivnu mrežu, istosmjerna struja dobijena u fotonaponskim modulima se pretvara u naizmjeničnu struju pomoću invertora koji je povezan na mrežu tako da se, osim napajanja potrošača, vrši i razmjena električne energije sa mrežom (*Masters (2)*).

Projektovanje solarnih elektrana se najčešće vrši na osnovu njihove godišnje proizvedene energije, koja je također dobar parametar za praćenje dugoročnih karakteristika fotonaponskog sistema.

Za predviđanje godišnje proizvedene energije solarne elektrane neophodni su pouzdani modeli i metode s obzirom na stohastičku prirodu solarnog zračenja i na veliki broj uticajnih faktora (ambijentalni uslovi i performanse sistema) (*King, Boyson, Kratochvil (3)*). U literaturi su dati modeli za predviđanje snage i energije solarnog zračenja po jedinici površine (iradijacije i insolacije) (*Ahmat, Tiawari (4)*), kao i statističko modelovanje električne energije proizvedene fotonaponskim sistemom (*Perpinan, Lorenzo, Castro (5)*).

Uticaj distribuiranih izvora na distributivnu mrežu stoga može biti pozitivan, ali i negativan. Najčešće se posmatra utecaj distribuiranih izvora na gubitke, naponske prilike i kvalitet električne energije.

Da li će novopriključeni izvor imati pozitivan ili negativan uticaj na naponske prilike u mreži zavisi od više faktora: mjesta priključka izvora, snage priključenog izvora, konfiguracije mreže, dnevnih dijagrama opterećenja mreže, itd. U (*Li, Yi, Zhang, Sun, Xu (6)*) je ustanovljeno da priključenje solarne elektrane u radijalnu mrežu ima najveći uticaj na naponske prilike ako se priključi na sami kraj radijalnog voda, vodeći računa o naponskim ograničenjima.

U cilju eliminisanja eventualnih negativnih uticaja koji se mogu javiti usljed pogona distribuiranog generatora u elektroenergetskoj distributivnoj mreži, potrebno je vršiti kontrolu parametara kvalitete proizvedene električne energije iz distribuiranog generatora u skladu sa normom EN 50160.

U ovom radu izvršit ćemo analizu relevantnih parametara na primjeru dosadašnjeg pogona fotonaponske elektrane „Emy“ 30 kWp, priključene na elektroenergetsku distributivnu niskonaponsku mrežu na području Opštine Žepče, BiH.

TEHNIČKI OPIS FOTONAPONSKE ELEKTRANE „EMY“ 30 kWp

Opšti podaci

- Naziv proizvodnog objekta: FOTONAPONSKA ELEKTRANA „EMY“
- Investitor : „EMY“ d.o.o. ZENICA
- Lokacija proizvodnog objekta: Mračaj- Begov Han- Opština Žepče
- Geografska širina, geografska dužina: 44⁰ 20' 28", 18⁰ 0' 26"
- Nadmorska visina: 339 m.
- Priključna snaga proizvodnog objekta: 30 kWp
- Planirana godišnja proizvodnja električne energije : 27,8 MWh
- Vrsta generatora: fotonaponski s invertorima
- Ukupan broj fotonaponskih (FN) panela: 130 (kom) jedinične snage 250 Wp

- Ukupan broj invertora : 2
- Način priključenja: na pripadajuću NN elektrodistributivnu mrežu TP Rijeka 2

Konfiguracija fotonaponskog sistema

Sistem se sastoji od 2 solarna polja montiranih na južnoj strani dvovodnog krova stambeno-poslovnog objekta u naselju Mračaj-Begov Han, Opština Žepče. Solarna polja čine po tri stringa sa po 2x22 i 1x21 panel, ukupne snage 32,5 kW, gdje su prva dva stringa (2x22 panela) spojeni na ulaze A1 i A2 invertora, a treći (1x21) na ulaz B invertora. Svaki string spojen je preko zajedničkog razdjelnog DC ormara na invertore. Razdjelni DC ormar, invertori i GRO FNE montirani su u unutrašnjem prizemnom dijelu objekta. AC strane invertora povezane su kablovima NY-Y-J 5x6 mm², položenim u zajednički kablovski kanal, sa GRO FNE, odakle se kablom NY-Y-0 4x25 mm² ostvaruje veza sa distributivnim mjernim ormarom smještenim na zidu s vanjske strane objekta.



