

Ivan Penović, dipl. ing. el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split
ipenovic@fesb.hr

Toni Rogošić, dipl. ing. el.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
toni.rogosic@hep.hr

Prof. dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing. el.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split
rgoic@fesb.hr

Marin Ćurković, dipl. ing. el.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
marin.curkovic@hep.hr

KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SKLOPU TS 110/10 KV VISOKA

SAŽETAK

Zadnjih godina na prostoru Republike Hrvatske zabilježena je značajna integracija obnovljivih izvora energije (OiE) na elektroenergetski sustav, u čemu prednjače vjetroelektrane čija instalirana snaga na kraju 2017.g. premašuje 500 MW. S obzirom na tehnologiju proizvodnje električne energije koju koriste OiE moguće je za očekivati određeni utjecaj na kvalitetu električne energije.

U radu je analizirano stanje kvalitete električne energije na području grada Splita odnosno dijelu grada koji se napaja iz TS 110/10 kV Visoka. Analiza je napravljena na naponskoj „vertikali“ za isto vremensko razdoblje, na visokonaponskoj (110 kV) i srednjenaponskoj (10 kV) razini u TS 110/10 kV Visoka te na niskonaponskoj (0,4 kV) razini odabranog potrošača 10(20)/0,4 kV napajanog iz TS Visoka. Osvrt na rezultate dan je u odnosu na relevantnu normu HRN EN 50160:2012 i važeća Mrežna pravila.

Ključne riječi: Obnovljivi izvori energije, vjetroelektrane, kvaliteta električne energije, HRN EN 50160:2012, Mrežna pravila

POWER QUALITY WITHIN SUPPLIED AREA OF THE SS 110/10 KV VISOKA

SUMMARY

Significant amount of renewable energy sources (RES) has been integrated into Croatian power system in recent years where the most dominant portion belongs to the wind farms with more than 500 MW of installed capacity at the end of 2017. Regarding the technology of RES, certain impact on the power quality may be expected.

Power quality in urban area of Split i.e. part of the area supplied from the SS 110/10 kV Visoka has been analyzed in the paper. Analysis was performed regarding all voltage levels: high (110 kV) and medium (10 kV) voltage level in SS 110/10 kV Visoka and low (0,4 kV) voltage level of a selected consumer 10(20)/0,4 kV supplied from SS 110/10 kV Visoka. A review of results is given according to relevant norm HRN EN 50160:2012 and Grid code.

Key words: renewable energy sources, wind farms, power quality, HRN EN 50160:2012, Grid code

1. UVOD

Zadnjih godina na prostoru Republike Hrvatske zabilježena je značajna integracija obnovljivih izvora energije (OiE) na elektroenergetski sustav u čemu prednjače vjetroelektrane čija instalirana snaga na kraju 2017.g. premašuje 500 MW. S obzirom na tehnologiju proizvodnje električne energije koju koriste OiE moguće je za očekivati određeni utjecaj na kvalitetu električne energije. Uzroci promjene kvalitete napona leže u fluktuaciji proizvodnje električne energije vjetroelektrana, sklapanjima vjetroagregata, te injektiranju viših harmonijskih članova struje ukoliko vjetroagregati imaju energetske pretvarače. Fluktuacije proizvodnje električne energije nastale zbog kolebanja brzine vjetra izazivaju promjene iznosa napona i flikere. Sklapanja vjetroagregata i njihovih lokalnih kompenzacija mogu izazvati tranzijente koji mogu izazvati smetnje kod potrošača. Injektiranje viših harmonijskih članova struje u mrežu može izazvati izobličenje valnog oblika napona.



Slika 1. Planirane i izgrađene vjetroelektrane u Hrvatskoj

Da li postoji negativan utjecaj na kvalitetu električne energije u distribucijskoj mreži grada Splita pokušali smo provjeriti mjerenjem na naponskoj „vertikali“ na visokonaponskom (110 kV) i sredjenaponskom (10 kV) nivou te na niskonaponskom (0,4 kV) nivou odabranog potrošača napajanog iz TS 110/10 kV Visoka. Osvrt na rezultate dan je u odnosu na relevantnu normu HRN EN 50160:2012 [2] i važeća Mrežna pravila [1]. Ovakvim istodobnim mjerenjem kvalitete napona na nekoliko naponskih nivoa moguće je utvrditi načine širenja prijelaznih pojava (prenapona i propada napona) kroz distribucijsku mrežu kao i načine širenja viših harmonika i flikera.

2. ANALIZA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Za kvalitetu električne energije u nekoj točki mreže su odgovorni i isporučitelj električne energije i kupci električne energije. Održavanje određene razine kvalitete napona u nekoj točki mreže je obveza distributera električne energije. Distributer ovaj zadatak izvršava ograničavanjem negativnog povratnog djelovanja trošila na mrežu. Svaki kupac električne energije je dužan negativna povratna djelovanja svojih trošila (injektiranje viših harmonika, uzimanje jalove snage, emisija flikera i nesimetrije opterećenja) svesti na propisane (unaprijed dogovorene) granične vrijednosti. U ovom članku smo analizirali parametre kvalitete električne energije za koje smo smatrali da OiE mogu imati negativan utjecaj (harmonici i flikeri i kolebanje napona). Pri analizi smo koristili granične vrijednosti definirane Mrežnim pravilima i HRN EN 50160.

2.1. Mrežna pravila

Za kvalitetu napona u nekoj točki mreže su odgovorni i operator sustava i korisnici mreže. Održavanje određene razine kvalitete napona (nužno zbog ispravnog rada opreme koja je priključena na EES) u nekoj točki mreže je obveza operatora sustava. Ovu zadaću operator sustava provodi ograničavanjem negativnog povratnog djelovanja opreme svih korisnika mreže. Svaki korisnik mreže (kupac, proizvođač ili trgovac električne energije) je dužan povratna djelovanja svoje opreme na kvalitetu napona (injektiranje viših harmonika, uzimanje jalove snage, emisija flikera i nesimetrije opterećenja) svesti na propisane (unaprijed dogovorene) granične vrijednosti (koje u načelu određuje operator sustava).

