

mr.sc.Dubravko Balaško
HEP ODS, Sektor za vođenje sustava
dubravko.balasko@hep.hr

UTJECAJ ELEKTRANA NA KVALITETU ELEKTRIČNE ENERGIJE U SREDNJE NAPONSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Priključenjem proizvodnih postrojenja (elektrana) na distribucijsku mrežu, postojeća mreža postaje aktivni distribucijski sustav.

Pojedino proizvodno postrojenje ima veći ili manji utjecaj na mrežu i kvalitetu napona ovisno o: električnih parametara distribucijske mreže, mjestu priključenja, snazi elektrane, tehnološkom procesu i električnim parametrima elektrane. U dijelu distribucijske mreže koja je u nadležnosti HEP ODS Elektre Križ priključeno je nekoliko proizvodnih postrojenja na srednjem naponu (10 kV). Za 3 elektrane iste nazivne snage praćen je njihov rada tijekom perioda od godinu dana i na osnovu evidentiranih događaja izvršena analiza prekida. Na mjestu priključenja pojedine proizvodne jedinice izvršeno je snimanje kvalitete napona prije puštanja elektrane u paralelni rad s mrežom kao i dodatno kontrolno snimanje kvalitete napona za vrijeme rada elektrane.

Pomoću raspoloživih podataka izvršene su analize i doneseni su zaključci o utjecaju pojedine elektrane na kvalitetu napona na mjestu priključenja.

Glavne riječi: srednjenaponska mreža, distribuirani izvori, kvaliteta napona, ispadi elektrana

IMPACT OF POWER PLANT ON THE QUALITY OF ELECTRICITY IN MEDIUM VOLTAGE NETWORK

SUMMARY

By connecting production plants (power plants) to the distribution network, the existing network becomes an active distribution system.

An individual production plant has a greater or lesser influence on the network and the quality of the voltage depending on: electrical distribution network parameters, connection site, power plant, technological process and electrical parameters of the power plant. In the part of the distribution network that is in charge of HEP ODS Elektre Križ, several production plants are connected at medium voltage (10 kV). For 3 power plants of the same nominal power, their work was monitored over a period of one year and on the basis of recorded events an interruption analysis was performed. At the connection point of every production unit, power quality measurements were made before and after connection of power plant to the grid.