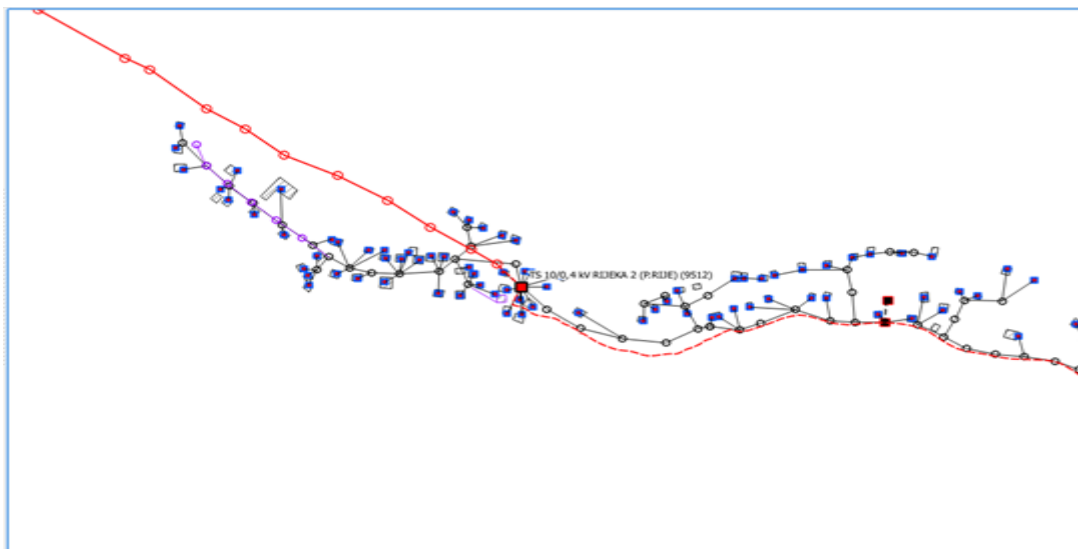
Slika 1- Fotografija FNE „Emy“ 30 kWp

Paneli su postavljeni u *portrait* poziciju (slika 1), okrenuti ka južnoj strani svijeta, pod nagibom paralelnim sa nagibom krova (32° i 18°), na namjenski izvedenu konstrukciju. Za postavljanje panela je korištena adekvatna aluminijumska konstrukcija, uz pomoć koje se postižu potrebni uslovi za postavljanje fotonaponskih panela, kako bi se dobilo maksimalno iskorišćenje zračenja sunca.

Za električno povezivanje fotonaponskih panela korišten je solarni bezhalogeni provodnik u crnoj i crvenoj boji presjeka 6mm². Električna konekcija između panela je ostvarena upotrebom MC4 konektora i T razdjelnika. Metalni dijelovi konstrukcije i panela su galvanski povezani sa temeljnim uzemljivačem stambeno-poslovnog objekta. Razdjelni ormarići i invertori opremljeni su DC i AC odvodnicima prenapona i uzemljivačkim sabirnicama.

Fotonaponska elektrana „Emy“ priključena je na kraju odvoda 2 u niskonaponskoj mreži TS 10(20)/0,4 kV, 100 kVA Rijeka 2. Kompletna niskonaponska mreža izvedena je nadzemno samonosivim kablovima. Udaljenost FNE od TS je 900 m. U ovoj niskonaponskoj mreži priključeno je 62 kupca električne energije iz kategorije „Domaćinstva“ i 1 kupac iz kategorije „Ostala potrošnja do 23 kW“.

Situacija niskonaponske mreže TS Rijeka 2 sa priključenom FNE „Emy“ prikazana je na slici 2.