Mrežnim pravilima određene su granice vrijednosti parametara kvalitete napona i granice negativnog povratnog djelovanja na mrežu [1], prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Granične vrijednosti parametara kvalitete prema Mrežnim pravilima

Parametar	Granične vrijednosti	Napomena
Odstupanje napona	$Un \pm 10\%$	95% prosjeka tijekom tjedan dana
	$Un +10\% / -15\%$	100% prosjeka tijekom tjedan dana
Ukupno harmonijsko izobličenje – THD	$\leq 2,5\%^*$	(*) vrijednosti se odnose na doprinos priključenjem korisnika
Indeks jačine flikera	$Pst \leq 0,7^*$	
	$Plt \leq 0,5^*$	
Nesimetrija napona	$\leq 1,3 \% Un^*$	Napomena: unutar istog frekvencijskog raspona, emisija parnih harmonijskih struja ne smije biti veća od 25% navedenih vrijednosti
Neparni harmonijski član, h		
h < 11	4,0 %	
11 ≤ h < 17	2,0 %	
17 ≤ h < 23	1,5 %	
23 ≤ h < 35	0,6 %	
35 ≤ h < 50	0,3 %	
Faktor ukupnog harmonijskog izobličenja (THD)	5,0 %	

2.2 HRN EN 50160:2012

Norma EN 50160:2010 (HRN EN 50160:2012, [2]) u odnosu na prethodnu inačicu nudi drugačiju organizaciju dokumenta koji je sada podijeljen po naponskim nivoima na dva dijela i to: (1) dio koji se odnosi na kontinuirani pogon („Continuous phenomena“) te (2) dio koji se odnosi na događaje („Voltage Events“). Također, određene definicije su izmijenjene, a možda najbitnija stavka je uvođenje karakteristika za visokonaponske mreže. Navedena norma je u međuvremenu dobila ispravak (HRN EN 50160:2012/Ispr.1:2014, [3]) te nadopunu (HRN EN 50160:2012/A1:2015, [4]).

Dakle, norma HRN EN 50160:2012 od 2012.g. u Hrvatskoj osim za distribucijske mreže važeća je i za prijenosne mreže. Bitna napomena je, pošto je ovo tek prva verzija koja uključuje i prijenosnu mrežu, da se granice dane za naponske harmonike i nesimetriju napona na visokom naponu trebaju uzeti s rezervom budući da je u tijeku provjera i istraživanje korektnosti postavljenih granica za prethodno navedene parametre napona u više Europskih zemalja.

Tablica 2. Granične vrijednosti nekih parametara kvalitete napona prema normi HRN EN 50160:2012

Parametar	Granične vrijednosti			Granice (%)
	NN	SN	VN	
Spore promjene napona	$Un \pm 10\%$	$Un \pm 10\%$	-	95 (NN) / 99 (SN)
	$Un +10\%/-15\%$	$Un \pm 15\%$	-	100
Faktor kratkotrajnog flikera (Pst)	1,2	1,2	1,0	95
Faktor dugotrajnog flikera (Pst)	1,0	1,0	0,8	100
Faktor ukupnog harmonijskog izobličenja napona (THD)	8%	5%	3%	100

U ovom radu baziralo se na stanje flikera, harmonika napona te samog iznosa napona na naponskoj „vertikali“, a shodno tome u tablicama 2 i 3 dani su granični parametri promatranih parametara prema normi HRN EN 50160:2012.

Tablica 3. Granične vrijednosti pojedinačnih harmonika napona prema normi HRN EN 50160:2012

NN i SN					
Neparni viši harmonici				Parni viši harmonici	
Nisu višekratnik broja 3		Višekratnik broja 3			
Red harmonika	Uh (%)	Red harmonika	Uh (%)	Red harmonika	Uh (%)
5	6.0	3	5.0	2	2.0
7	5.0	9	1.5	4	1.0
11	3.5	15	0.5	6-24	0.5
13	3.0	21	0.5	>24	0.5
17	2.0	>21	0.5		
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				
>25	1.0				
VN					
Neparni viši harmonici				Parni viši harmonici	
Nisu višekratnik broja 3		Višekratnik broja 3			
Red harmonika	Uh (%)	Red harmonika	Uh (%)	Red harmonika	Uh (%)
5	3.0	3	3.0	2	1.5
7, 11	2.5	9	1.5	4	1.0
13, 17	2.0	15, 21	0.5	6	0.5
19, 23	1.5	>21	0.3	>6	0.3
25	1.0				
>25	0.5				

3. MJERNA MJESTA I MJERNI UREĐAJI

Napajanje potrošača jugoistočnog dijela grada Splita u redovnom pogonu osigurano je preko TS 110/10 kV Visoka koja je u vlasništvu ODS-a, a spada u nadležnost Elektrodalmacije Split, Pogon Split.

U sklopu trafostanice ugrađena su dva transformatora 110/10 kV nazivne snage 40 MVA. S ostatkom prijenosne mreže 110 kV povezana je s dva 110 kV kabela preko TS 110/35/10 kV Vrboran. Karakteristično za TS 110/10 kV Visoka je to da nije izgrađeno postrojenje 110 kV već je svaki transformator posebnim kabelom 110 kV povezan s TS Vrboran [5].

Mreža 10 kV napajana iz TS 110/10 kV Visoka je gotovo u cijelosti kabelska mreža s ukupnom duljinom vodova u iznosu od 122,10 km od čega se 118,13 km (cca. 97%) odnosi na kabele. Ukupna instalirana snaga TS 10/0,4 kV iznosi 139710 kVA raspoređenih na 181 trafostanicu. Radi se o najvećoj mreži u nadležnosti Pogona Split s velikom i koncentriranom potrošnjom uz nekoliko udaljenih napajanih područja [5].

