

Doc.dr.sc. Ivan Ramljak, dipl.ing.el.
J.P "Elektroprivreda HZHB" d.d. Mostar / Fakultet
Strojarstva, Računarstva i Elektrotehnike, Mostar
ivan.ramljak@ephzhh.ba

Doc.dr.sc. Drago Bago, dipl.ing.el.
J.P "Elektroprivreda HZHB" d.d. Mostar / Fakultet
Strojarstva, Računarstva i Elektrotehnike, Mostar
drago.bago@ephzhh.ba

Marin Bakula, dipl.ing.el.
J.P "Elektroprivreda HZHB" d.d. Mostar
marin.bakula@ephzhh.ba

UTJECAJ FNE 1 MW_P PRIKLJUČENE NA SN MREŽU NA SPORE PROMJENE NAPONA I FLIKERE U PRIMOPREDAJNOJ TOČCI – STUDIJA SLUČAJA

SAŽETAK

U radu je analizirano mjerenje utjecaja fotonaponske elektrane velike snage na srednjenaponsku distributivnu mrežu nazivnog napona 10 kV. Mjerenje je izvršeno u priključnoj, primopredajnoj točki između elektrane i distributivne mreže prema EN 50160:2011. Zbog obima rezultata mjerenja, u ovom se radu analiziraju dva parametra kvalitete napona, spore promjene napona i flikeri (najzanimljiviji rezultati ovog mjerenja). Analiza i usporedba se izvodi za primopredajnu točku, za stanje prije i nakon priključenja elektrane. Sama mjerenja su nužna da se vidi potencijalno negativno povratno djelovanje elektrane na mrežu. Temeljem detaljne analize rezultata opisanih u radu pokazuje se da nema negativnog povratnog djelovanja predmetne elektrane na mrežu. Specifičnost rada je i ta da je analizirana elektrana velike snage i priključena je na srednjenaponsku mrežu gdje se i vrši mjerenje. Predmetna elektrana je tek druga po redu priključena na SN mrežu u FBiH.

Ključne riječi: FNE, kvaliteta električne energije, spore promjene napona, flikeri, SN mreža

INFLUENCE OF PV PLANT 1 MW_P CONNECTED ON MV DISTRIBUTION GRID ON SLOW VOLTAGE VARIATIONS AND FLICKERS IN PCC – CASE STUDY

SUMMARY

In this paper is analyzed measured influence of PV plant with great power on MV grid rated voltage 10 kV. Measurement is performed in PCC point according to EN 50160:2011. Due to volume of measurement results, in this paper are analyzed the most interesting results: slow voltage variations and flickers. Analysis and comparison of results is performed for PCC, before and after PV plant connection. Those measurements are necessity so that potentially negative influence of PV plant on distribution grid can be seen. Based on detail analysis of results which are presented in this paper is shown that there is no negative influence of this PV plant on grid. Specificity of this paper is that analyzed PV plant is with great power and connected on MV grid, where measurement is performed. This PV plant is second one connected on MV grid in Federatin of BiH.

Key words: PVplant, power quality, slow voltage variations, flickers, MV grid.

1. UVOD

Upliv distribuiranih izvora u distribucijsku mrežu (DM) je promijenio dotadašnji koncept izričito pasivnih mreža. Mreže sa distribuiranim izvorima čine današnje DM aktivnim. To se odnosi na područje tokova snaga, zaštite, kvalitete električne energije i dr. Kvaliteta električne energije (kvaliteta napona) je bitan parametar u DM, a posebno danas kod sve većeg upliva distribuiranih izvora. Distribuirani izvori mogu utjecati na kvalitetu napona u priključnoj točki, bilo pozitivno, bilo negativno [1]. Zbog toga se mora vršiti provjera kvalitete napona u primopredajnoj točki između distributera i vlasnika obnovljivog izvora energije. Mjerenje je potrebno vršiti prije i nakon priključenja distribuiranog izvora. Usporedba rezultata ta dva mjerenja daje odgovor na pitanje o utjecaju distribuiranog izvora na parametre kvalitete napona [2].

Mjerenje kvalitete napona definira norma EN 50160:2011 koja opisuje bitne značajke razdjelnog napona na mjestu predaje potrošaču u javnim niskonaponskim (NN) i srednjenaponskim (SN) električnim mrežama pri normalnim pogonskim uvjetima. Svrha je ove norme utvrditi i opisati obilježja razdjelnog napona glede: frekvencije, veličine, oblika krivulje i simetrije triju napona faznih vodiča.

Tehnički parametri kvalitete električne energije (KEE), u ovom slučaju napona, koji se mogu prema potrebama promatrati su između ostalog: frekvencija, promjene napona, treperenje napona, propadi napona, kratkotrajni prekidi napona, duži prekidi napona, nesimetrija napona i naponi viših harmonika.

Izdavač norme je udruženje CENELEC (engl. European Committee for Electrotechnical Standardization, sjedište je u Bruxelles-u) a službeno je u upotrebi od 1995. godine.

Preporuka EN 50160:2011 daje kvantitativne odlike kvalitete napona u slučaju normalnog pogonskog stanja. Svrha joj je, dakle, opisati i utvrditi obilježja distributivnog napona, pri čemu se ne opisuju prosječne vrijednosti promatranih parametara, već se definiraju najveća odstupanja pojedinih parametara, koja se mogu očekivati u DM.

Trajanje mjerenja KEE je određeno EN 50160:2011 i iznosi tjedan dana, bez prestanka. Mjerni i vrijednosni parametri norme su dani u tablici I.

Ova norma ne vrijedi između ostaloga kod kvarova, iznimnih vremenskih (ne)prilika, više sile i sl.

Norma se može u cijelosti ili djelomično nadomjestiti ugovorom (dogovorom) između pojedinog potrošača i isporučitelja električne energije.