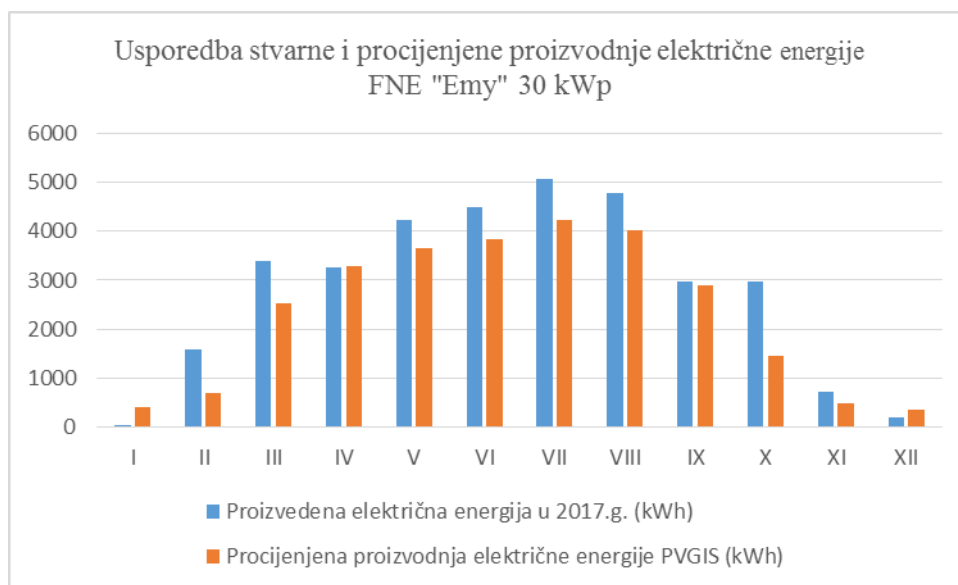


Slika 2- Situacioni prikaz niskonaponske mreže TS Rijeka 2 10(20)/0,4 kV, 100 kVA sa priključenom FNE „Emy“ 30 kWp

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE „EMY“ 30 kWp U 2017. GODINI

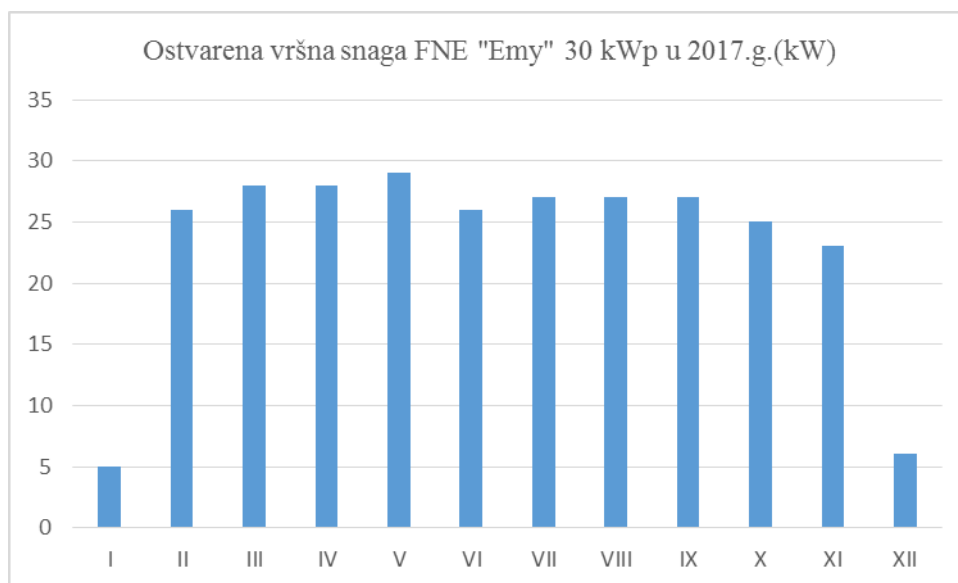
U toku 2017. godine ukupno proizvedena električna energija FNE „Emy“ iznosila je 33713 kWh, dok je na ovom lokalitetu za datu snagu procijenjena proizvodnja električne energije u programu PVGIS iznosila 27800 kWh.

Na slici 3 je predstavljen histogram proizvedene električne energije u 2017.g i procijenjene proizvodnje električne energije u programu PVGIS (7).