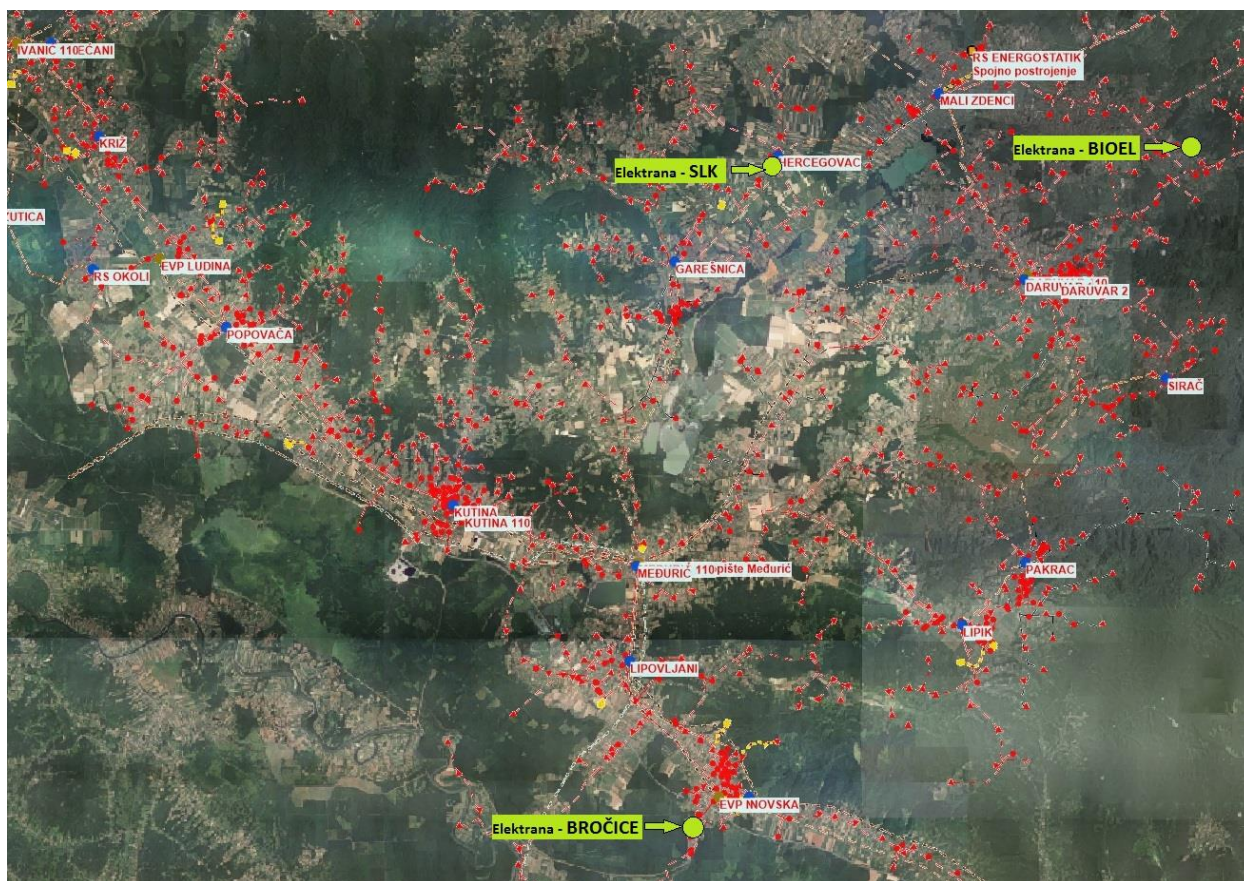
Analyses were made using available data and conclusions were made on the impact of a single power plant on the voltage quality at the connection site.

Key words: medium voltage network, distributed generation, voltage quality, generation outage

Sve tri elektrane koje su obuhvaćene analizom imaju jednaku nazivnu snagu generatora (1 MW) i spojene su na sredjenaponsku 10 kV mrežu. Udaljenost najbliže elektrane do TS 35/10 kV je 300 m, a najdalje 14 km. Primarna sirovina za jednu elektranu je biomasa dok za druge dvije je kukuruzna silaža i gnojnica.

Na mjestu priključenja elektrane izvršeno je tjedno snimanje kvalitete električne energije prije priključenja elektrane i dodatno kontrolno snimanje u rujnu i listopadu 2017. godine.

Na karti dijela srednjenaponske mreže HEP ODS Elektre Križ (**Slici 1.**) prikazane su lokacije elektrana BROČICA, BIOEL i SLK za koje je na mjestu priključenja u srednjenaponsku mrežu izvršena analiza njihovih utjecaja na kvalitetu električne energije na mjestu priključka. Pojedine elektrane nemaju međusobni utjecaj jer su spojene na neovisne trafostanice 35/10 kV od kojih se jedna napaja iz susretne trafostanice HOPS-a TS 220/110/35 kV Međurić, a preostale dvije elektrane iz TS 110/35 kV Daruvar. Pojedina TS 35/10 kV napajana je preko zasebnog 35 kV dalekovoda.



Elektrana na biomasu Bročice snage 999 kW priključena je 10 kV kabelskim vodom na zasebnu čeliju u RS 10(20)kV Bročice 1. Susretno postrojenje RS 10(20) kV Bročice 1 spojeno je preko zasebnog 10 kV kabelskog voda na TS 35/10 kV Novska kabelom tipa XHE 49-A 240 mm². Dužina kabelske trase je 3,8 km. Rasklopište ima mogućnost rezervnog napajanja iz TS 35/10 kV Novska preko gradske petlje na DV Novska 2 i na DV 10 kV Jasenovac. U samom rasklopištu na 10 kV sabirnice preko zasebnog

vodnog polja spojena je i Tvornica peleta kojoj je izdana Elektroenergetska suglasnost na 1,3 MW. Proizvedena električna energija iz elektrane preko kabela napaja 10 kV sabirnice u TS 35/10 kV Novska čija potrošnja se zatvara unutar konzuma TS 35/10 kV.