Mjerenje prema ovoj normi se vrši na mjestu primopredaje električne energije između distributera i potrošača, tzv. primopredajnoj točki (engl. PCC - Point of Common Coupling).

U tablici I prikazane su granične vrijednosti parametara kvalitete napona prema EN 50160:2011 u SN mrežama (referentno izdanje za ovaj rad).

Tablica I. Granične vrijednosti parametara kvalitete opskrbnog napona u SN mrežama prema EN 50160:2011

Parametar	Granične vrijednosti	Mjerni i vrijednosni parametri			
		Osnovna veličina	Interval usrednjavanja	Promatrano razdoblje	Granice (%)
Frekvencija	50 Hz $\pm$ 1% 50 Hz +4%/-6%	Prosječna vrijednost	10 s	1 godina	99,5 100
Spore promjene napona	Un $\pm$ 10% Un +10%/-15%	Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	99 100
Flikeri	Pst Plt < 1	Algoritam flikera	10 min 2 h	1 tjedan	95
Nesimetrija napona	<2 %	Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	95
Harmonici napona	THD $\leq$ 8%	Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	95

Međutim, postoje i ostali parametri kvalitete napona kao npr. naponski prekidi koji nisu strogo definirani u graničnim vrijednostima (nije egzaktno objašnjena njihova granična vrijednost), a opisani su u EN 50160:2011.

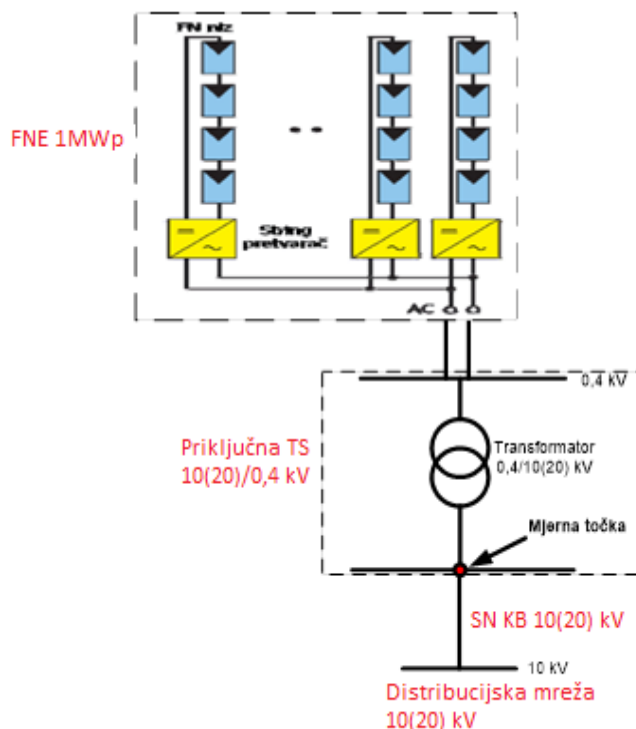
Načini mjerenja parametara KEE iz norme EN 50160:2011 su strogo definirani normom IEC 61000-4-x, gdje se opisuje način mjerenja pojedinih parametara KEE i dopuštene greške mjerenih parametara. Tako na primjer norma IEC 61000-4-15:2010 opisuje način mjerenja flikera, a IEC 61000-4-7:2002 opisuje mjerenje harmonika. IEC 61000-4-30:2015 opisuje dopuštene greške mjerenja i same instrumente za mjerenje.

Prema IEC 61000-4-30:208 postoje tri klase uređaja za mjerenje KEE s obzirom na greške pri mjerenju To su klasa A, klasa B i klasa S uređaja. Klasa A su uređaji koji su najstrožiji s obzirom na dopuštenu pogrešku mjerenja, tj. dopuštene su "male" pogreške koje su normom 61000-4-30 strogo definirane.

Znači, najviše performanse glede točnosti moraju zadovoljiti uređaji klase A i oni se koriste za laboratorijska ispitivanja i praktično su "etalon" ostalim klasama uređaja. Uređaji klase S služe za statistička i dijagnostička ispitivanja gdje je dopuštena "malo manja" točnost nego kod uređaja klase A.

2. MJERENJE KEE U PRIMOPREDAJNOJ TOČCI FNE I DM – STUDIJA SLUČAJA

Za mjernu točku mjerenja utjecaja predmetne FNE snage 1 MWp na SN DM nazivnog napona 10 kV odabrana je primopredajna točka razmjene električne energije, na 10 kV strani transformatora 10/0,4 kV (mjerno SN polje) preko kojeg je FNE povezana na SN DM (Slika 1). FNE se sastoji od 34 izmjenjivača pojedinačne radne snage 27 kW, a izračunata snaga trolnog kratkog spoja u priključnoj točki iznosi 25,46 MVA.



Slika 1. Shema FNE, priključnog mjernog mjesta i točke u kojoj se vrše mjerenja

Za mjerenje je korišten mrežni analizator koji vrši mjerenja sukladno IEC 61000-4-30 klase A.

Instrument je smješten u mjernom polju SN postrojenja, a priključen je na sekundare strujnih i naponskih mjernih transformatora (tzv. 5-amperско mjerenje). Način spajanja i smještaj instrumenta prikazan je na slici 2.