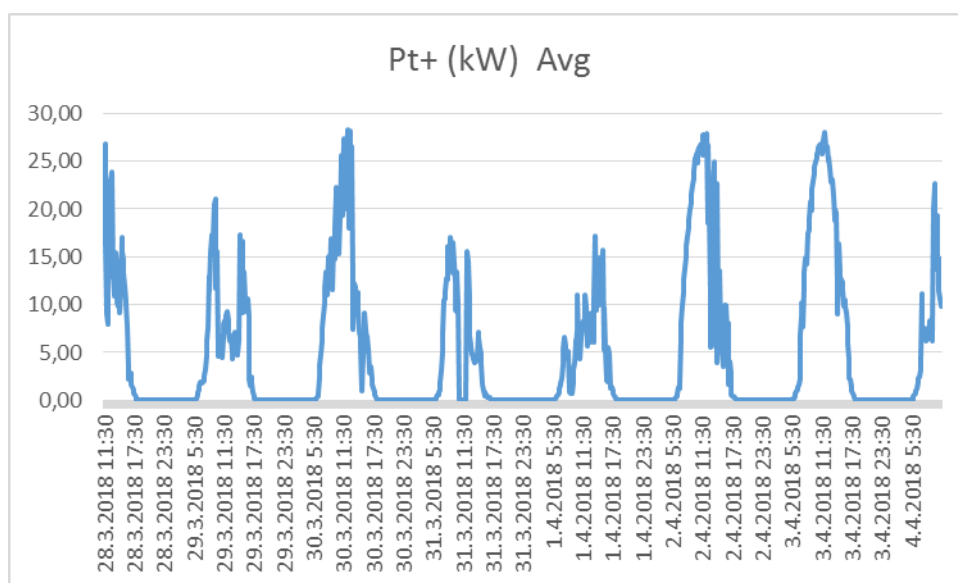
Slika 3- Ostvarena i procijenjena proizvodnja električne energije FNE „Emy“ 30 kWp

Ostvarene mjesečne vršne snage ovog proizvodnog objekta prikazane su histogramom na slici 4.



Slika 4- Ostvarena mjesečna vršna proizvodna snaga FNE „Emy“ 30 kWp u 2017.g.

Dijagram proizvodnje električne energije dobijen mjerenjem mjernim instrumentom MI 2892 proizvodnje „METREL“ u sedmodnevnom periodu od 28.03.2018.g. u 11²⁰ sati do 04.04.2018.g. u 11²⁰ sati sa integracionim periodom mjerenja od 10 minuta prikazan je na slici 5.



Slika 5- Dijagram promjene proizvodne snage (kW) FNE "Emy" 30 kWp u periodu 28.03.- 04.04.2018.g.

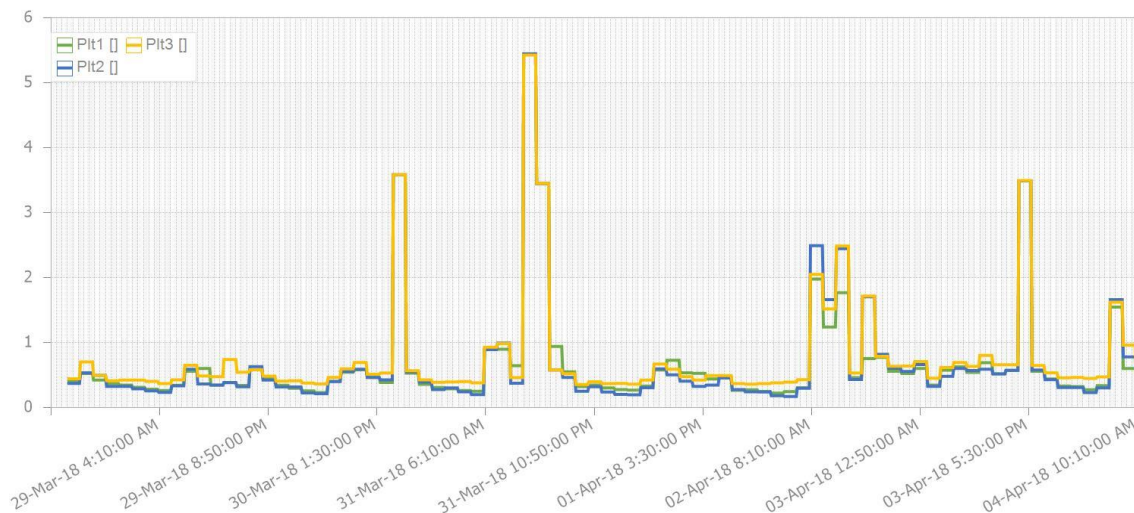
UTICAJ POGONA FOTONAPONSKE ELEKTRANE „EMY“ 30 kWp NA ELEKTROENERGETSKU DISTRIBUTIVNU MREŽU

Analiza uticaja pogona FNE „Emy“ 30 kWp provedena je prema rezultatima relevantnih veličina dobijenih mjerenjem prema normi EN 50160 mjernim instrumentom MI 2892 u sedmodnevnom periodu od 28.03.2018.g. u 11²⁰ sati do 04.04.2018.g. u 11²⁰ sati.

