

mr.sc. Nino Vrandečić, dipl.ing.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
nino.vrandecic@hep.hr

DISTRIBUIRANI IZVORI U UVJETIMA SMETNJI I KVAROVA

SAŽETAK

U svrhu praćenja rada distribuiranih izvora na području Elektroslavonije Osijek instaliran je sustav za praćenje kvalitete električne energije. Analizom podataka o smetnjama i kvarovima došlo se do podataka o utjecaju pojedine kategorije poremećaja na rad distribuiranih izvora.

Ključne riječi: smetnja, kvar, distribuirani izvor, propad napona

DISTRIBUTED SOURCES IN CONDITIONS OF INTERFERENCE AND FAULTS

SUMMARY

To monitor the operation of distributed power plants in Elektroslavonija Osijek installed the system for power quality monitoring. By analyzing data on disabilities and faults there are up data on the impact of certain categories of disorder on the work of distributed power plants.

Keywords: interference, fault, distributed power plant, voltage sag

1. UVOD

Distribuirani izvori tijekom pogona u živoj mreži izloženi su stalnim smetnjama, koje se pojavljuju u normalnom i izvanrednom pogonu. Smetnje u pogonu mogu se podijeliti na smetnje koje su nastale na prijenosnoj i distribucijskoj razini. Smetnje koje potiču iz prijenosne mreže najčešće su posljedica prolaznih kvarova koji traju reda veličine do 100 ms i praćene su najčešće propadima napona iznosa 70 do 90% nominalne vrijednosti u distribucijskoj mreži. Ovi prolazni kvarovi bilježe se u susretnim postrojenjima uređajima za analizu kvalitete električne energije. Zabilježeni podaci o smetnjama analizirat će se s ciljem utvrđivanja utjecaja smetnji na rad distribuirane proizvodnje odnosno generatora. Rad će dati kratak prikaz najčešćih poremećaja u mreži te s tim povezano i primjere odziva elektrana na smetnje. Analizirat će se ponašanje distribuiranih izvora s plinskim motorima i jednog s parnom turbinom.

2. DISTRIBUIRANI IZVORI U UVJETIMA KVAROVA

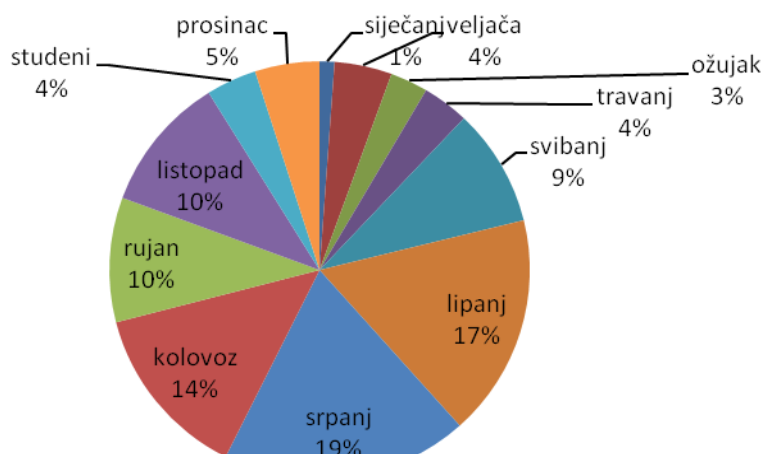
2.1. Događaji u mreži

U normalnom pogonu mreže dolazi do pojave prolaznih i trajnih kvarova, koji izravno utječu na oblik faznog i linijskog napona. Kako bi se utjecaj prolaznih kvarova, koje načelno možemo nazvati i smetnjama, analizirao, nužno je da postoji određeni oblik nadzora. Za potrebe nadzora linijskih i faznih napona te struja elektrana na području Elektroslavonije Osijek uspostavljen je sustav za kontrolu kvalitete električne energije u točkama susretnih postrojenja prema distribuiranim izvorima. Sustav kao mjerne uređaje koristi analizatore kvalitete tipa PQube 2 i 3. Podaci s analizatora automatski se prikupljaju jednom dnevno i spremaju na PQ server. Prikupljeni podaci analiziraju se za potrebe utvrđivanja utjecaja elektrane na mrežu i obrnuto.

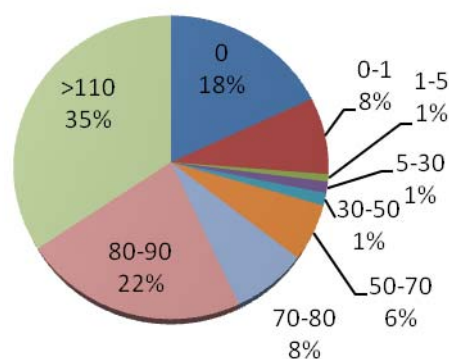
Za potrebe ovog rada obavljena je statistička analiza događaja u proteklih godinu dana. Analiza je obavljena na 8 susretnih postrojenja koja su u sustavu kontrole kvalitete električne energije, a na koju su povezani distribuirani izvori na bioplin s plinskim motorom redom od istog proizvođača.