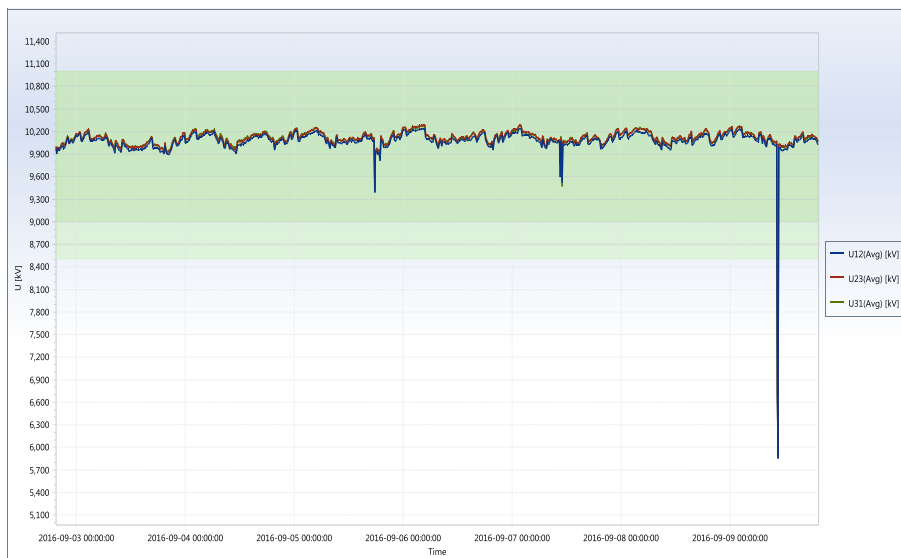
Slika 2. Prikaz mjerenja u SN postrojenju

2.1. Mjerenje KEE prije puštanja FNE u paralelni rad s DM

U nastavku su prikazani rezultati mjerenja kvalitete napona u primopredajnoj točki između FNE i DM, prije puštanja u paralelni pogon FNE s DM. Mjerenje je vršeno sukladno normi EN 50160:2011. Svrha mjerenja je ispitivanje parametara kvalitete napona (spore promjene napona i flikeri u ovom slučaju) DM u primopredajnoj točki prije puštanja FNE u pogon.

2.1.1. Spore promjene napona

Na slici 3 prikazane su vrijednosti linijskog napona za ukupno vrijeme mjerenja od sedam dana.



Slika 3. Dijagram napona za slučaj mjerenja KEE prije priključenja FNE

Napon je u svim periodama mjerenja, osim jednog, bio u granicama propisanim normom. Dakle, 95% svih desetominutnih srednjih efektivnih vrijednosti opskrbnog napona svakog tjednog intervala nalazi se unutar $\pm 10\%$ vrijednosti normiranoga nazivnog napona (U_n). Međutim, u preostalih 5% tjedna napon je varirao izvan pojasa $+10\%$ / -15% . Za mjerenje napona imamo kumulativnu tablicu II u kojoj su prikazane izmjerene vrijednosti prema EN 50160:2011 u razmatranom periodu.

Tablica II. Ocjena izmjerenih vrijednosti napona

Granične vrijednosti mjerenja		Izmjerene vrijednosti	Status
9.000,00 – 11.000,00 V	99% tjedna	5.854,69 – 10.273,22 V	ZADOVOLJAVA
8.500,00 – 11.000,00 V	100% tjedna	5.826,46 – 10.286,33 V	NE ZADOVOLJAVA

Na slici 3 se jasno vidi period mjerenja kada je napon bio izvan graničnih vrijednosti. Razlog tomu je nestanak (prekid) napajanja u tom periodu mjerenja (detalji u tablici III).

Tablica III. Registrirani nestanci napajanja prilikom mjerenja prije puštanja u pogon FNE

Tip događaja	Početak	Kraj	Duljina trajanja	Izmjerene vrijednosti	Jedinica	Faza
Prekid napajanja	9.9.2016 10:15	9.9.2016 10:26	00:11:03.826	0,00631	kV	L12
Prekid napajanja	9.9.2016 10:14	9.9.2016 10:26	00:11:20.581	0,01351	kV	L23
Prekid napajanja	9.9.2016 10:15	9.9.2016 10:26	00:11:03.822	0,00609	kV	L31

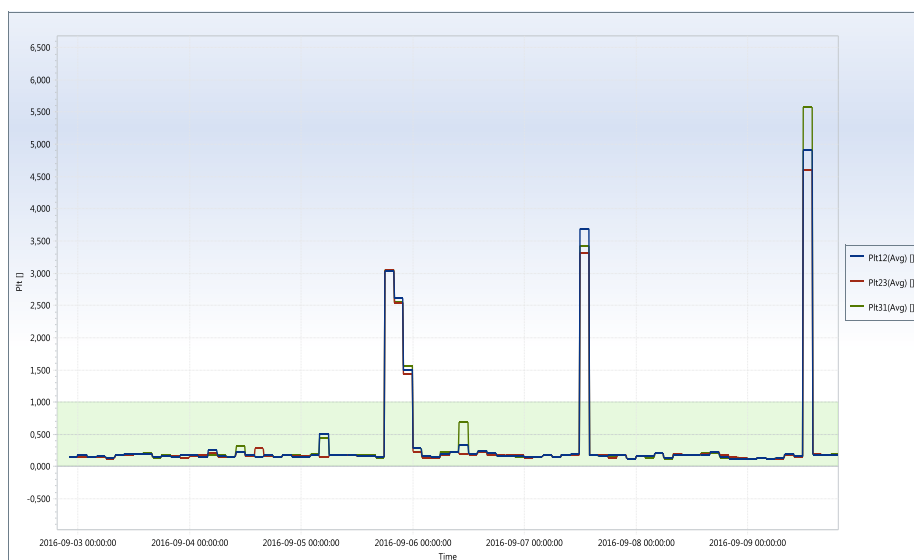
Kao što se vidi iz priloženih podataka, prekid napajanja zabilježen je 9.9.2016.god. u periodu 10:14 - 10:26 h koji je doveo do smanjenih vrijednosti napona u tom periodu mjerenja.

Dakle, prekid napajanja je doveo do smanjenja vrijednosti napona u jednom periodu, a poznato je da kod prekida napajanja ne vrijede granične vrijednosti mjerenja iz EN 50160:2011. Detalji o uzroku prekida napajanja bi morali biti registrirani u područnom dispečerskom centru (DC). Vjerojatno je u pitanju kvar u DM.