Bioplinska elektrana BIOEL priključena je na srednjenaponsku mrežu preko susretnog postrojenja RS 10(20)/0,4 kV Maslenjača i DV 10 kV Đulovac u TS 35/10 kV Daruvar 1 koja je udaljena 14 km. Ukupna dužina ovog dalekovoda sa odcjepima je nevjerovatnih 88 km, a na njega je spojeno 55 TS 10/0,4 kV. Dalekovod je u skoro 100 postotnoj dužini zračni izuzev nekih kablskih odcjepa za TS 10/0,4 kV. Magistralni dio zračnog dalekovoda je AlČe 95/15 mm². Pričuvno napajanje elektrane moguće je ostvariti preko DV 10 kV Lončarica iz TS 35/10 kV Mali Zdenci koja je udaljena 10 km. Preko oba priključka elektrana može raditi s maksimalno dozvoljenom snagom od 999 kW. Proizvedena električna energija iz elektrane troši se unutar konzuma TS 35/10 kV Daruvar 1.

Bioplinska elektrana SLK izgrađena je u neposrednoj blizini TS 35/10 kV Hercegovac od koje je udaljena 300 m. Susretno rasklopište RS 10(20)/0,4 kV SLK spojeno je na prvi stup DV 10 kV Garešnica ulaz izlaz. Primarno napajanje je iz TS 35/10 kV Hercegovac, a pričuvno napajanje ostvareno je spajanjem na DV 10 kV Hercegovac iz TS 35/10 kV Garešnica koja je udaljena 10 km. Dalekovod 10 kV Hercegovac iz TS 35/10 kV Garešnica je zračni AlČe 95/15 mm². Preko oba priključka elektrana može raditi dozvoljenom snagom od 999 kW.

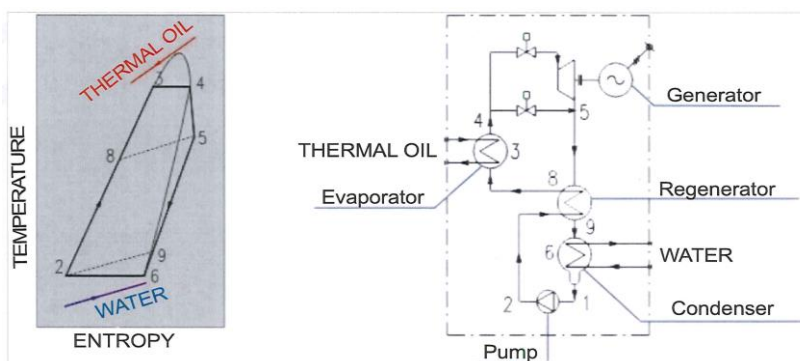
Iz navedenog je vidljivo da su pojedine elektrane spojene na srednjenaponsku mrežu preko susretnih postrojenja (rasklopišta) koja imaju primarno i pričuvno napajanja. Udaljenosti elektrana od čvrstog izvora TS 35/10 kV odakle je primarno napajanje kreće se od SLK – 300 m, BROČICE – 3,4 km do BIOEL – 14 km.

3. OPIS ELEKTRANA

Dvije elektrane u svom tehnološkom procesu proizvode bioplin koji koriste za pokretanje pogonskog stroja (motor na plin) i proizvodnju električne energije za razliku od treće koja kao primarni energent koristi biomasu (drvena sječka). Oba tipa elektrane na bioplin i biomasu uz proizvodnju električne energije imaju su proizvodnju toplinske energije.

3.1. Elektrana na biomasu - BROČICE

Primarni energent/sirovina elektrane na biomasu je drvena sječka. Tehnološki proces je u stvari mala termoelektrana kod koje u ložištu sagorijeva drvena sječka. Dimni plinovi u primarnom toplinskom krugu zagrijavaju vodu koja preuzetu toplinu iz glavnog parnog modula prenosi u modulu za razmjenu topline u kojem se zagrijava drugi medij – organska tekućina visoke molekularne mase (**Slika 2.**).