Analiza je utvrdila sljedeće :

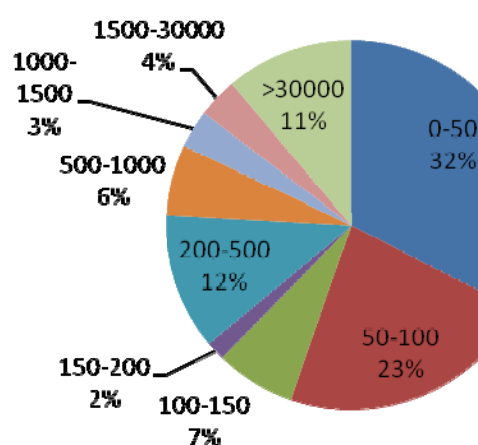
- U mjesecima lipnju, srpnju i kolovozu dogodi se gotovo 50% svih događaja
- Broj događaja u zimskim mjesecima znatno se smanjuje.
- 35 % svih događaja čine nadvišenja napona iznad 110% U_N .
- 30% svih događaja čine propadi napona amplitude između 70 i 90% U_N .
- 55% svih događaja traje kraće od 100 ms.



Slika 1. Udio broja događaja po mjesecima



Slika 2. Udio broja događaja po amplitudi napona iskazanoj u % U_N .



Slika 3. Udio broja događaja po trajanju događaja (ms)

2.2. Utjecaj zemljospoja na distribuirane izvore

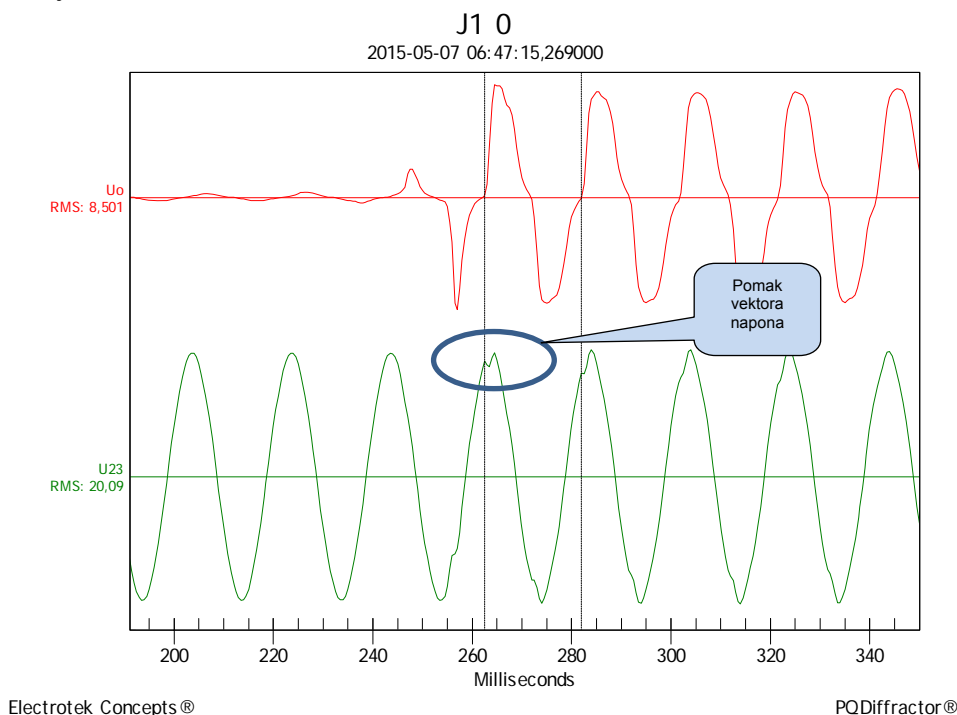
Pojava zemljospoja u napojnoj mreži s pretežitim udjelom nadzemnih vodova nije rijetka. Zbog toga je i važno istražiti dali i kako zemljospoj utječe na rad elektrane. Kako je ovaj problem u literaturi vrlo slabo opisan na primjeru elektrane na drvenu masu mE Strizivojna koja se napaja iz TS 110/20/10 kV Đakovo 3 izvršeno je istraživanje ovog utjecaja. Kako je pojavnost zemljospoja u mreži najčešća od svih smetnji, odnosno kvarova, za očekivati je da generatori ne bi smjeli biti osjetljivi na njihovu pojavu.

Elektrana Strizivojna napaja se preko dugačkog 20 kV nadzemnog voda iz mreže kojoj je zvijezdište uzemljeno preko malog otpora i ograničeno na 150 A. Kod učestalih zemljospojeva u povezanoj galvanskoj mreži uočeno je da zbog pojave zemljospoja u mreži dolazi do pojave nesimetrije impedancije transformatora. Zbog toga od strane blok transformatora elektrane teku prema napojnoj točki struje kvara u sve tri faze. Pri tome je najveća struja u onoj fazi koja je u zemljospoju, dok se druge dvije smanjuju kako bi ukupna nulta struja bila jednaka nuli, budući da je blok transformator sa strane mreže u spoju trokut.