2.1.1. Flikeri

Mjeri se vrijednost samo kratkotrajne jakosti treperenja (Pst) tijekom vremenskog intervala od 10 minuta, dok se dugotrajna jakost treperenja (Plt) izračunava temeljem niza od 12 uzastopnih vrijednosti Pst. Prema normi granične vrijednosti dugotrajnih flikera moraju biti <1 tijekom 95% tjedna. Kratkotrajne jakosti treperenja (Pst) tijekom vremenskog intervala od 10 minuta nisu definirane normom.

Na slici 4 prikazan je dijagram dugotrajnih flikera za ukupno vrijeme mjerenja od sedam dana.



Slika 4. Dijagram flikera za period prije puštanja FNE u paralelni rad s DM

Za izmjerene vrijednosti flikera prema EN 50160:2011 ima se kumulativna tablica IV u kojoj je dana ocjena mjerenja sukladno normi EN 50160:2011.

Tablica IV. Ocjena izmjerenih vrijednosti flikera

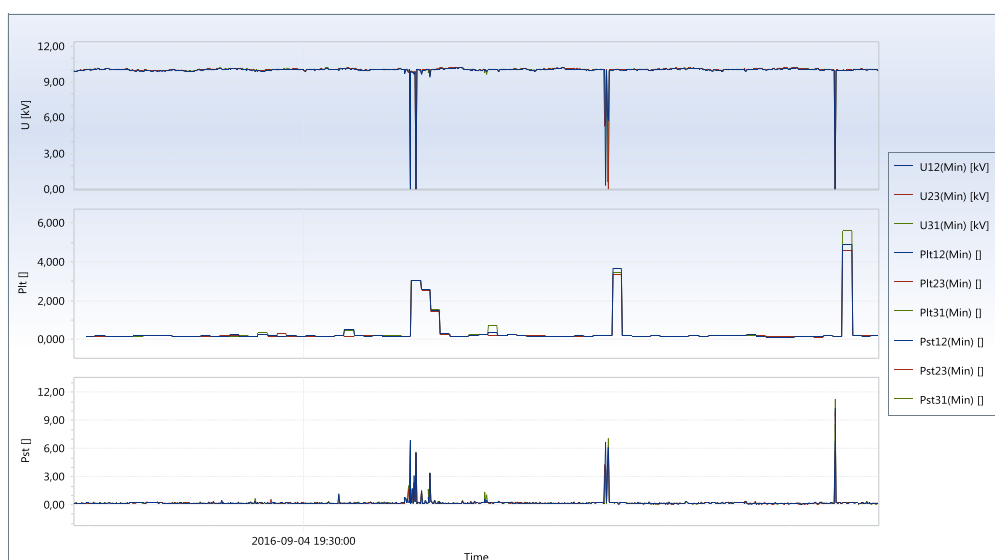
Granične vrijednosti mjerenja		Izmjerene vrijednosti	Status
$Plt < 1$	95% tjedna	0,11 – 1,57	NE ZADOVOLJAVA

Na slici 5 paralelno su prikazane srednje vrijednosti napona, dugotrajnih flikera i kratkotrajnih flikera. Vidljivo je da su flikeri (i kratkotrajni i dugotrajni) prisutni kada su vrijednosti napon blago snižene (ali u okvirima norme) i u slučaju kada je došlo do već opisanog dugotrajnog prekida napajanja.



Slika 5. Prikaz srednjih vrijednosti napona i flikera za period prije puštanja FNE u paralelni rad s DM

Slika 6 prikazuje minimalne vrijednosti napona, dugotrajnih flikera i kratkotrajnih flikera u 10/12 periodama. Ovdje je vidljivo da su flikeri (i kratkotrajni i dugotrajni) prisutni kada su minimalne vrijednosti napon praktično nula, tj. kada je u određenim intervalima mjerenja (10-minutnim) minimalna vrijednost napona određeno vrijeme bila nula – prekid napajanja.



Slika 6. Prikaz minimalnih vrijednosti napona i flikera prije puštanja FNE u paralelni rad s DM

Na osnovu gornjih slika zaključuje se da u onim 10-minutnim intervalima kada je dolazilo do prekida napajanja (minimalna vrijednost napona u tim 10-minutnim intervalima je nula), izražene su vrijednosti flikera iznad graničnih vrijednosti norme EN 50160:2011. Prekidi napajanja su svojstvo električne mreže, ne FNE koja uopće nije bila u pogonu (paralelnom radu sa DM).

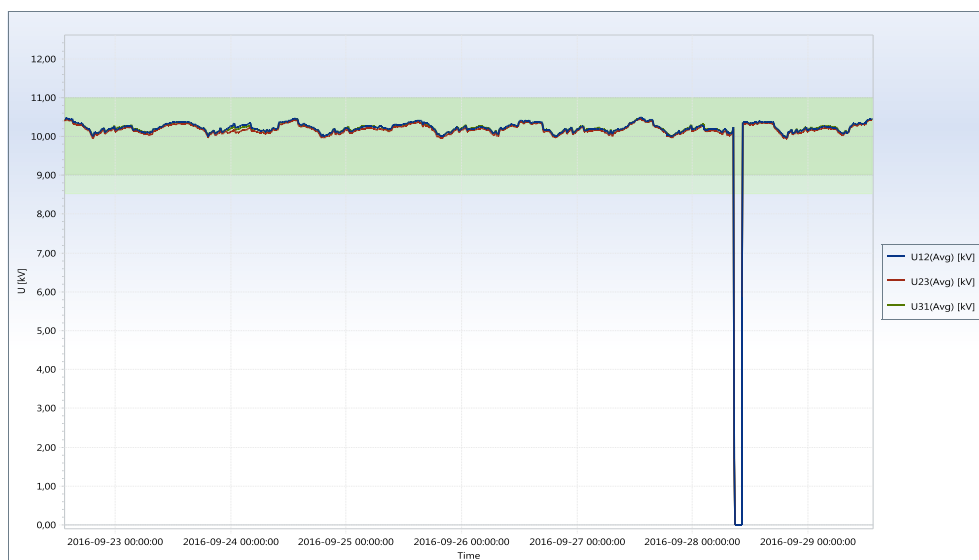
Osim kod slučajeva periodičnih kratkotrajnih prekida napajanja, nije bilo izraženih flikera. Uzrok prekida napajanja su vjerojatno prolazni kvarovi u SN DM.