Slika 2. Termodinamički princip rada

U elektrani je ugrađena turbina i generator slijedećih karakteristika:

Pogonski stroj (turbina):

- Proizvođač i tip: TURBODEN CHP 10
- Nazivna snaga: 1110 kW el

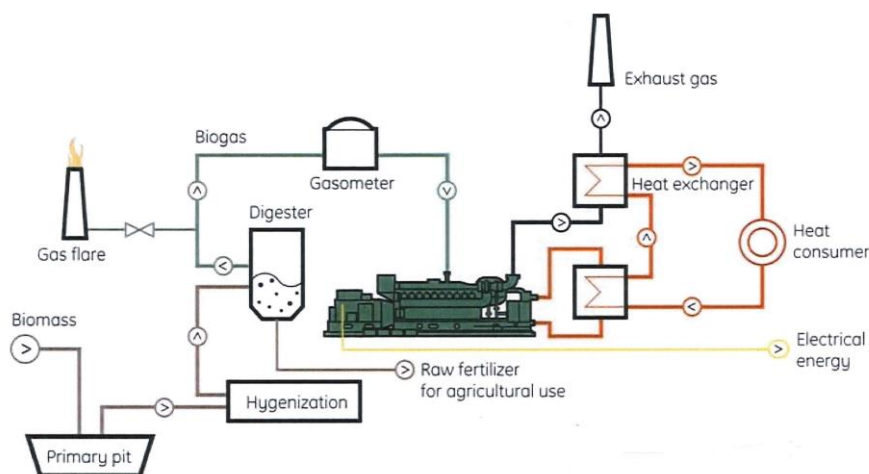
Generator:

- Proizvođač i tip: ABB, AMA 450L2W BSH
- Vrsta: asinkroni
- Nazivni napon: 0,4 kV
- Nazivna snaga: 999 kW

3.2. Elektrane na bioplin – BIOEL i SLK

Elektrane na bioplin BIOEL i SLK u djelu proizvodnje električne i toplinske energije imaju isto tehničko rješenje koje se zasniva na kogeneracijskoj jedinici namijenjenoj za proizvodnju električne energije i su proizvodnju toplinske energije koju dobivamo sagorijevanjem proizvedenog bioplina u plinskom motoru. U konkretnom slučaju u bioplinskim elektranama instalirane su jedinice plinskog motora JENBACHER Tip JMS 320 GS-B snage 2,607 MW na čiju je osovinu spojen generator STAMFORD snage 1.067 kWel. Pojedini plinski motor proizvodi i toplinske energije 1.240 kWte pri 180°C. Efikasnost kogeneracijske jedinice je 40,9% u proizvodnji električne energije i 42,3% u proizvodnji toplinske energije, odnosno ukupna efikasnost je 83,2%.

Tehnološki proces proizvodnje bioplina iz kukuruzne silaže, stajskog gnoja i gnojevke nije potpuno identičan u ove dvije elektrane. U elektrani BIOEL proces anaerobne digestije odvija se u digestoru koji se sastoji od dva cilindrična betonska bazena jedan u drugom. Početak fermentacije odvija se u jednom te se digestat nakon određenog vremena prepumpa u drugi bazen na post fermentacijski proces gdje proces anaerobne digestije završava. Elektrana SLK ima dva građevinski odvojena digestora gdje se u početak anaerobne digestije odvija u jednom, a u drugom proces završava. Blok dijagram tehnološkog procesa proizvodnje električne i su proizvodnje toplinske energije prikazan je na Slici 3.