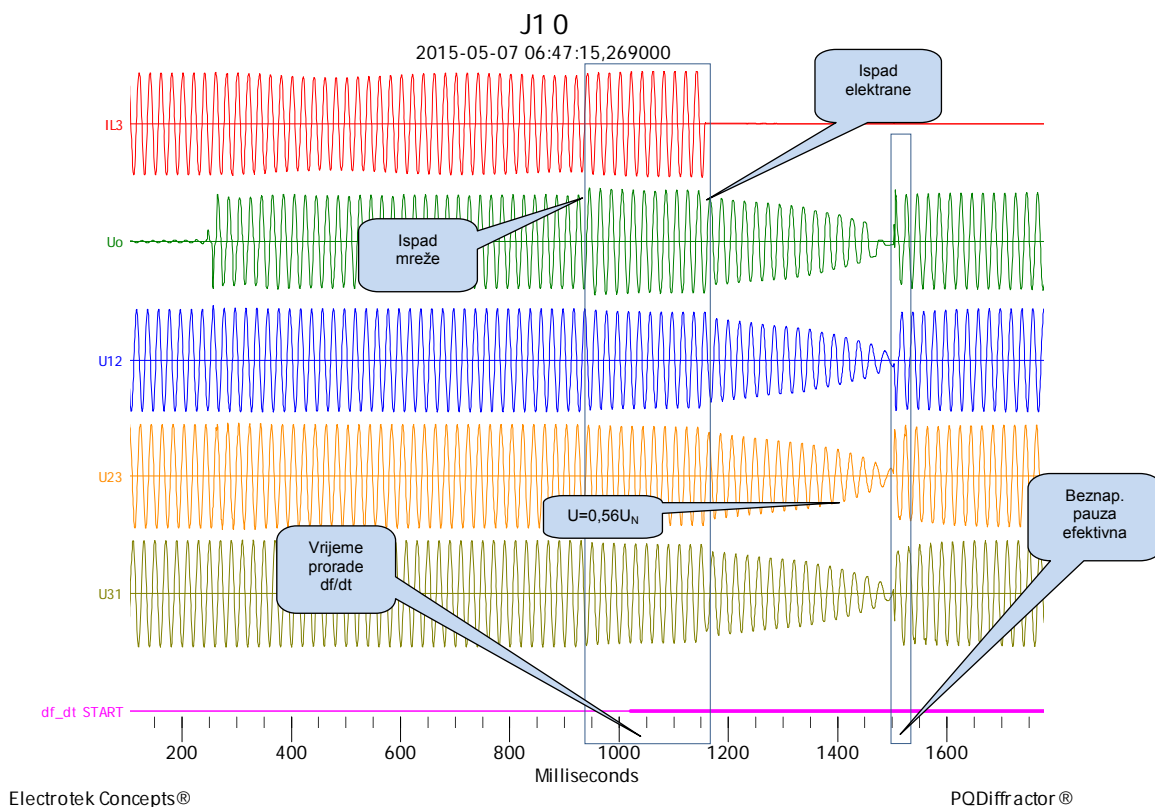
Na slici 4 na jednom od brojnih događaja zabilježen je trenutak pojave zemljospoja zbog kojeg dolazi do pomaka vektora napona [1]. Ovaj pomak iznosi 1 ms (18° el). Ovaj pomak može utjecati na rad ROCOF (rate of change of frequency) funkcije i na zaštitu od pomaka vektora napona. U samoj mE Strizivojni implementirana je ROCOF funkcija [1] kod koje je zabilježen nestabilan rad, budući da je kod svakog poremećaja dolazilo do njene pogrešne aktivacije. Naime debalans snage kod zemljospoja u mreži je relativno mali (reda veličine kW) pa nema temelja za odvajanje elektrane od mreže, dakle elektrana kroz ovakav kvar treba proći bez odvajanja od mreže.

Kako bi se u ovom konkretnom slučaju ublažila nestabilnost djelovanje ROCOF funkcije ugrađeno je dodatno vremensko zatezanje od 100 ms, a beznaponska pauza APU-a je povećana s 400 na 500 ms. Povećanje beznaponske pauze učinjeno je zbog zadržavanja stvarne efektivne beznaponske pauze.

Produženje vremenskog zatezanja ROCOF funkcije bez produženja beznaponske pauze APU-a utjecao bi na skraćivanje efektivne beznaponske pauze. Kako kod dugih vodova za vrijeme beznaponske pauze napon ne nestaje trenutno, nego se zadržava zbog rezonancije kapaciteta i induktiviteta mreže, skraćivanje beznaponske pauze može vod lišiti beznaponskog stanja, ako se vrijeme beznaponske pauze APU-a ne produlji.