Prema normi EN 50160, 95% dugotrajnih flikera mora biti ispod vrijednosti 1. Prilikom mjerenja pojavu flikera karakteriziraju kratkotrajne vrijednosti P_{st} , koje se posmatraju u 10 minutnom intervalu, i dugotrajne P_{lt} kao 12 usrednjenih vrijednosti kratkotrajnih flikera. Rezultati dobijeni mjerenjem za kriterij flikera prezentirani su u tabeli 1 i dijagramom na slici 6.

Tabela 1- Rezultati mjerenja dugotrajnih flikera prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Zahtjev EN 50160	Izmjereno	Status
Za 95% vremena $Plt < 1$	0.17 – 2.49	Ne zadovoljava



Slika 6- Dijagram promjene dugotrajnih flikera FNE "Emy" 30 kWp u periodu 28.03.- 04.04.2018.g.

Iako su izmjerene vrijednosti flikera iznad graničnih prema EN 50160, detaljnom analizom je utvrđeno da su iste uzrokovane u intervalima prekida u napajanju električnom energijom sa strane distributera, te uvažavajući činjenicu da su u u ostalim intervalima iste u dozvoljenim granicama, zaključuje se da pogon predmetne FNE na mjestu priključenja nema negativan uticaj sa aspekta kriterija dozvoljenih flikera.

Prema normi EN 50160, ukupni sadržaj viših harmonika (THD) napona na mjestu priključenja, koji se izračunava uz uzimanje u obzir svih viših harmonika do 40. višeg harmonika, ne smije prelaziti vrijednost 8%. Rezultati dobijeni mjerenjem za kriterij viših harmonika prezentirani su u tabeli 2.

Tabela 2- Rezultati mjerenja ukupnog harmonijskog izobličenja napona prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Zahtjev EN 50160	Mjereno L1 THD (%)	Mjereno L2 THD (%)	Mjereno L3 THD (%)
Za 95% vremena THD < 8%	3,08	3,32	3,18

Također, dobijeni rezultati i za sve pojedinačne parne i neparne harmonike do 40. reda pokazuju da su značajno niži od dozvoljenih prema EN 50160, tako da FNE „Emy“ zadovoljava kriterij dozvoljenih viših harmonika na mjestu priključenja na elketrodistributivnu mrežu.

Rezultati dobijeni mjerenjem frekvencije prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3- Rezultati mjerenja frekvencije prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Zahtjev EN 50160	Izmjereno	Status
49,50 – 50,50 Hz 99,50 % vremena	49,92 – 50,08 Hz	Zadovoljava
47,00 – 52,00 Hz 100,00 % vremena	49,90 – 51,42 Hz	Zadovoljava

Rezultati dobijeni mjerenjem varijacija faznih napona prikazani su u tabeli 4 i dijagramom na slici 7.

Tabela 4- Rezultati mjerenja faznih napona prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Zahtjev EN 50160	Izmjereno	Status
207,00 – 253,00 V 99,00 % vremena	202.66 – 259.85 V	Ne zadovoljava
195,50 – 253,00 V 100,00 % vremena	0.00 – 259.95 V	Ne zadovoljava