Slika 3. Blok dijagram tehnološkog procesa elektrane na bioplin

Tehničke karakteristike ugrađenog pogonskog stroja i generatora u elektranama na bioplin:

Pogonski stroj (motor):

- Proizvođač i tip: Jenbacher JMS320 GS-b-I
- Vrsta: plinski otto-motor
- Nazivna snaga: 1067 kW el

Generator:

- Proizvođač i tip: STAMFORD PE734E
- Vrsta: sinkroni
- Nazivni napon: 0,4 kV
- Nazivna snaga: 1625 kVA (1058 kW)

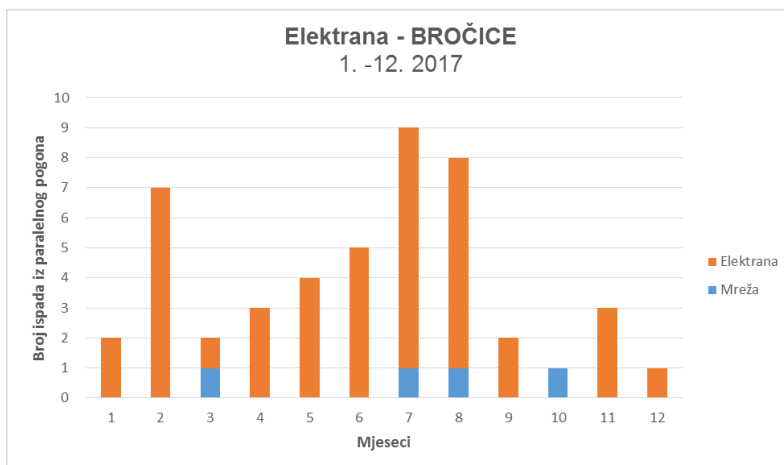
4. PRAĆENJE RADA ELEKTRANA

Za period od godinu dana (tijekom 2017. god.) izvršena je analiza događaja evidentiranih u SCADA sustavu za 3 elektrane Bročice, BIOEL i SLK. Analizom su obuhvaćeni događaji koji su izazvali odvajanje elektrane iz paralelnog pogona sa mrežom čiji je uzrok bio od strane elektrane ili iz distribucijske mreže.

4.1. Elektrana na biomasu - BROČICE

Elektrana na biomasu Bročice tijekom 2017. godine odvojila se od mreže 47 puta. Odvajanje elektrane od paralelnog pogona s mrežom 43 puta je bilo izazvano od strane elektrane. Nije bilo moguće sistematizirati ispade po uzroku jer su u SCADA sustav u DUC-u Križ evidentirana jedino isključenja prekidača za sinkronizaciju u elektrani, a ne i uzrok isključenja. U susretnom postrojenju RS 10(20)/0,4 kV Bročice 1 evidentiran je samo jedan ispad prekidača za odvajanje koji je bio izazvan prolaznim

kvarom na 10 kV dalekovodu iz TS 35/10 kV Novska odakle se napaja susretno postrojenje. Na dolaznom dalekovodu 10 kV tijekom godine dana evidentirana su još 3 isključenja zbog prolaznog kvara, trajnog kvara i planiranih radova.

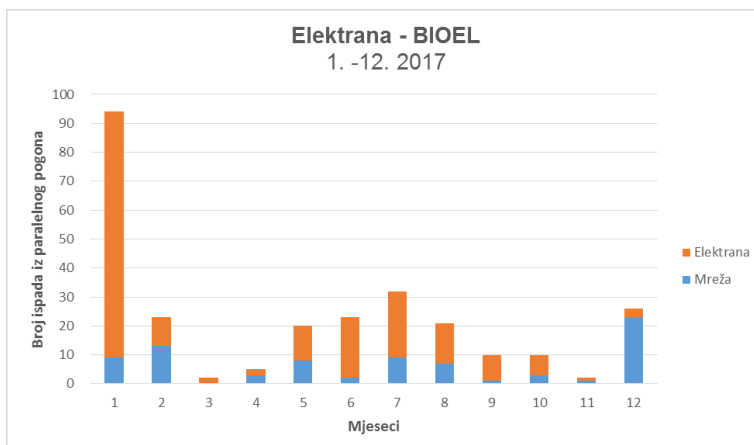


Slika 4. Elektrana BROČICE – dijagram ispada elektrane iz paralelnog pogona

Raspodjela prekida rada elektrane tijekom pojedinog mjeseca je nejednolika i najveći broj isključenja bio je u srpnju, 9 ispada (**Slika 4.**).