Slika 4. Pomak vektora linijskog napona zbog zemljospoja u mreži 20 kV iz TS Đakovo 3



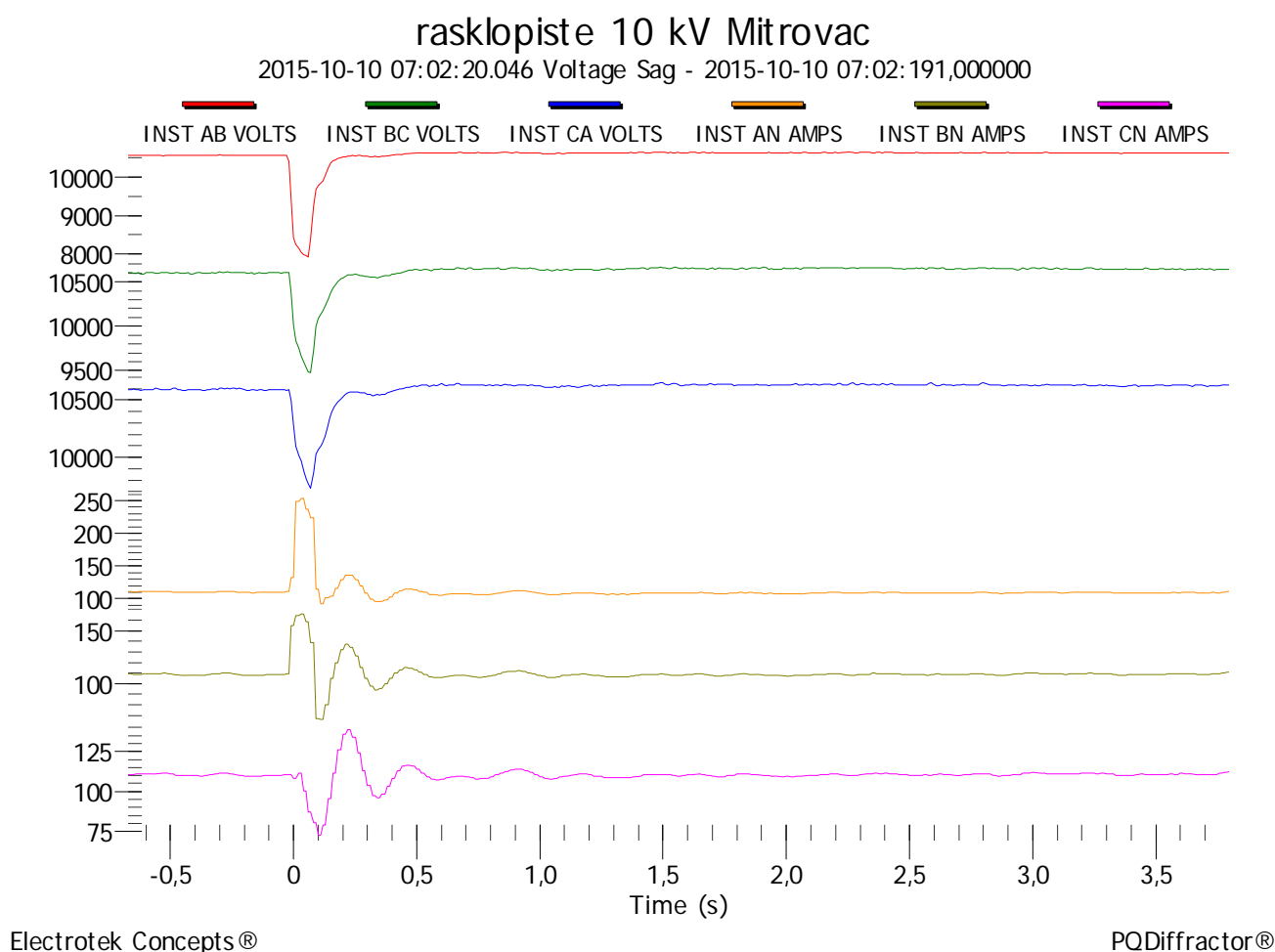
Slika 5. Odvajanje od mreže mE Strizivojna – ciklus APU-a

Na slici 5 vidi se primjer ciklusa APU-a kod zemljospoja napojnog voda nakon produženja beznaponske pauze s 400 na 500 ms. Kako se na slici 5 može vidjeti linijski napon na vodu 100 ms prije uklopa prekidača ima vrijednost $U_L=56\%U_N$, a to je vrijednost kod koje je vjerojatnost ponovnog paljenja luka na mjestu kvara velika. Dakle, bez dodatnog produljenja beznaponske pauze vjerojatnost pojavnosti prolaznih kvarova znatno bi se smanjila.