2.2. Mjerenje KEE nakon puštanja FNE u paralelni rad s DM

U nastavku su prikazani rezultati mjerenja kvalitete napona u primopredajnoj točki između FNE i DM, nakon puštanja u paralelni pogon FNE s DM. Mjerenje je vršeno sukladno normi EN 50160:2011. Svrha mjerenja je ispitivanje parametara kvalitete napona (spore promjene napona i flikeri u ovom slučaju) DM u primopredajnoj točki nakon priključenja FNE, kako bi se provjerio utjecaj iste na parametre kvalitete napona u normalnom pogonu.

2.2.1. Spore promjene napona

Na slici 7 prikazane su vrijednosti linijskog napona za ukupno vrijeme mjerenja od sedam dana.



Slika 7. Dijagram napona za slučaj mjerenja KEE nakon priključenja FNE

Kao što je vidljivo, napon je u svim periodama mjerenja, osim jednog, bio u granicama propisanim normom. Dakle, 95% svih desetominutnih srednjih efektivnih vrijednosti opskrbnog napona svakog tjednog intervala nalazi se unutar $\pm 10\%$ vrijednosti normiranoga nazivnog napona (U_n). Međutim, u preostalih 5% tjedna napon je varirao izvan pojasa $+10\% / -15\%$. Za izmjerene vrijednosti napona imamo kumulativnu tablicu V u kojoj je dana ocjena mjerenja sukladno normi EN 50160:2011.

Tablica V. Ocjena izmjerenih vrijednosti napona nakon puštanja FNE u pogon

Granične vrijednosti mjerenja		Izmjerene vrijednosti	Status
9.000,00 – 11.000,00 V	99% tjedna	9.940,94 – 10.490,97 V	ZADOVOLJAVA
8.500,00 – 11.000,00 V	100% tjedna	0,00 – 10.490,97 V	NE ZADOVOLJAVA

Na slici 7 se jasno vidi određeni period kada je napon bio izvan graničnih vrijednosti. Razlog tome je nestanak (prekid) napajanja u primopredajnoj točki u tom periodu mjerenja, što je prikazano u tablici VI.

Tablica VI. Registrirani nestanci napajanja prilikom mjerenja nakon puštanja u pogon FNE

Tip događaja	Početak	Kraj	Duljina trajanja	Izmjerene vrijednosti	Jedinica	Faza
Prekid napajanja	28.9.2016 8:30:16,287	28.9.2016 10:16:44,058	01:46:27.770	0,00	kV	L1, L2, L3

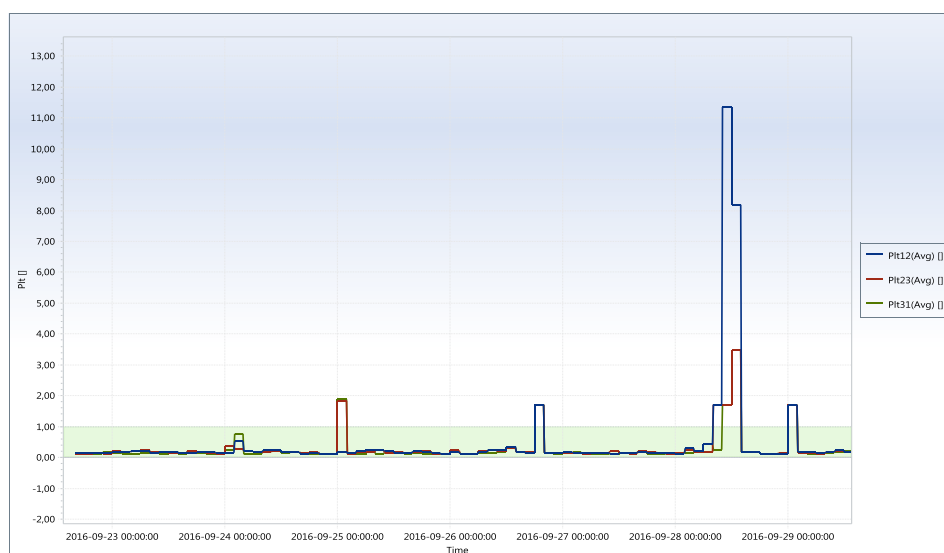
Vidi se da je prekid napajanja u periodu 8:30:16,287 h do 10:16:44,058 h doveo do smanjenih vrijednosti napona (prekid napajanja, beznaponska pauza).

Iz navedenog se može zaključiti da je prekid napajanja doveo do smanjenja vrijednosti napona u gotovo dvosatnom periodu mjerenja, a poznato je da kod prekida napajanja ne vrijede granične vrijednosti mjerenja iz EN 50160:2011. Detalji o uzroku prekida napajanja bi morali biti registrirani u područnom DC-u.

Može se zaključiti da je kriterij spore promjene napona zadovoljen prema EN 50160:2011.

2.2.2. Flikeri

Na slici 8 prikazan je dijagram dugotrajnih flikera za ukupno vrijeme mjerenja od sedam dana.