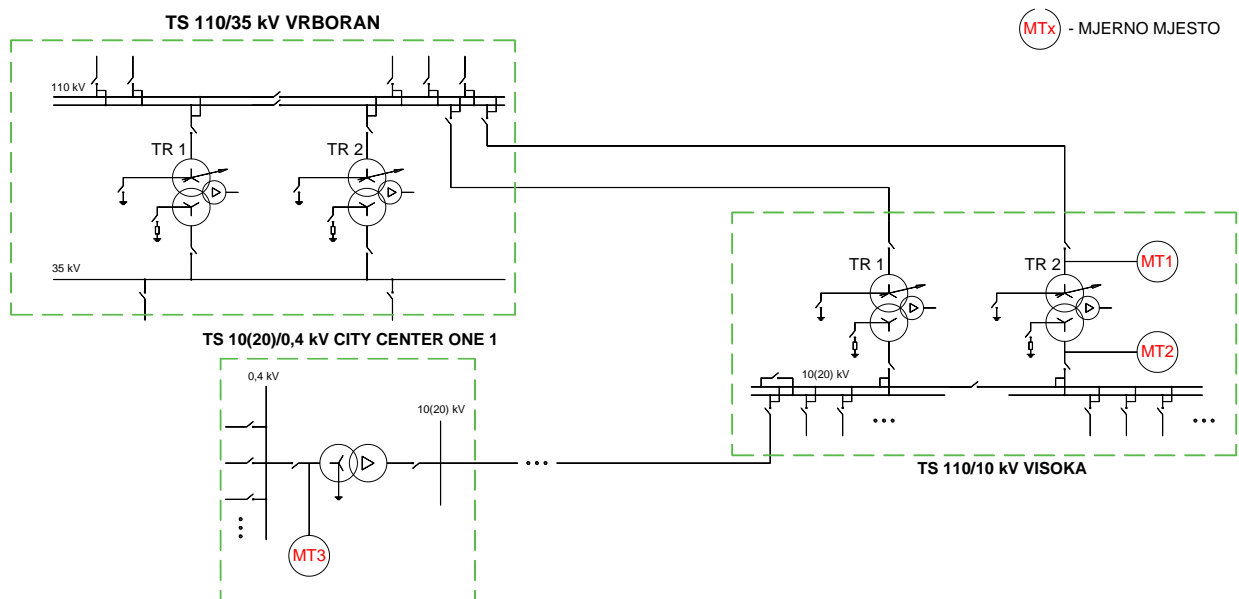
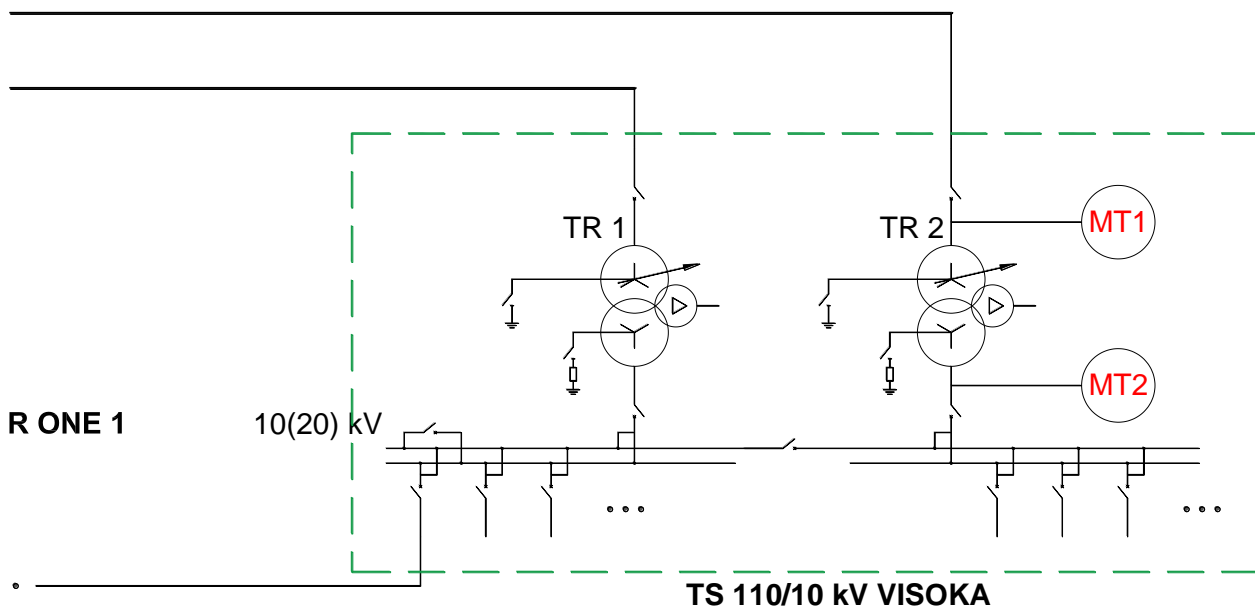
Za potrebe mjerenja kvalitete električne energije na tri naponska nivoa korištena su tri različita mjerna uređaja (dva prijenosna i jedan fiksni) od kojih je svaki u skladu s IEC standardom 61000-4-30, klasa A [6]. Mjerenja kvalitete napona na „vertikali“ Visoka su obavljena u razdoblju 11.11.2017. (subota) – 18.11.2017. (subota). Mjerenja su obavljena istodobno na 3 mjerne točke:

- MT1 – 110 kV sabirnice (odvod T2) u TS Visoka 110/10 kV, Prijenosni mjerni uređaj Dranetz HDPQ Guide postavljen u TS 110/10 kV Visoka u polje TP 110 kV =T2,

- MT2 – 10 kV sabirnice (odvod T2) u TS Visoka 110/10 kV, Fiksni mjerni uređaj Dranetz Encore Series 61 SGD trajno ugrađen u TS 110/10 kV Visoka u polju TP 10 kV =T2,

- MT3 – 0,4 kV sabirnice u TS 10/0,4 kV City Center One 1, Prijenosni mjerni uređaj PQube 3 postavljen u TS 10(20)/0,4 kV City Center One 1 (naponski nivo 0,4 kV).

MTx - MJERNO MJESTO



Slika 2. Prikaz mjernih mjesta na odabranoj „vertikali“

4. REZULTATI MJERENJA

Idealan sinusni valni oblik, amplitude jednake $\sqrt{2} \cdot U_n$ i frekvencije jednake 50 Hz u cijeloj mreži nije ekonomski opravdano, a vrlo često ni tehnički moguće postići (električna energija se najčešće proizvodi na velikoj udaljenost od mjesta potrošnje, prenosi se električnom mrežom od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje preko nekoliko stupnjeva transformacije, zahtijeva konstantnu ravnotežu između proizvodnje i potrošnje, ne može se uskladištiti i ne može se dobiti provjera kvalitete neposredno prije upotrebe).

Kvaliteta napona u nekoj točki elektroenergetske mreže iskazuje zbirno međudjelovanje proizvodnih jedinica, prijenosnih i distribucijskih linija i transformacija te trošila spojenih na elektroenergetski sustav, izraženim kroz nekoliko parametara:

- frekvencija napona,
- iznos napona u stacionarnom stanju (najčešće 10-min RMS prosjeci),
- brze dinamičke promjene napona (fliker),
- nesimetričnost napona,
- harmoničko izobličenje valnog oblika napona,
- međuharmonici napona,
- propadi napona,
- prenaponi mrežne frekvencije,
- tranzijentni prenaponi,
- naponi signaliziranja (MTU).

U ovom članku smo analizirali parametre kvalitete električne energije za koje smo smatrali da OIE mogu imati negativan utjecaj (harmonici, flikeri i kolebanje napona).