2.3. Prolazak elektrane kroz kvar

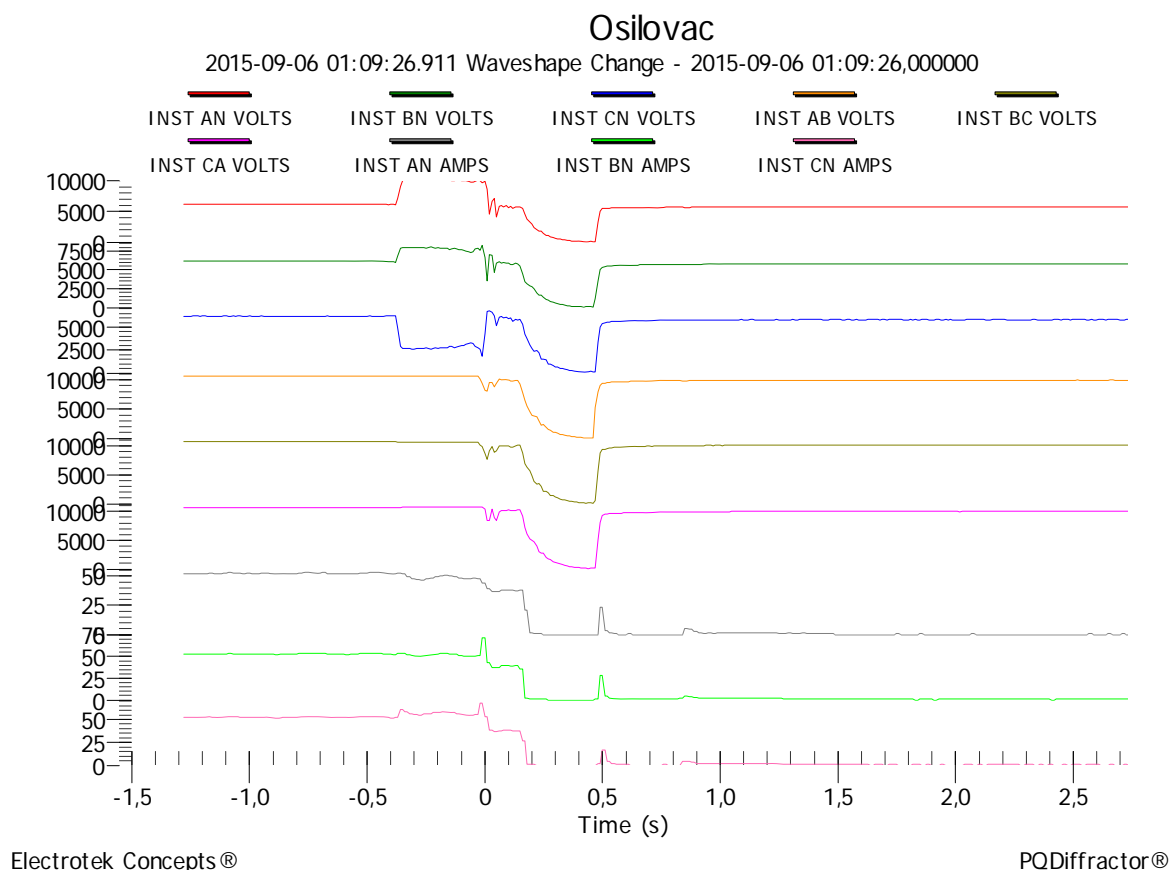
Propad linijskog napona negativno utječe na rad generatora. Prilikom propada napona dolazi do povećanja razlike između unutarnjeg napona generatora i napona mreže, zbog čega dolazi do povećanja struje generatora. Što je propad napon veći to će strujni udarac kroz generator biti izraženiji. Nakon što se stanje stabilizira, odnosno nakon što se napon vrati na vrijednost prije pojave smetnje i struje generatora moraju se vratiti u stanje prije pojave smetnje. Između ova dva stanja generator prolazi kroz prijelazno razdoblje čije trajanje ovisi o dubini i trajanju propada.

Kao primjer pokazat će se odziv generatora u mE Mitrovac na propad napona od 79% U_N u trajanju od 79 ms.



Slika 6. Odziv mE Mitrovac na propad napona 79% U_N , $t=79$ ms.
(iskazan u efektivnim vrijednostima)

Kao što se može vidjeti sa slike strujni udarac je u fazi L1 (narančasta) cca 2 puta veći od struje normalnog opterećenja, a aperiodski odziv je trajao oko 1 s, nakon čega je došlo do stabilizacije. Iz navedenog se može zaključiti kako je generator uredno prošao kroz smetnju koja je najčešće posljedica prolaznih kvarova u prijenosnoj mreži.



Slika 7. Odziv mE Osilovac na zemljospoj napojnog voda i brzi APU

Na slici 7 prikazan je odziv generatora mE Osilovac na zemljospoj napojnog voda u fazi C, koji se pojavljuje u trenutku $t=-400$ ms, a kroz koji generator uredno prolazi. Budući da je zemljospoj bio trajan u $t=0$ dolazi do isključenja napojnog voda zbog čega dolazi do debalansa snaga na vodu i pada napona na vodu eksponencijalno do nule. Kao što se može vidjeti do potpunog pada napona na nulu treba oko 400 ms.