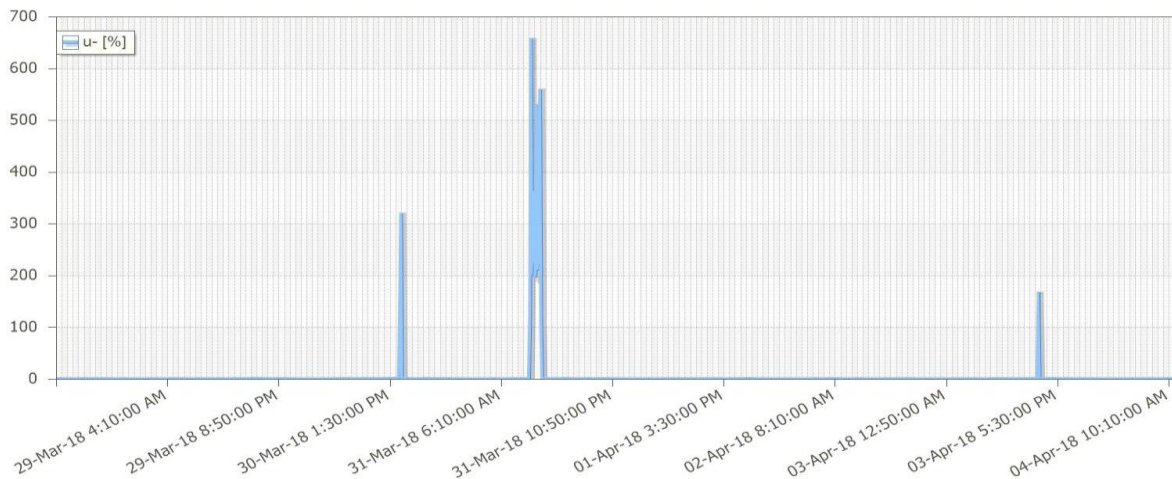
Slika 7- Dijagram promjene faznih napona FNE "Emy" 30 kWp u periodu 28.03.- 04.04.2018.g.

Kao i kod kriterija flikera, izmjerene vrijednosti varijacije napona ne zadovoljavaju normu EN 50160, ali je detaljnom analizom utvrđeno da su iste također uzrokovane u intervalima prekida u napajanju električnom energijom sa strane distributera, te uvažavajući činjenicu da su u u ostalim intervalima izmjerene vrijednosti napona u dozvoljenim granicama, zaključuje se da pogon predmetne FNE na mjestu priključenja nema negativan uticaj sa aspekta kriterija dozvoljenih varijacija napona.

Prema normi EN 50160 nesimetrija napona definiše stanje u trofaznoj mreži kada fazni ugao između susjednih faza ili pak efektivne vrijednosti napona prema zemlji nisu jednaki pa je nesimetričnost definisana na slijedeći način: Pri normalnim pogonskim uslovima rada sve 10 minutne usrednjene efektivne vrijednosti inverzne komponente napona ne smiju kod 95% srednjih vrijednosti svakog sedmičnog intervala prelaziti 2% odgovarajuće direktne komponente. Rezultati dobijeni mjerenjem nesimetrije napona prikazani su u tabeli 5 i dijagramom na slici 8.

Tabela 5- Rezultati mjerenja nesimetrije napona prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Granične vrijednosti	Izmjereno	Status
u- < 2,00 % 95,00 % interval (sedmica)	0.04 – 0.68 %	Zadovoljava



Slika 8- Dijagram promjene naponske nesimetrije na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp u periodu 28.03.-04.04.2018.g.

Propad napona je naglo, nepredviđeno, kratkotrajno (od 10 ms do 1 min) smanjenje napona napajanja na neku od vrijednosti manju od 90% nazivnog napona, nakon čega se ponovno uspostavlja prvobitna vrijednost napona (nazivni napon). Dozvoljeni orijentacioni broj propada napona tokom jedne godine može se kretati u opsegu od 10 do 1000, te da ih je većina trajanja kraća od 1 sekunde.

Rezultati dobijeni mjerenjem propada napona prikazani su u tabeli 6.

Tabela 6- Rezultati mjerenja propada napona prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Napon propada (% od nominalnog)	Trajanje (ms)				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\ 000$	$1\ 000 < t \leq 5\ 000$	$5\ 000 < t \leq 60\ 000$
$90 > U \geq 80$	2	0	0	0	0
$80 > U \geq 70$	2	0	1	0	0
$70 > U \geq 40$	1	0	0	0	0
$40 > U \geq 5$	0	0	0	0	0
$U < 5$	0	0	0	0	0

Pod prekidom napajanja podrazumijeva se stanje pri kojem je napon napajanja na mjestu primopredaje manji od 5% nazivnog napona. Razlikuju se planirani i neplanirani prekidi, kao i kratkotrajni i dugotrajni prekidi. Trajanje oko 70% kratkih prekida (do 3 min) napajanja godišnje mora biti kraće od 1 sekunde. Za duge prekide napona napajanja (duže od 3 min) odgovorni su većinom vanjski događaji, Preporučuje se da se toleriše 10 do 50 prekida napajanja godišnje dužih od 3 min. Rezultati dobijeni mjerenjem prekida napajanja prikazani su u tabeli 7.