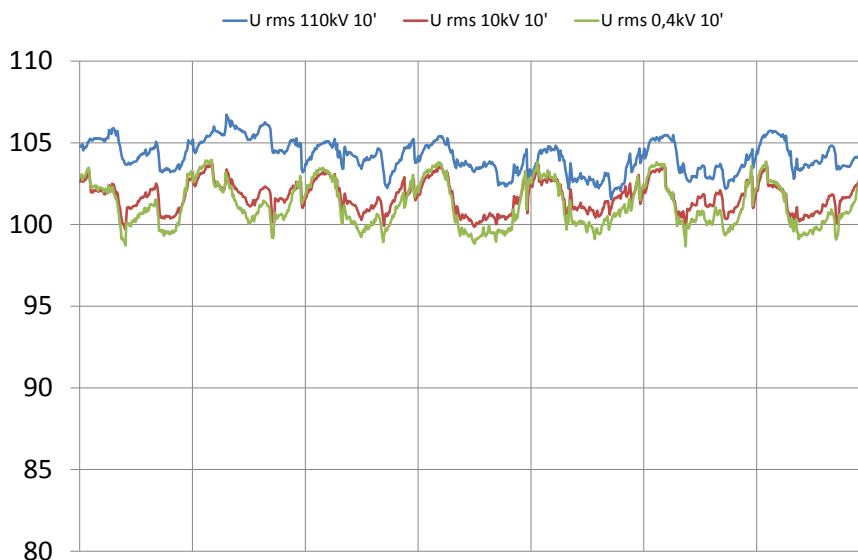
Rezultati mjerenja parametara kvalitete napona na naponskoj „vertikali“ dani su u tablici 4. Iz tablice se uočava da su svi parametri unutar granica definiranih normom HRN EN 50160:2012 s time da su izmjereni naponi na MT2 na samoj granici. Razlog tomu je što se u distribucijskoj mreži izvodi 10 kV radialno priključuju na SN postrojenje u TS x/10 kV te se zbog prevelikih padova napona na krajevima izvoda pogoni vode na način da se u pojnoj TS x/10 kV napon na 10 kV regulira na iznos 10,5 kV. Uzevši u obzir da je promatrani mjerni period u vrijeme kada su naponi u prijenosnoj mreži nešto višeg iznosa zbog niske potrošnje i visoka proizvodnje to se dodatno reflektira u povećanju napona na 10 kV strani. Dodatno na navedeno, postotne vrijednosti gledaju se u odnosu na nazivni napon koji iznosi 10 kV što također pridonosi nešto višem iznosu.

Tablica 4. Sažeti prikaz rezultata mjerenja parametara kvalitete napona na „vertikali“

PARAMETAR KVALITETE NAPONA	GRANIČNA VRIJEDNOST HRN EN 50160:2012		IZMJERENA VRIJEDNOST		
	NN i SN	VN	MT1	MT2	MT3
Napon napajanja (% U_n)	0,90 – 1,10	-	1,02 – 1,07	1,06 – 1,10	0,99 – 1,04
P_{st}	<1,2	<1,0	0,29	0,29	0,63
P_{lt}	<1,0	<0,8	0,34	0,38	0,6
THD $U_{10'}$ (%)	< 8,0%; < 5,0%	< 3,0%	1,11	2,7	2,5
$U_{h3} \text{ RMS}_{10'}$ (% U_1)	< 5,0%	< 3,0%	0,5	0,6	0,6
$U_{h5} \text{ RMS}_{10'}$ (% U_1)	< 6,0%	< 3,0%	0,7	2,7	2,3
$U_{h7} \text{ RMS}_{10'}$ (% U_1)	< 5,0%	< 2,5%	0,8	1,9	1,8
$U_{h9} \text{ RMS}_{10'}$ (% U_1)	< 1,5%	< 1,5%	0,1	0,1	0,1
$U_{h11} \text{ RMS}_{10'}$ (% U_1)	< 3,5%	< 2,5%	0,2	0,3	0,3
$U_{h13} \text{ RMS}_{10'}$ (% U_1)	< 3,0%	< 2,0%	0,2	0,2	0,4

4.1. Kolebanja napona

Na slici 3 se nalaze postotne vrijednosti 10 minutnih srednjih vrijednosti napona. Na slici možemo uočiti rad automatske regulacije napona u TS 110/10 kV Visoka. S obzirom da energetske transformator ima automatsku regulaciju napona ($10,5 \text{ kV} \pm 10 \times 1,5 \%$) i u ovom slučaju ovo je pojna točka za mrežu 10 kV. Kao posljedica rada automatske regulacije napon 10 kV je vrlo stabilan i u mjerenom razdoblju kretao se u granicama 10,1-10,35 kV.



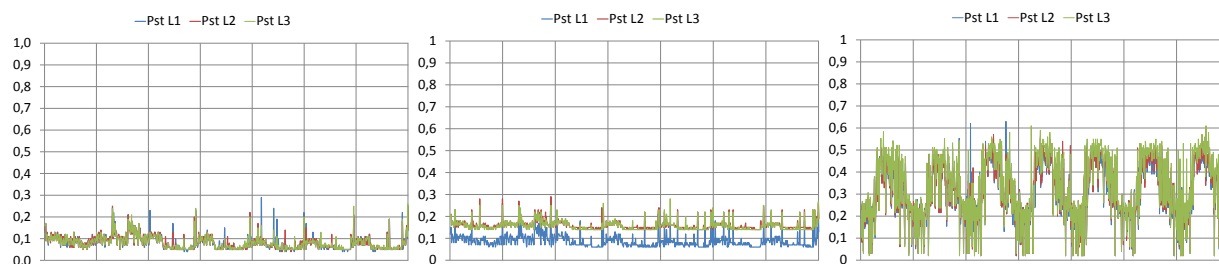
Slika 3. Kolebanje napona 110, 10 i 0,4 kV

4.2. Kratkotrajni i dugotrajni flikeri

4.2.1. Kratkotrajni flikeri

Na slici 4 se nalazi prikaz kratkotrajnih flikera na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na 110 i 10 kV naponskom nivou imamo relativno nisku razinu kratkotrajnih flikera u odnosu na niskonaponsku mrežu.

Kratkotrajni flikeri na 0,4 kV sabirnicama u TS 10/0,4 kV (MT3) su značajno veće i maksimalna vrijednost iznosi 0,63. S obzirom da se radi o velikom trgovačkom centru bilo je i za očekivati značajniji iznos flikera. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme radnog vremena trgovačkog centra od 8 do 22 sata. U ovom članku se bavimo negativnim utjecajem OiE, tako da se nećemo na ovom mjestu baviti negativnim utjecajem trgovačkog centra na mrežu.