Slika 8. Dijagram flikera za period nakon puštanja FNE u paralelni rad s DM

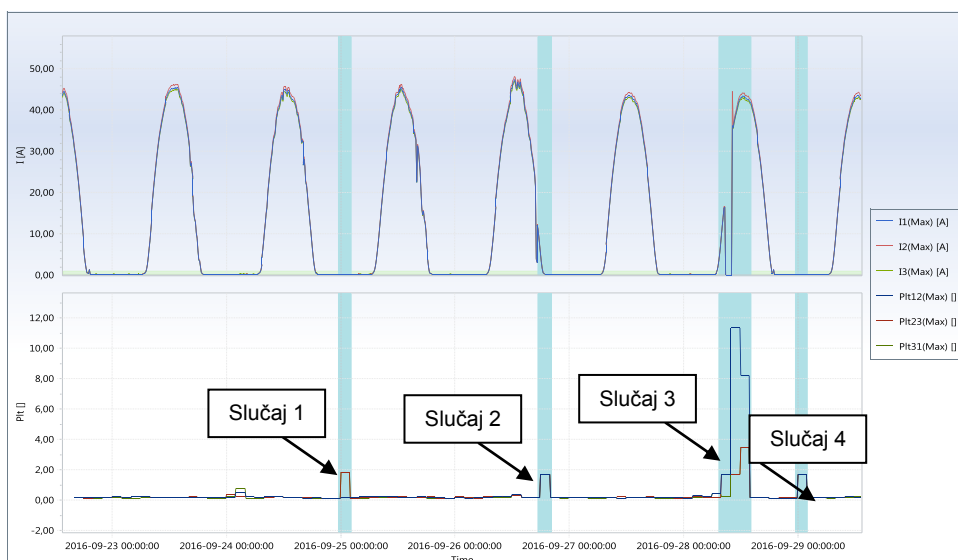
Za izmjerene vrijednosti dugotrajnih flikera prema EN 50160:2011 ima se kumulativna tablica VII u kojoj je dana ocjena mjerenja sukladno normi EN 50160:2011.

Tablica VII. Ocjena izmjerenih vrijednosti flikera u periodu 22.9-29.9.2016.god. prema EN 50160:2011

Granične vrijednosti mjerenja		Izmjerene vrijednosti	Status
Plt < 1	95% tjedna	0,10 – 1,70	NE ZADOVOLJAVA

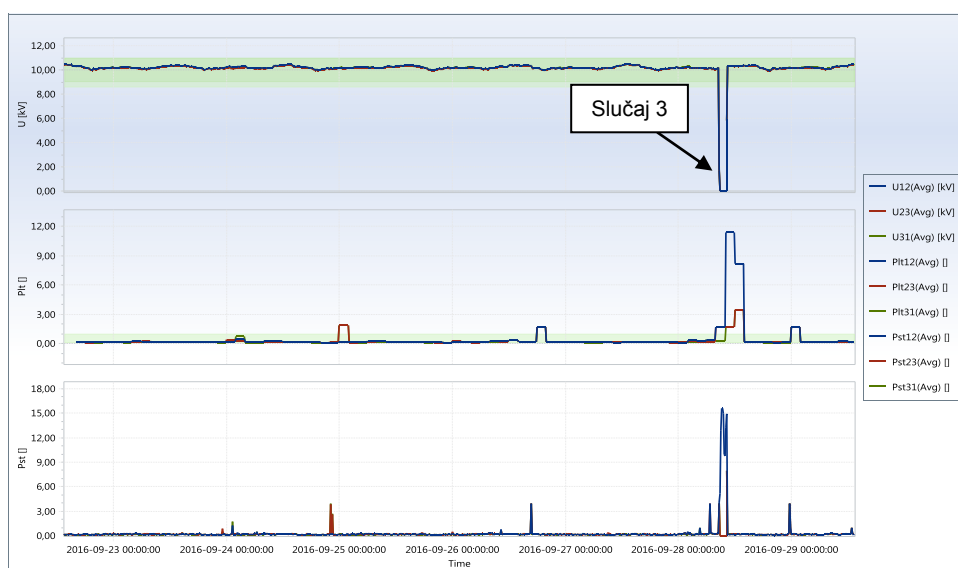
Da bi se objasnila pojava flikera kod paralelnog rada FNE i mreže potrebno je analizirati sljedeće pojave opisane u nastavku.

Na slici 9 paralelno su prikazane vrijednosti maksimalnog iznosa struje koju generira FNE i maksimalne vrijednosti dugotrajnih flikera. Vidljivo je da su flikeri (plavo obojena područja na slici) prisutni kada FNE nije radila ($I(A)=0$, u 1. i 4. slučaju) i u slučajevima kada je došlo do određenih smetnji u napajanju (prekida napajanja u 2. i 3. slučaju).



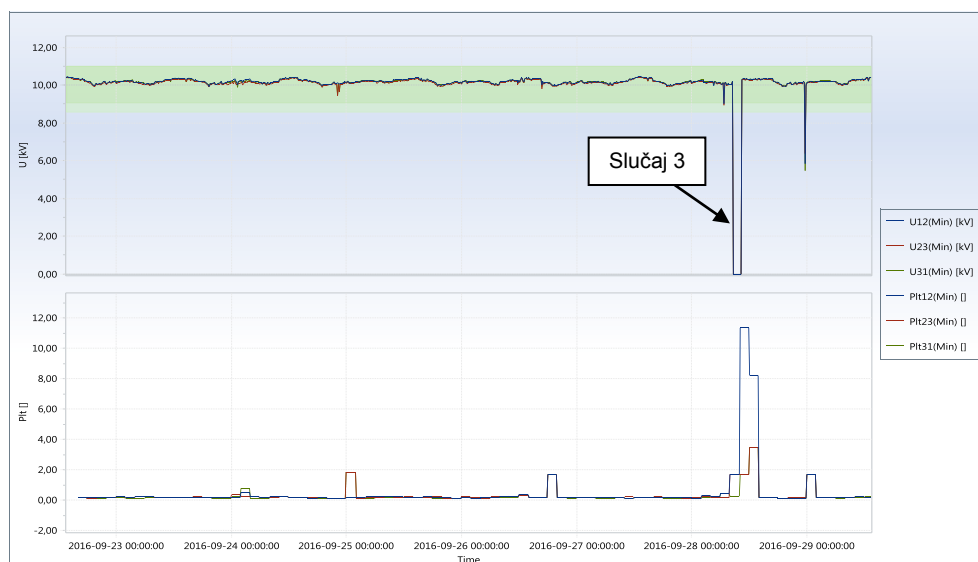
Slika 9. Maksimalne vrijednosti iznosa struje koju generira FNE i maksimalne vrijednosti dugotrajnih flikera

Na slici 10 paralelno su prikazane vrijednosti napona, dugotrajnih flikera i kratkotrajnih flikera. Vidljivo je da kada su flikeri (i kratkotrajni i dugotrajni) najizraženiji (u 3. slučaju), da je tada napon bio praktično nula, tj. tada je došlo do prekida napajanja.



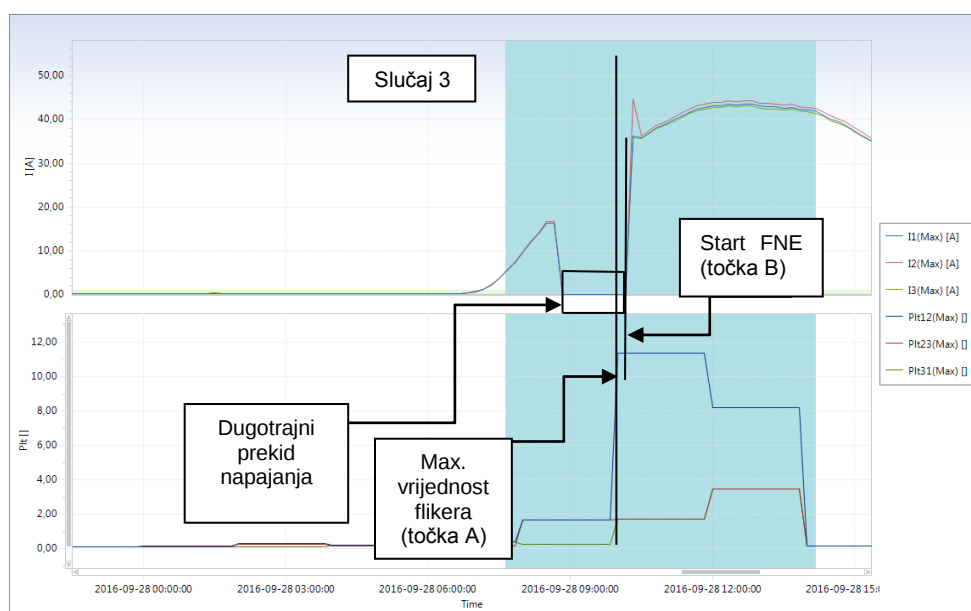
Slika 10. Srednje vrijednosti napona, dugotrajnih i kratkotrajnih flikera

Na slici 11 detaljnije je prikazan odnos minimalnih vrijednosti napona i dugotrajnih flikera gdje se detaljnije vidi da je dugotrajni prekid napajanja u 3. slučaju praćen pojavom povišenih vrijednosti dugotrajnih flikera.



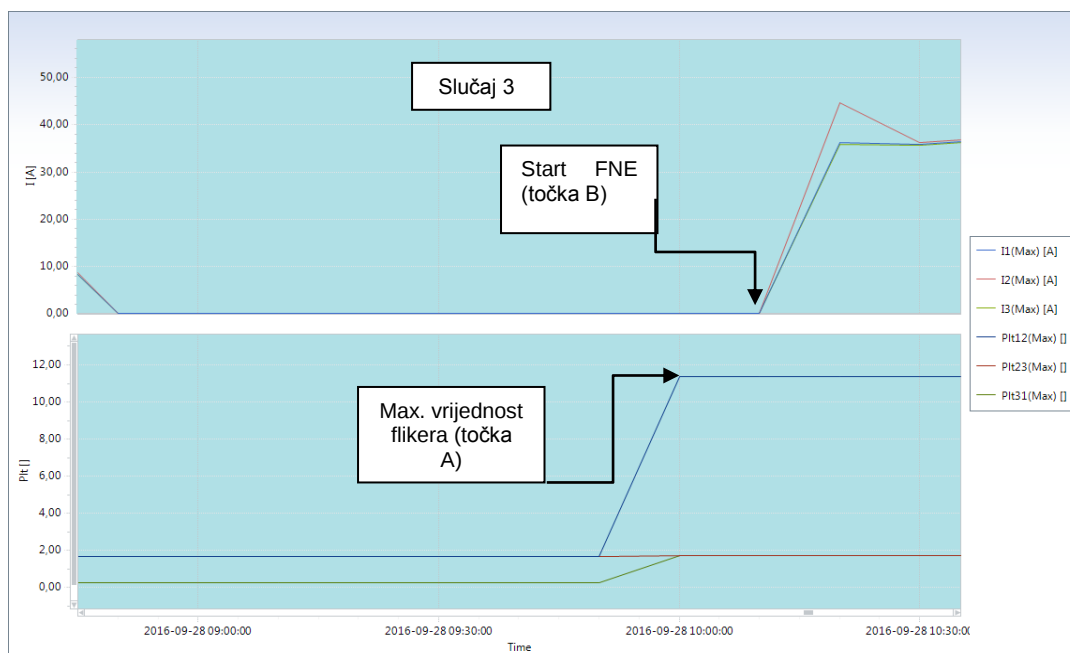
Slika 11. Odnos minimalnih vrijednosti napona i dugotrajnih flikera

Na slici 12 pobliže je analiziran tzv. 3. slučaj pojave flikera. Paralelno su prikazane vrijednosti struje koje generira FNE (maksimalne vrijednosti) i vrijednosti dugotrajnih flikera (maksimalne vrijednosti). Vidi se da je maksimalna vrijednost dugotrajnih flikera (točka A) "dosegnuta" prije starta FNE sa proizvodnjom (točka B). Tijekom dugotrajnog prekida napajanja, izvjesno vrijeme su bile također izražene visoke vrijednosti dugotrajnih flikera. Dakle, ne može se reći da je FNE uzrok pojave izraženih dugotrajnih flikera u ovom slučaju.



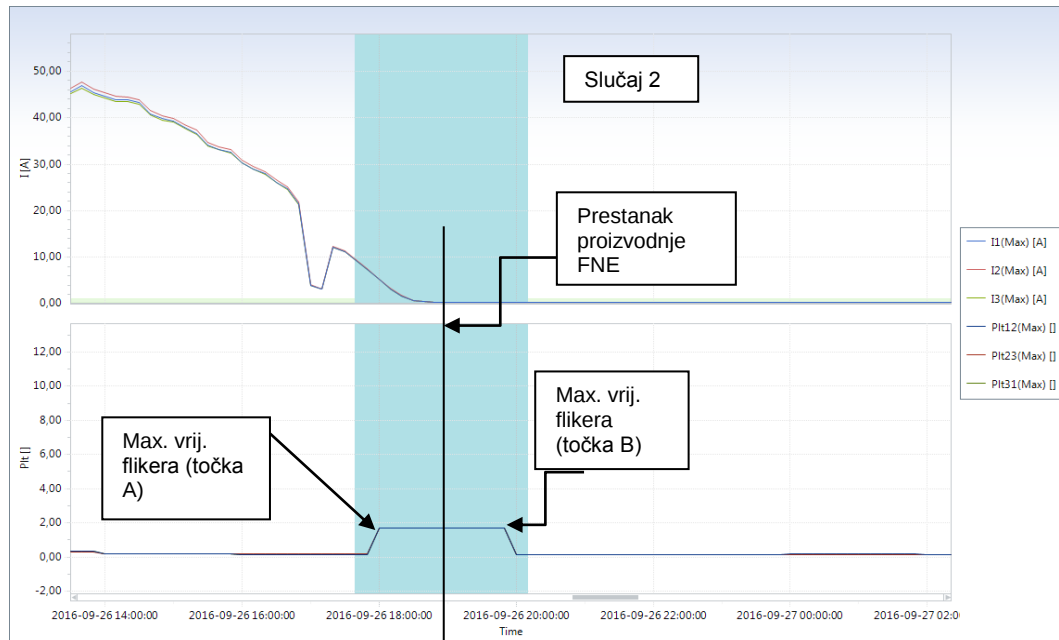
Slika 12. Slučaj br.3 pojave flikera

Na slici 13 još je detaljnije analiziran tzv. 3. slučaj pojave flikera. Paralelno su prikazane vrijednosti struje koje generira FNE (maksimalne vrijednosti) i vrijednosti dugotrajnih flikera (maksimalne vrijednosti). Detaljnijom analizom se može doći do prikaza kao na slici 13 gdje se jasno vidi da je maksimalna vrijednost dugotrajnih flikera (točka A) "dosegnuta" prije starta FNE sa proizvodnjom (točka B). Dakle, ne može se reći da je FNE uzrok pojave izraženih dugotrajnih flikera u ovom slučaju.



Slika 13. Detaljna analiza slučaja br.3 pojave flikera

Na slici 14 detaljno je analiziran tzv. 2. slučaj pojave flikera. Paralelno su prikazane vrijednosti struje koje generira FNE (maksimalne vrijednosti) i vrijednosti dugotrajnih flikera (maksimalne vrijednosti). Na slici 14 se jasno vidi da je maksimalna vrijednost dugotrajnih flikera (vrijednost između točaka A i B) prisutna i nakon prestanka rada (proizvodnje) FNE. Dakle, ne može se reći da je FNE uzrok pojave izraženih dugotrajnih flikera niti u ovom slučaju.



Slika 14. Slučaj br. 2 pojave flikera

Na osnovu cjelokupne analize flikera, može se zaključiti da je u periodu mjerenja nakon priključenja FNE na SN DM, kriterij flikera zadovoljen.

3. ZAKLJUČAK

Nakon provedenih mjerenja na primopredajnoj točki između FNE i DM po pitanju kvalitete napona prema EN 50160:2011 prije i nakon priključenja FNE na SN DM, može se zaključiti sljedeće:

- napon je u granicama EN 50160:2011 u svim slučajevima, osim kada je dolazilo do dugotrajnih prekida napajanja (beznaponske pauze) vjerojatno zbog kvarova u mreži,
- flikeri čije su vrijednosti iznad dopuštenih prema EN 50160:2011 nisu prisutni zbog FNE. Oni su izraženi u primopredajnoj točki i bez prisutnosti FNE u DM. Kada je FNE prisutna na mreži (u pogonu), dokazano je da "ona" kao takva ne uzrokuje flikere svojim radom. Flikeri su u ovim slučajevima vjerojatno prisutni zbog same topologije DM (krutost mreže) i pojava u mreži (trajni i prolazni kvarovi). Važno je istaknuti da priključenjem FNE nije došlo do povećanja broja pojava dugotrajnih flikera,

Svi drugi parametri ne prelaze granice definirane EN 50160:2011. Iz svega navedenog se zaključuje kako predmetna FNE nema negativni povratni utjecaj na DM i može se pustiti u trajni pogon.

4. LITERATURA

- [1] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirschen, G. Strbac, "Embedded generation", The Institution of Electrical Engineers, London, UK, 2000.
- [2] I. Ramljak "Utjecaj priključenja fotonaponske elektrane na kvalitetu električne energije u točki priključenja na distributivnu mrežu", Bosanskohercegovačka elektrotehnika, 8, 2014.