Tabela 7- Rezultati mjerenja prekida napajanja prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Napon prekida (% od nominalnog)	Trajanje (s)	
	$t \leq 2.00\ s$	$t > 2.00\ s$
$U < 5.00$	0	7

Prenaponi se po standardu klasificiraju po visini i vremenu trajanja a standardom EN 50160 nije određen granični broj prenapona tokom određenog perioda te su izmjerene vrijednosti u tabeli 8 date informativno.

Tabela 8- Rezultati mjerenja prenapona prema normi EN 50160 na mjestu priključenja FNE „Emy“ 30 kWp

Prenapon (% od nominalnog)	Trajanje (ms)		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5\ 000$	$5\ 000 < t \leq 60\ 000$
$120 > U > 110$	733	68	19
$U \geq 120$	0	0	0

ZAKLJUČAK

Dosadašnji pogon opisane FNE „Emy“ može se okarakterisati sljedećim činjenicama:

- U dosadašnjem periodu ostvaren je puni neprekidni pogon FNE bez ikakvih kvarova.
- Iz podataka o proizvedenoj električnoj energiji vidljivo je da se u ulaznim kalkulacijama dosta precizno može izvršiti procjena proizvodnje električne energije u programu PVGIS. Ostvarena godišnja proizvodnja električne energije je u ovom slučaju veća u odnosu na procijenjenu u programskom paketu PVGIS.
- Troškovi održavanja fotonaponske elektrane su minimalni i svodili su se na čišćenje fotonaponskih panela, vizuelne preglede i povremena mjerenja relevantnih parametara
- Iako su zabilježene i povremene jače vremenske nepogode (jak vjetar, krupan grad, pljuskovi), niti u jednom slučaju nije bilo fizičkih oštećenja predmetnih fotonaponskih panela.

Iz izvršenih rezultata mjerenja, može se konstatovati da mjesto priključenja predmetne fotonaponske elektrane, kao i njena instalisana snaga u dosadašnjem radu nemaju negativan uticaj na pripadajuću niskonaponsku elektroenergetske distributivnu mrežu.

Potrošnja električne energije na mjestu priključenja je dovoljna da se sva proizvedena električna energija troši na tom mjestu priključenja, tako da nema tokova snaga koji bi negativno uticali na distributivnu mrežu. Zbog toga su promjene u mreži male u odnosu na stacionarno stanje bez priključene fotonaponske elektrane .

Na osnovu iznesenih pokazatelja može se zaključiti da se radi o isplativoj investiciji koja prije svega predstavlja sigurnu investiciju sa traženim proizvodom, sigurnim kupcem i osiguranom cijenom na duži period.

Shodno navedenom, predmetna investicija dugoročno predstavlja i jedan pouzdan i respektabilan izvor finansiranja, ali i doprinos energetske efikasnosti i zaštiti okoline.

LITERATURA

1. F. P. Vahl, R. Ruther, N. C. Filho, 2013, The influence of distributed generation penetration levels on energy markets, Energy Policy 62, pp. 226-235
2. Gilbert M. Masters, 2013, Renewable and Efficient Electric Power Systems, 2nd Edition, Wiley-IEEE Press
3. D. L. King, W. E. Boyson, J. A. Kratochvil, 2002, "Analysis of Factors Influencing the Annual Energy Production of Photovoltaics Systems", Photovoltaic Specialists Conference,
4. M. J. Ahmat, G. N. Tiawari, 2010, "Solar radiation models – review", International Journal of Energy and Environment, Volume 1, Issue 3, pp. 513-532.
5. O. Perpignan, E. Lorenzo, M. A. Castro, 2007, "On the calculation of energy produced by PV grid-connected system", Progress in Photovoltaics Research and Applications, Volume: 15, Issue: 3, Publisher: Wiley Online Library, Pages: 265-274.
6. L. Li, Z. Yi, T. Zhang, W. Sun, A. Xu, 2012, "Study on influence of inserted photovoltaic power station to voltage distributing of distribution network," IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), Tianjin.
7. [www.// re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/appsh](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/appsh)