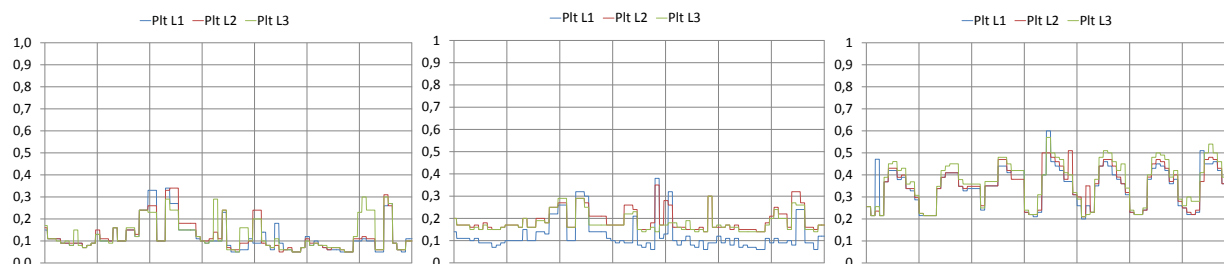
Slika 4. Kratkotrajni flikeri 110, 10 i 0.4 kV

4.2.2. Dugotrajni flikeri

Na slici 5 se nalazi prikaz dugotrajnih flikera na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na 110 i 10 kV naponskom nivou imamo relativno nisku razinu dugotrajnih flikera u odnosu na niskonaponsku mrežu.

Dugotrajni flikeri na 0,4 kV sabirnicama u TS 10/0,4 kV (MT3) su značajno veći i maksimalna vrijednost iznosi 0,6 što je i očekivano s obzirom na posljedičnu vezu kratkotrajnih i dugotrajnih flikera S obzirom da se radi o velikom trgovačkom centru bilo je i za očekivati značajniji iznos flikera. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme radnog vremena trgovačkog centra od 8 do 22 sata. U ovom članku se

bavimo negativnim utjecajem OiE, tako da se nećemo na ovom mjestu baviti negativnim utjecajem trgovačkog centra na mrežu.

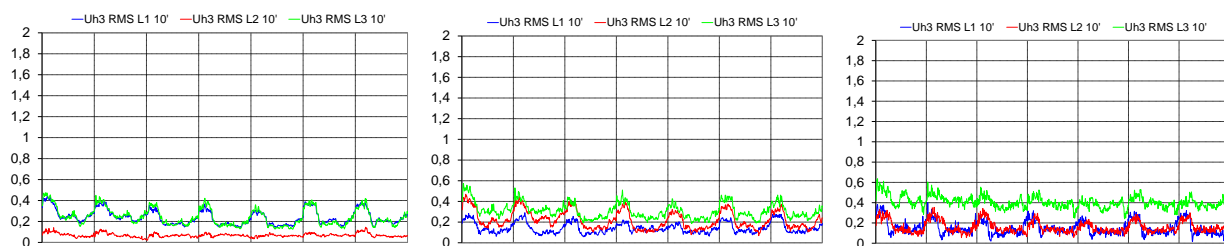


Slika 5. Dugotrajni flikeri 110, 10 i 0.4 kV

4.3. Naponski harmonici

4.3.1. Treći harmonik

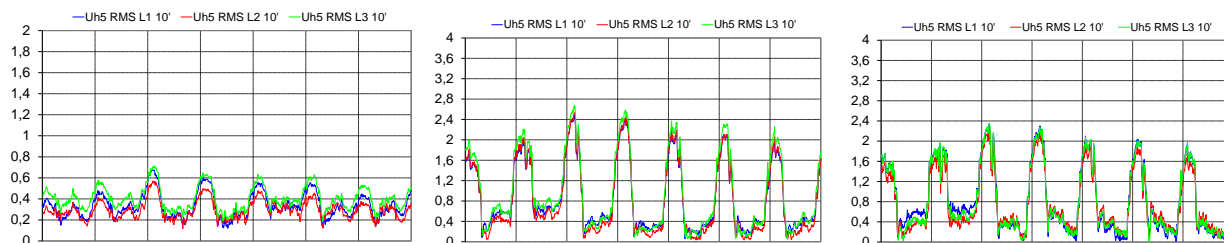
Na slici 6 se nalazi prikaz trećeg harmonika na tri mjerna mjesta na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na svim naponskim nivoima imamo relativno nisku razinu trećeg harmonika. Maksimalna vrijednost iznosi 0,6 %. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme noćnih sati.



Slika 6. Treći harmonik 110, 10 i 0.4 kV

4.3.2. Peti harmonik

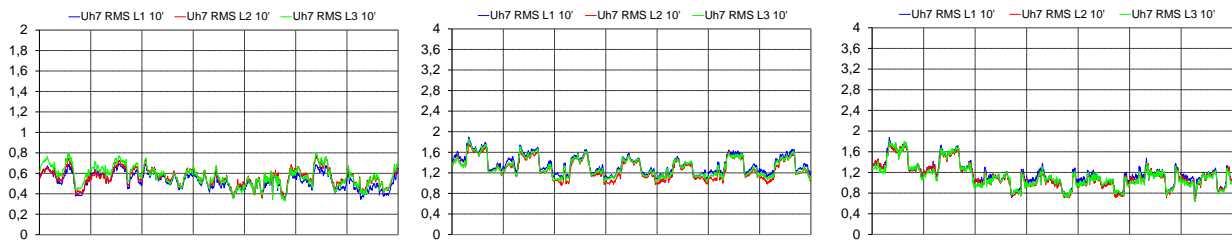
Na slici 7 se nalazi prikaz petog harmonika na tri mjerna mjesta na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na 110 kV naponskom nivou peti harmonik relativno malen u odnosu na ostale naponske razinenivo. Zanimljivo je da na 10 i 0,4 kV naponskoj razini m nivou iznos 5 harmonika praktično isti. Maksimalna vrijednost iznosi 2,7 %. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme noćnih sati.



Slika 7. Peti harmonik 110, 10 i 0,4 kV

4.3.3. Sedmi harmonik

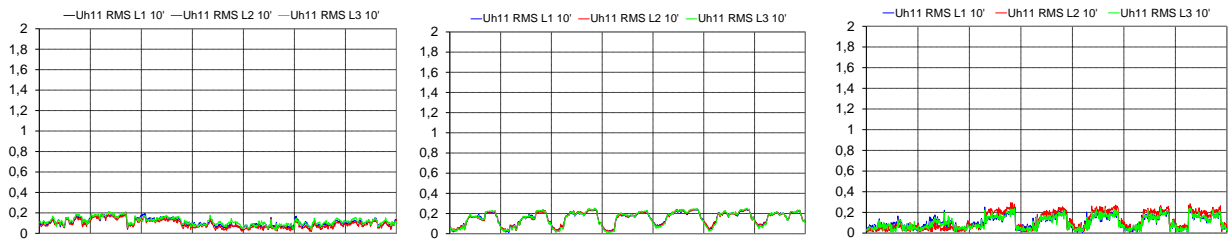
Na slici 8 se nalazi prikaz sedmog harmonika na tri mjerna mjesta na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na 110 kV naponskom nivou sedmi harmonik relativno malen u odnosu na ostale naponske nivoe. Zanimljivo je da na 10 i 0,4 kV naponskom nivou iznos 7 harmonika praktično isti. Maksimalna vrijednost iznosi 1,9 %. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme dnevnih sati.