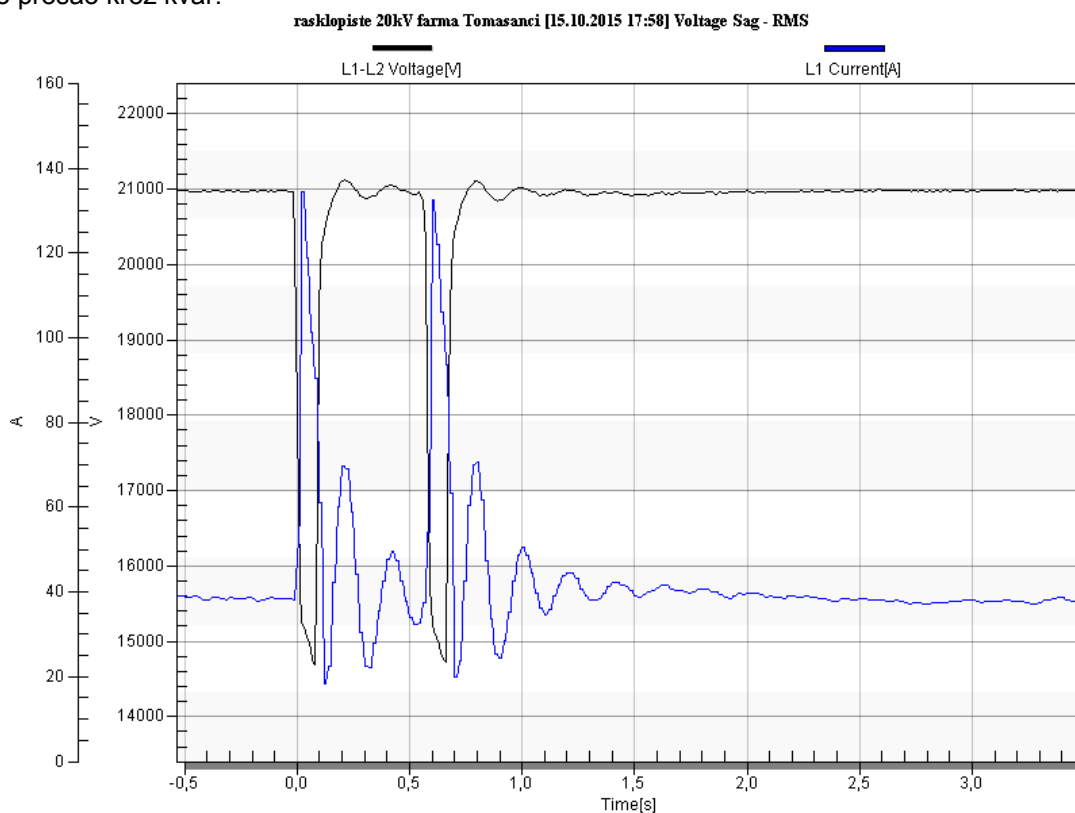
Očekivano ponašanje agregata (plinski motor+generator) za slučaj propada teško je predvidjeti jer nema dovoljno praktičnih spoznaja o ponašanju motora koje ovisi o tipu motora i nazivnoj snazi. Stoga je za praktičnu evaluaciju najkorisnije prikupljanje podataka o ponašanju veće grupe agregata sličnih ili istih osobina s ciljem stvaranja uzorka ponašanja, na temelju kojeg se onda može raditi usporedba sa svakim pojedinačnim agregatom.

2.4. Intermitentne smetnje

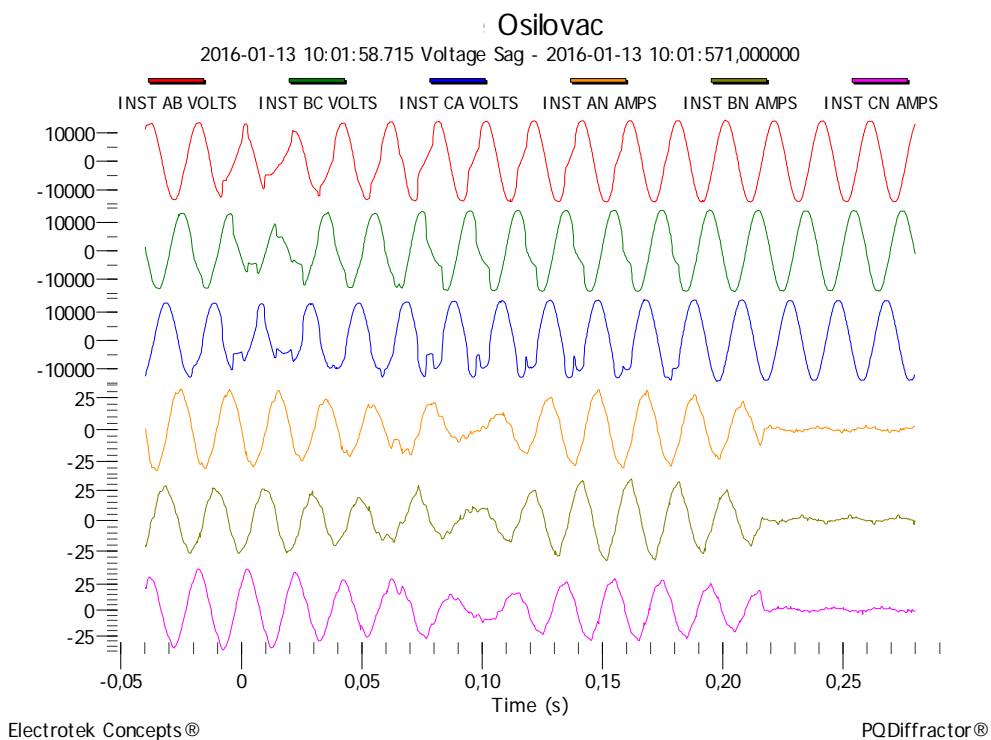
Smetnja u naponu može biti pojedinačna ili intermitentna. U slučaju da se smetnja ponavlja, generator će svaki put kada se ona pojavi prolaziti kroz prijelazno razdoblje. Ukoliko smetnje pojedinačno traju dovoljno kratko, generator će kroz njih uredno prolaziti. Hoće li proći kroz smetnju ovisi o jačini strujnog udaraca i trajanju njihovanja struje što izravno može utjecati na termičku zaštitu generatora, koja se uobičajeno realizira na niskonaponskim prekidačima. Više uzastopnih propada može stoga značajnije termički opteretiti generator. Hoće li generator ispasti iz pogona, ovisi i o trenutnom opterećenju generatora prije nego li se smetnja (smetnje) dogodila. Generator koji je radio sa smanjenim opterećenjem, posljedično navedenom, vjerojatno će moći proći kroz više smetnji.