4.2. Elektrane na bioplin - BIOEL

Elektrane na bioplin BIOEL ima nekoliko puta više ispada iz mreže od elektrane Bročica. Tijekom 2017. godine ih je bilo 268. Zbog događaja na distribucijskoj mreže elektrana je ispadala iz paralelnog pogona s mrežom 79 puta od čega 65 puta zbog prolaznih kvarova. Najveći broj prekida na DV 10 kV Đulovac bio je u 12 mjesecu (23 puta) i to prvenstveno zbog prolaznih kvarova. Ako uzmemo u obzir i činjenicu da je dalekovod s odcjepima ukupne dužine 88 km ovako veliki broj prekida u napajanju izazvanih od strane mreže nije prihvatljiv.



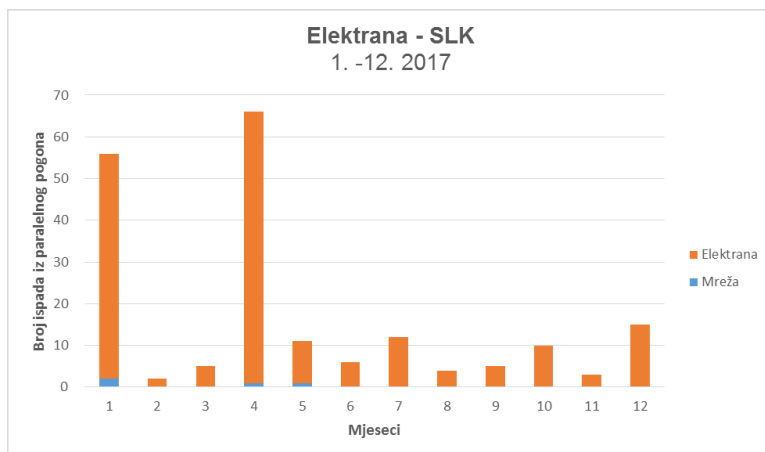
Slika 5. Elektrana BIOEL – dijagram ispada elektrane iz paralelnog pogona

Isključenje prekidača za sinkronizaciju izazvanih od strane elektrane također ima neusporedivo više nego u elektrani Bročice čak ako i izbacimo mjesec siječanj kada ih je bilo ekstremno puno - 85 isključenja (**Slika 5.**). Zanimljivo bi bilo vidjeti da li su ovi ispadi elektrane uzrokovani problemima u tehnološkom procesu (proizvodnja plina/pogonski stroj) ili je ovakav tip elektrane manje pouzdan od elektrana na biomasu.

4.3. Elektrane na bioplin - SLK

Elektrana SLK je istog tipa kao i BIOEL, ali kako je udaljenost susretnog postrojenja od TS 35/10 kV Hercegovac samo 300 m ima samo jedan ispad zbog prolaznog kvara i jedan zbog radova u

trafostanici čiji uzrok je od strane mreže. Još dva ispada imamo zabilježena na prekidaču za odvajanje u susretnom postrojenju zbog djelovanja dozemne i podfrekventne zaštite.



Slika 6. Elektrana SLK – dijamant ispada elektrane iz paralelnog pogona

I u ovoj bioplinskoj elektrani imamo ekstreman broj isključenja prekidača za sinkronizaciju od strane elektrane u siječnju 54 puta i travnju 65 puta (**Slika 6.**). Ako izuzmемо ove ekstremne mjesecе SLK ima nešto manji broj isključenja prekidača za sinkronizaciju od BIOEL, ali još uvijek dvostruko više od elektrane na biomasu Bročice.

5. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA MJESTU PREUZIMANJA

U skladu s mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava, a vezano uz priključak pojedinog proizvođača na distribucijsku mrežu izrađeni su zasebni Elaborati utjecaja elektrana Bročice, BIOEL i SLK na distribucijsku mrežu. Prije priključenja izvršena su tjedna snimanja kvalitete napona na mjestu priključenja, a kontrolno snimanje kvalitete električne energije izvršena su za vrijeme pogona u rujnu i listopadu 2017. godine. Snimanje kvalitete napona izvršeno je u skladu s Europskom normom EN 50160 te je utvrđeno da je kvaliteta napona u skladu s normom. Za pojedinu elektranu detaljnije su analizirana 4 parametra kvalitete električne energije: efektivna vrijednost napona, dugotrajni flikeri, ukupna harmonijska distorzija i frekvencija.