Slika 8. Sedmi harmonik 110, 10 i 0.4 kV

4.3.4. Jedanaesti harmonik

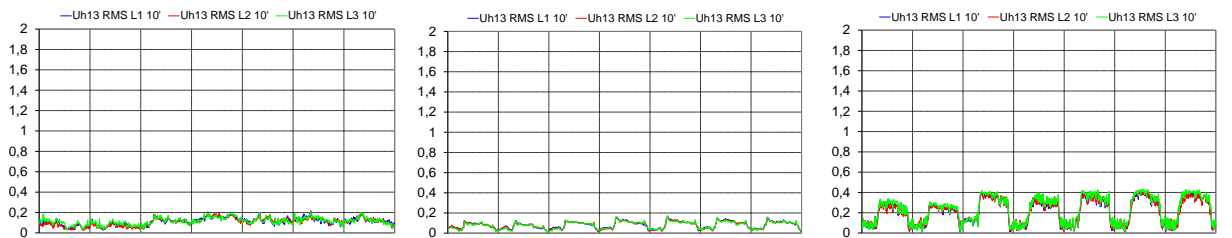
Na slici 9 se nalazi prikaz jedanaestog harmonika na tri mjerna mjesta na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na svim naponskim nivoima imamo relativno nisku razinu 11 harmonika. Maksimalna vrijednost iznosi 0,3 %. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme dnevnih sati.



Slika 9. Jedanaesti harmonik 110, 10 i 0.4 kV

4.3.5. Trinaesti harmonik

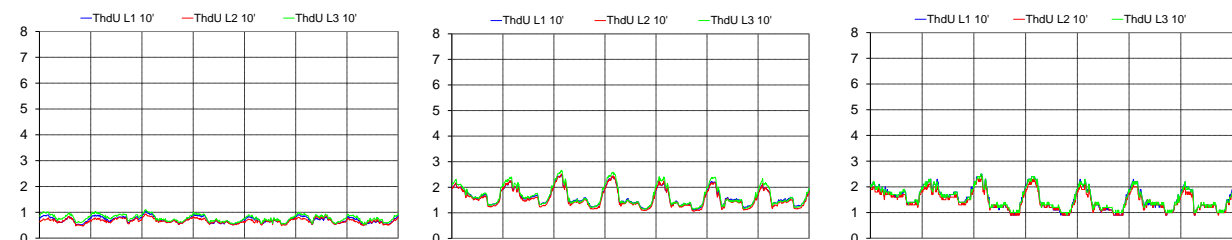
Na slici 10 se nalazi prikaz trinaestog harmonika na tri mjerna mjesta na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da na svim naponskim nivoima imamo relativno nisku razinu 13 harmonika. Maksimalna vrijednost iznosi 0,4 %. Najveće vrijednosti se pojavljuju za vrijeme noćnih sati.



Slika 10. Trinaesti harmonik 110, 10 i 0.4 kV

4.3.6. THD

Na slici 11 se nalazi prikaz THD napona na tri mjerna mjesta na različitim naponskim nivoima. Možemo zaključiti da je na 110 kV naponskom nivou THD relativno malen u odnosu na ostale naponske nivoe. Zanimljivo je da na 10 i 0,4 kV naponskom nivou iznos THD praktično isti. Maksimalna vrijednost iznosi 2,7 %. Najveće vrijednosti se pojavljuju u večernjim satima.za vrijeme dnevnih sati.



Slika 11. THD napona 110, 10 i 0,4 kV

Iznosi trećeg naponskog harmonika su podjednako maleni na svim naponskim nivoima. Iznosi petog, sedmog, jedanaestog i trinaestog naponskog harmonika se smanjuju prelaskom na viši naponski nivo (povećanje snage kratkog spoja, geometrijsko zbrajanje struja viših harmonika). THD, treći i peti naponski harmonik imaju najveći iznos u večernjim satima, a najmanji u jutarnjim satima. Sedmi, jedanaesti i trinaesti naponski harmonik ima najveći iznos u jutarnjim satima, a najmanji u večernjim satima. Na iznos ukupnog harmoničkog izobličenja napona najveći utjecaj ima peti naponski harmonik.