Analizirajući ponašanje generatora pri smetnjama propada napona utvrđeno je kako se kod većine elektrana na bioplin s nazivnim snagama generatora od 1MW može zaključiti kako je period osciliranja efektivne vrijednosti struje od 150 do 225 ms, a vrijeme do smirivanja prijelazne pojave kreće se od 750 do 2000 ms. Pri tome je primijećeno da u najvećem broju događaja vrijeme do smirivanja prijelazne pojave iznosi 1 s. Kako se može vidjeti s narednih slika generator je prilično tolerantan na intermitentne kvarove koji ne traju dugo (događaju se unutar jedne poluperiode) i kod kojih napon ne

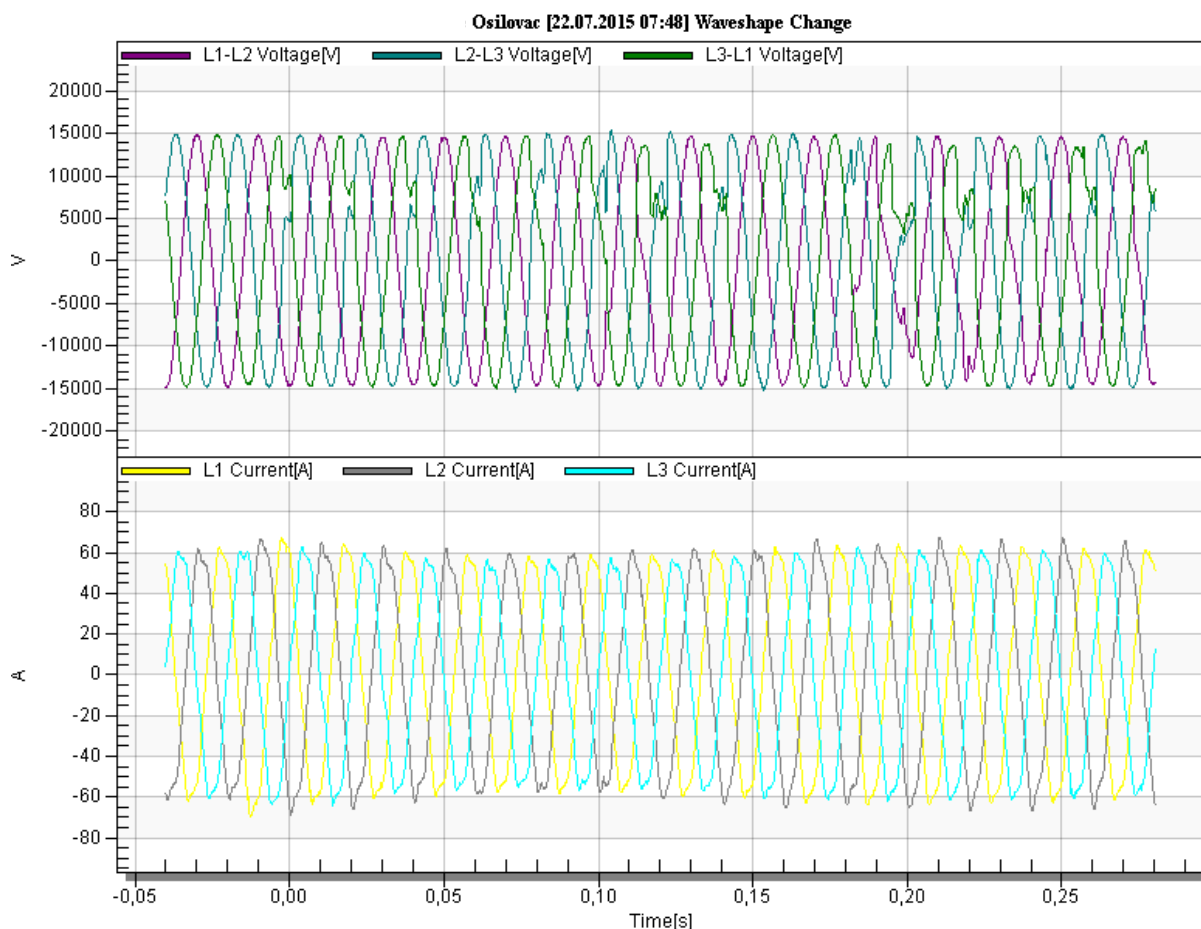
pada na nulu. Na slici 9 vidi se primjer kada sva tri linijska napona dožive propad, ali uglavnom za vrijeme negativne poluperiode, što može ukazati čak i na vrstu kvara. Generator u ovom slučaju nije uspio proći kroz kvar no nije poznato kojom zaštitnom funkcijom je isključen s mreže. Na slici 10 se opet može vidjeti sličan slučaj za vrijeme propada uglavnom pozitivnih poluperioda napona. U ovom slučaju generator je uredno prošao kroz kvar.



Slika 8. Odziv mE Tomašanci 2x1 MW na dva uzastopna propada napona



Slika 9. Ispad mE Osilovac nakon višestrukih probuja pri negativnoj poluperiodi napona



Slika 10. Prolazak mE Osilovac nakon višestrukih propada napona u sve tri faze.

2.5. Utjecaj distribuiranog izvora na smanjenje propada napona

Distribuirani izvor koji uredno prolazi kroz propad napona u mrežu za vrijeme propada napona plasira energiju stvarajući time pad napona u SN mreži. Ovime se u mreži održava veći napon nego što bi bio da distribuirani izvor injektira struju u mrežu. Time se indirektno može zaključiti kako ovi izvori utječu na smanjenje dubine propada, ali i na njegovo trajanje time indirektno poboljšavajući kvalitetu napona kod krajnjih potrošača. Ovaj utjecaj veći je u blizini izvora, a slabi što se više približavamo mjestu kvara koji je uzrokom smetnji. Ukoliko je smetnja posljedica kvara na prijenosnoj mreži utjecaj distribuiranog izvora na smanjenje dubine propada bit će najmanji na SN sabirnicama pojne točke, a najveći na sabirnicama susretnog postrojenja. Budući da distribuirani izvor u mreži može, ovisno o snazi i položaju njegovog priključka, utjecati na povećanje napona u iznosu od 2 do 6% U_N (pa i više) te uvažavajući činjenicu da udarna struja tijekom propada može iznositi 2 do 3 I_N , distribuirani izvor može utjecati na povećanje napona tijekom propada od 4 do 18% U_N . Budući da je utjecaj distribuiranog izvora na smanjenje propada nemoguće procijeniti bez usporedbe linijskih napona kada je izvor u pogonu odnosno nije, u radu nisu ni prezentirani nikakvi mjerni podaci za ovaj slučaj. Detaljnu procjenu stvarnog doprinosa moguće je načiniti jedino simulacijama, a što nije bio predmet ovog rada.

3. ZAKLJUČAK

Tijekom pogona svi potrošači električne energije, pa time i distribuirani izvori, izloženi su nizu smetnji, odnosno poremećaja opskrbnog napona. Ovi poremećaji u većoj ili manjoj mjeri utječu na rad malih elektrana na drvenu masu i bioplin. Kao najznačajniji poremećaji mogu se istaknuti zemljospojevi te pojedinačni i intermitentni propadi napona. Analizom utjecaja zemljospoja na rad elektrane utvrđeno je da zemljospoj, kod kojeg dolazi do značajnijeg pomaka vektora linijskog napona, može utjecati na rad zaštite od pomaka vektora napona i ROCOF zaštitne funkcije.

Analizom ponašanja malih elektrana tijekom propada napona zaključeno je kako male elektrane dobro podnose uobičajene i najčešće smetnje u naponu, a tek one smetnje s izraženom dubinom propada i trajanjem utječu na pojavu ispada.

Analizirajući ponašanje generatora pri smetnjama propada napona utvrđeno je kako se kod većine elektrana na bioplin s nazivnim snagama generatora od 1MW može zaključiti kako je period osciliranja efektivne vrijednosti struje od 150 do 225 ms, a vrijeme do smirivanja prijelazne pojave kreće se od 750 do 2000 ms. Pri tome je primijećeno da u najvećem broju događaja vrijeme do smirivanja prijelazne pojave iznosi 1 s.

Elektrana koja uredno prolazi kroz propad napona u mrežu za vrijeme propada napona plasira energiju stvarajući time pad napona u SN mreži. Ovime se u mreži održava veći napon nego što bi bio da elektrana ne injektira struju u mrežu. Time se indirektno može zaključiti kako elektrane utječu na smanjenje dubine propada, ali i na njegovo trajanje time indirektno poboljšavajući kvalitetu napona kod krajnjih potrošača.

LITERATURA

- [1] M. Geidl, Swiss federal institute of technology "Protection of power systems with distributed generation: State of the art", Zurich, 2005.
- [2] Energy emergency executive committee – small embedded generation working group, "Working group report", 2010.
- [3] Alstom T&D Protection and control, "Protective relay application guide – third edition", Stafford, UK, 1987.
- [4] Jenkins, Allan i dr. " Embedded generation", London, UK, 2008.
- [5] EN 50160, Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks, July 2010.