5.1. Elektrana na biomasu - BROČICE

Elektrana Bročice puštena je u pogon tijekom 2014. godine. Prije puštanja elektrane u pokusni rad izvršeno je tjedno snimanje kvalitete napona na mjestu priključenja elektrane na srednjenaponsku distribucijsku mrežu. Utvrđeno je da je kvaliteta napona zadovoljava normu. Vrijednosti promatranih parametara navedeni su u **Tablici I.**

Tablica I. Elektrana BROČICE - karakteristični parametri kvalitete električne energije

Elektrana na biomasu - BROČICE				
			PRIJE PRIKLJUČENJA	KONTROLNO MJERENJE
Datum mjerenja			11. - 18.02.2014. god	18. - 25.10.2017. god.
Efektivna vrijednost faznih napona	U _{ef} (kV)	max.	6,35	6,089
		min.	5,484	5,713
		95%	6,119	6,039
Dugotrajni flikeri	P _{lit} (%)	max.	3,4	0,925
		95%	0,9	0,366
Ukupna harmonijska distorzija	THD (%)	max.	2,2	2,1
		min.	1	1,05
		prosjeck	1,75	1,65
Frekvencija	f (Hz)	max.	50,07	50,11
		min.	49,93	49,89
		99,50%	50,01	50,07

Kontrolno snimanje kvalitete koje je izvršeno u listopadu 2017. godine potvrdilo je da kvaliteta električne energije i dalje u skladu s normom. Tijekom perioda snimanja nije bilo ispada elektrane iz paralelnog pogona s mrežom i napon se kretao u granicama od 5,713 kV do 6,089 kV. Uspoređujući vrijednost napona prije priključenja elektrane i za vrijeme kada je elektrana spojena paralelno s mrežom možemo zaključiti da je prije priključenja elektrane odstupanja napona između minimalne i maksimalne vrijednosti bila veća, a prosječna vrijednost napona s priključenjem elektranom porasla je za oko 230 V. Priključenjem elektrane na mrežu dugotrajni flikeri i ukupna harmonijska distorzija se smanjila, a područje nihanja frekvencije neznatno se proširilo.

5.2. Elektrane na bioplin - BIOEL

Snimanje kvalitete napona prije priključenja elektrane BIOEL izvedeno je u veljači 2016. i svi parametri kvalitete električne energije zadovoljavaju.

Tablica II. Elektrana BIOEL - karakteristični parametri kvalitete električne energije

Elektrana na bioplin - BIOEL				
			PRIJE PRIKLJUČENJA	KONTROLNO MJERENJE
Datum mjerenja			2. - 9.02.2016. god.	28.09. - 5.10.2017. god.
Efektivna vrijednost faznih napona	U _{ef} (kV)	max.	6,121	6,212
		min.	5,762	5,936
		95%	5,949	6,149
Dugotrajni flikeri	P _{lit} (%)	max.	12,41	12
		95%	0,326	0,5
Ukupna harmonijska distorzija	THD (%)	max.	3,46	1,1
		min.	1,19	0,7
		prosjeak	2,573	1,05
Frekvencija	f (Hz)	max.	50,067	50,1
		min.	49,942	49,88
		99,50%	49,998	50,07

Vrijednost napona nakon priključenja elektrane prosječno je veća 170 V, a kolebanje napona ostalo je u prijašnjim granicama. Kao i kod prethodne elektrane Bročica ukupna harmonijska distorzija je smanjena, a frekvencija je stabilna. Flikeri su u propisanim granicama, ali njihova prosječna vrijednost se povećala s 0,326 % na 0,5 %. Postoji veliki broj događaja čak 250 evidentiranih zbog previsokog napona, propada napona ili brze promjene napona. Vrijednosti parametara kvalitete električne energije prije priključenja elektrane i za vrijeme kontrolnog mjerenja navedeni su u **Tablici II**.

5.3. Elektrane na bioplin - SLK

Od 3 promatrane elektrane SLK je zadnja priključena u kolovozu 2016. godine. Parametri kvalitete napona prije priključenja zadovoljavaju, ali u mreži su prisutni flikeri više nego na druga dva mjesta u mreži (**Tablica III**).

Tablica III. Elektrana SLK - karakteristični parametri kvalitete električne energije

Elektrana na bioplin - SLK				
			PRIJE PRIKLJUČENJA	KONTROLNO MJERENJE
Datum mjerenja			2. - 9.08.2016. god.	20. - 27.09.2017. god.
Efektivna vrijednost faznih napona	U _{ef} (kV)	max.	6,506	6,02
		min.	5,843	5,693
		95%	5,876	5,933
Dugotrajni flikeri	P _{lit} (%)	max.	16,46	4,39
		95%	1,11	0,72
Ukupna harmonijska distorzija	THD (%)	max.	3,2	0,4
		min.	0,9	1,4
		prosjeak	1,6	0,9
Frekvencija	f (Hz)	max.	50,06	50,1
		min.	49,955	49,86
		99,50%	50	50,07

Prije priključenja elektrane evidentirane su 10 minutne prosječne vrijednosti napona koje prelaze gornju dozvoljenu granicu. Priključenjem elektrane na mrežu prosječna vrijednost napona porasla je samo za 50 V. Odstupanje vrijednosti napona između minimalne i maksimalne vrijednosti je sa 660 V prije priključenja elektrane pala na 90 V. . Karakteristično je da se vrijednosti dugotrajnih flikera i ukupna harmonijska distorzija priključenjem elektrane smanjila. Isto kao i kod bioplinske elektrane BIOEL vrijednosti flikera su u dozvoljenim granicama ali postoje događaji koji prelaze dozvoljeni limit. Evidentirano je 72 događaja koji su van dozvoljenog limita.

6. ZAKLJUČAK

Iz provedene analize utjecaja elektrana na kvalitetu električne energije u srednjenaponskoj mreži vidljivo je da bez obzira što su razmatrane elektrane iste snage njihov utjecaj na kvalitetu električne energije na mjestu priključenja je različit. Elektrana na biomasu ima stabilniji rad i nekoliko puta manji broj ispada iz paralelnog pogona s mrežom. Isto tako utjecaj mreže na broj prekida manji je ukoliko je elektrana spojena zasebnim dalekovodom odvojenim od ostalog konzuma, a mreža je pretežno kabelska.

Priključenjem elektrane na srednjenaponsku mrežu dalje od TS 35/10 kV (čvrsti izvor) prosječna vrijednost napona poviši se i više od 3% U_n za vrijeme dok elektrana radi paralelno s mrežom. Međutim oscilacije napona između minimuma i maksimuma manje su na sve tri lokacije u odnosu na mjerenja prije priključenja elektrana. Elektrane u pravilu pozitivno utječu na flikere i više harmonike. Nepouzdan rad elektrana i česti ispadi iz paralelnog pogona s mrežom uzrokuju povećanje broja događaja koji su uzrokovani promjenama vrijednosti napona zbog previsokog napona, njegovog propada ili brzih promjena.

7. LITERATURA

- [1] Balaško, Ekonomski fakultet Rijeka, Završni rad: Elektrane na biomasu i bioplin – ekonomsko i financijsko vrednovanje, Rijeka, siječanj 2017.
- [2] Balaško, „Utjecaj bioplinske elektrane na pogon i vođenje distribucijske mreže“,13.savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik, Hrvatska, 11.2017., Referat C2-227
- [3] ENERGOMETAL, EM 130830: EUEM – Elektrana na biomasu BROČICE, kolovoz 2013.
- [4] ADAD d.o.o., E02-15: EUEM – Elektrana na bioplin - BIOEL, listopad 2015.
- [5] ADAD d.o.o., E05-15: EUEM – Elektrana na bioplin - SLK, svibanj-listopad 2016.
- [6] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, NN 36/06, ožujak 2006.
- [7] Uvjeti kvalitete opskrbe električnom energijom, NN 37/2017, ožujak 2017.
- [8] A-Eberle, PQ-Box 100
- [9]