4.4. Dodatna analiza – Utjecaj rada okolnih VE na promatrane parametre kvalitete električne energije

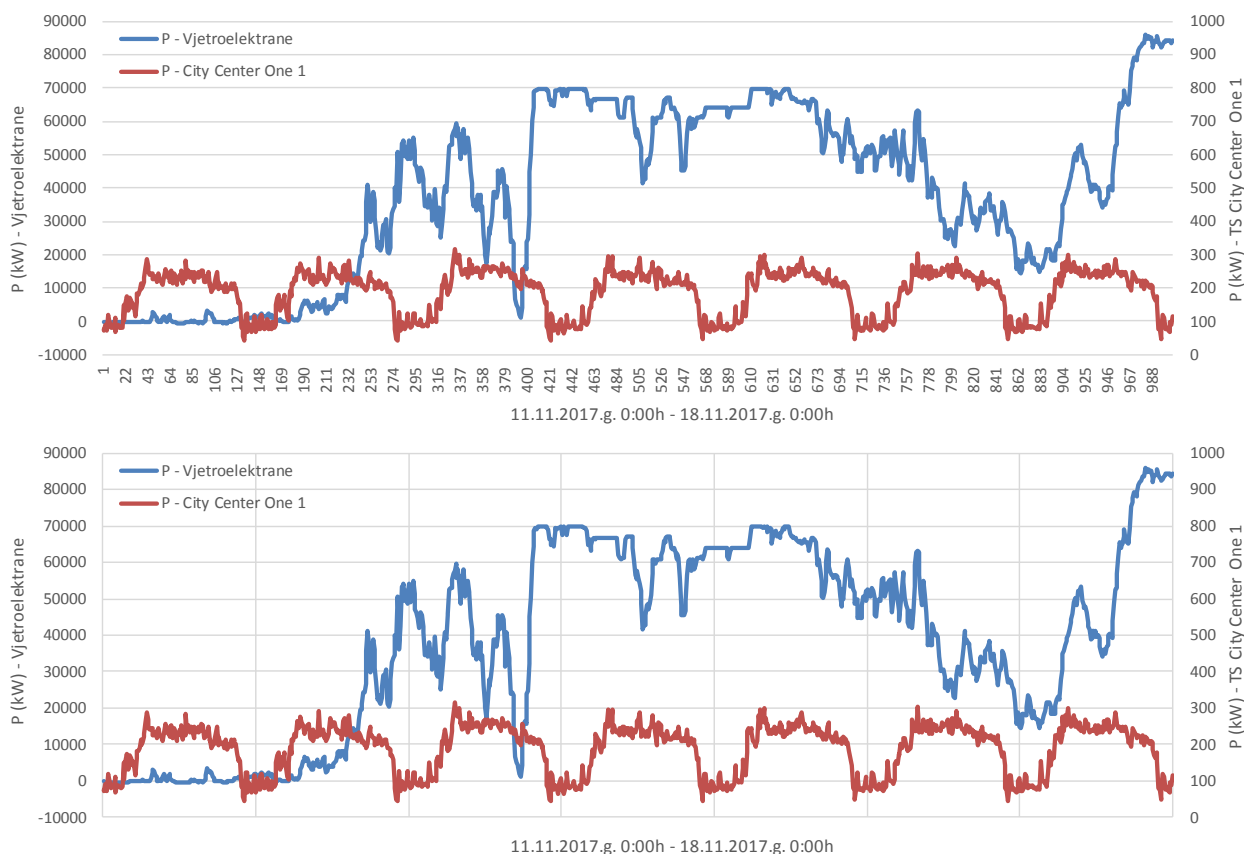
U okolini grada Splita (unutar radijusa 35 km) na prijenosnu mrežu priključeno je pet vjetroelektrana ukupne instalirane snage 175,65 MW. Budući da su autorima u promatranom periodu bili dostupni podaci o proizvodnji dvije vjetroelektrane koje čine 52 % instalirane snage navedene grupe od pet vjetroelektrana, izvršila se dodatna provjera mogućeg utjecaja pogona vjetroelektrana na potrošače u distribucijskoj mreži napajanoj iz TS 110/10(20) kV Visoka odnosno TS 10(20)/0,4 kV City Center One 1.

Kronološki prikaz zbirne radne snage obje vjetroelektrane i radne snage zabilježene na MT3 dan je na slici 12. Uočava se široki spektar radne snage vjetroelektrana i to od 0 MW do 86 MW.

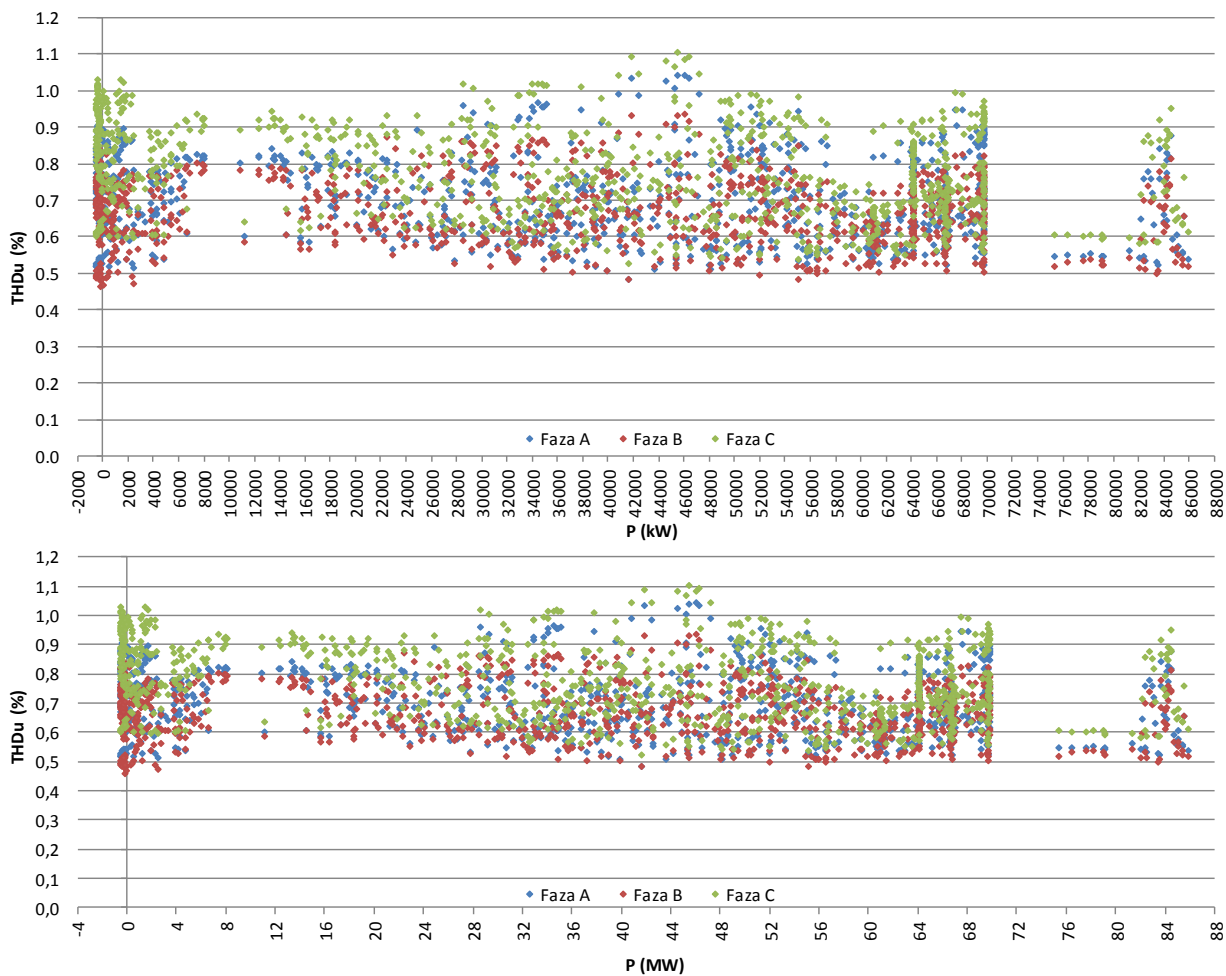
Na slici 13 dan je iznos THD napona u ovisnosti o proizvodnji vjetroelektrana po svim fazama. Sa slike se uočava da nema jasne korelacije između THD napona i radne snage vjetroelektrana.

Kronološki prikaz zbirne radne snage obje vjetroelektrane i faktora kratkotrajnog flikera dan je na slici 14. Sa slike se vidi da pogon promatranih vjetroelektrana ne utječe na porast flikera već je isto uvjetovano dobom dana (dan, noć) odnosno za vrijeme kada trgovački centar radi.

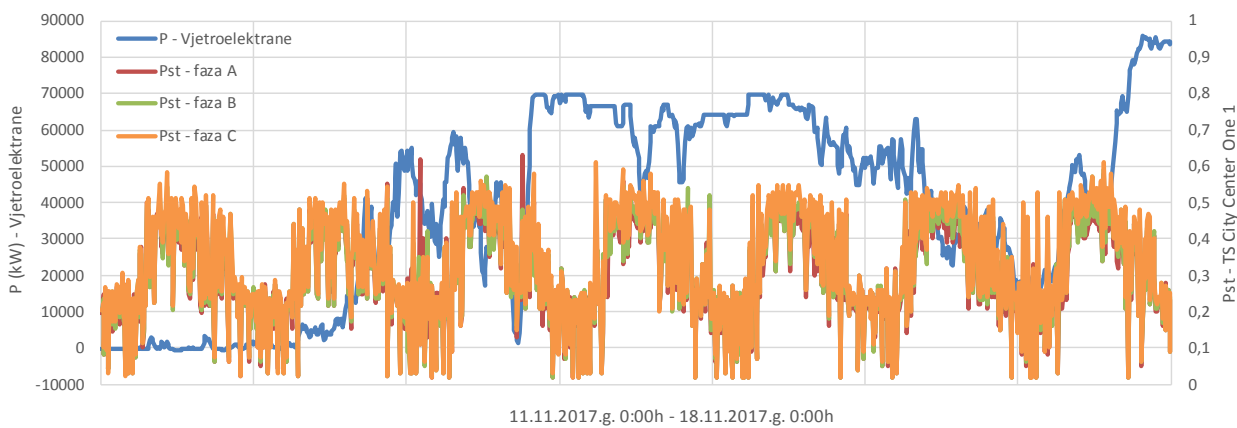
Prosječna vrijednost kratkotrajnog flikera ovisno o proizvodnji vjetroelektrana dana je na slici 15 odakle se može vidjeti da iznos kratkotrajnog flikera ne ovisi o trenutnoj proizvodnji vjetroelektrana.



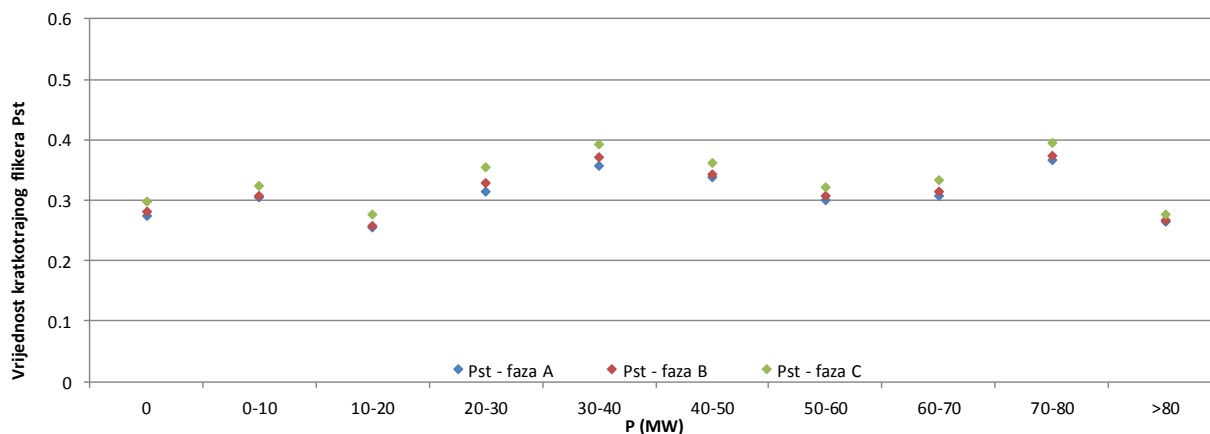
Slika 12. Kronološki prikaz proizvodnje dvije VE u okolini Splita i potrošnje registrirane u MT3



Slika 13. Iznos THD napona u MT3 za sve tri faze u ovisnosti o proizvodnji vjetroelektrana



Slika 14. Kronološki prikaz proizvodnje dvije VE u okolici Splita i Pst po fazama registrirani u MT3



Slika 154. Prosječni iznos Pst u MT3 za sve tri faze u ovisnosti o proizvodnji vjetroelektranad

5. ZAKLJUČAK

Zakonska regulativa koja definira ograničavanje negativnog povratnog djelovanja OiE u nekim dijelovima je nedefinirana u smislu kako praktično izvesti mjerenja, te kako prepoznati negativan utjecaj na mrežu. Stoga je korisno kontinuirano pratiti razine parametara KEE u mreži da bi se moglo na vrijeme intervenirati ako dođe do povišenih razina smetnji.

Pri priključivanju novih VE mjeri se sedam dana bez VE, zatim sedam dana nakon uključanja nove VE, pa nakon uključanja druge i tako redom. Za očekivati je porast razine harmonika i flikera u mrežu. S obzirom da su pojedini doprinosi novopriključenih VE po iznosu povećanja razine harmonika i flikera napona manji od definiranih granica, Mrežna pravila i Norma HRN EN 50160 su zadovoljeni. Moglo bi se postaviti pitanje što će se dogoditi priključenjem novih VE?

Podaci dobiveni mjerenjem na odabranoj „vertikali“ ne upućuju na negativan utjecaj OiE na distribucijsku mrežu grada Splita odnosno dodatnom usporedbom proizvodnje okolnih vjetroelektrana (u mjeri dostupnoj autoru) ne može se uočiti negativan utjecaj na kvalitetu električne energije za potrošače u distribucijskoj mreži grada Splita. S obzirom da je većina VE spojena na prienosnu mrežu na 110 kV naponski nivo, gdje je relativno velika snaga kratkog spoja mreže, to je bilo i za očekivati.

6. LITERATURA

- [1] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, "Narodne novine" broj 36/06, 2006.
- [2] EN 50160:2010 "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks" (HRN EN 50160:2012).
- [3] Corrigendum to EN 50160:2010 "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks" (HRN EN 50160:2012/Ispr.1:2014).
- [4] EN 50160:2010/A1:2015 "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks" (HRN EN 50160:2012/A1).
- [5] "Studija razvoja distribucijske mreže za razdoblje narednih 20 godina za distribucijsku mrežu Elektrodalmacije Split, pogona u sjedištu (bez Šolte), pogon Trogir i Omiš", Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, prosinac, 2015.g.
- [6] IEC 61000-3-6 Ed 1.0 (1996) "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication"