

Nenad Rudan  
DP ELEKTROISTRA Pula  
[nenad.rudan@hep.hr](mailto:nenad.rudan@hep.hr)

Dino Jakovčić  
DP ELEKTROISTRA Pula  
[dino.jakovcic@hep.hr](mailto:dino.jakovcic@hep.hr)

## PRAKTIČNA ISKUSTVA PRI MJERENJU KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

### SAŽETAK

U radu je dan pregled višegodišnjih mjerenja kvalitete električne energije na području distribucijskog područja Elektroistra Pula. Mjerenja su vršena temeljem godišnjih planova mjerenja kvalitete električne energije Elektroistre Pula, temeljem pritužbi korisnika mreže i temeljem zahtjeva pojedinih odjela unutar Elektroistre. Planirana mjerenja su vršena ovisno o maksimalnim opterećenjima distribucijske mreže i karakteru potrošnje, pretežito ljeti ili zimi.

Naglasak je dan na mjerenjima nesukladnim važećoj regulativi uz opis načina ili prijedloga rješenja uočenih nesukladnosti.

**Ključne riječi:** kvaliteta električne energije, mjerenja, pritužbe, nesukladnosti

## PRACTIAL EXPERIENCES IN POWER QUALITY MEASUREMENTS

### SUMMARY

This paper presents an overview of several years of power quality measurements in Elektroistra Pula. Measurements were made on the basis of annual electricity quality measurement plans, based on network users' complaints and requests from individual departments within Elektroistra. Planned measurements are made depending on the maximum loads of the distribution network and the nature of consumption, predominantly in the summer or winter.

The emphasis was given on measurements of non-conforming valid regulation with a description of the ways or suggestions for solutions of observed nonconformities.

**Key words:** power quality, measurements, complaints, non-compliance

## 1. UVOD

U radu je razmatran petogodišnji period u kojem su vršena mjerenja kvalitete električne energije na distribucijskom području Elektroistre Pula. Predmetna mjerenja su vršena temeljem pritužbi korisnika mreže, godišnjih planova i zahtjeva pojedinih odjela unutar Elektroistre Pula.

Planirana mjerenja su vršena ovisno o maksimalnim opterećenjima distribucijske mreže i karakteru potrošnje, pretežito ljeti ili zimi, a temeljem podataka o lokacijama mjerenja dostavljenih iz pogonskih ureda područja.

Mjerenja temeljem pritužbi korisnika mreže vršena su po dospjelim pritužbama kućanstava, obrta i proizvodnih pogona.

Mjerenja temeljem zahtjeva vršena su najčešće na zahtjev Odjela za razvoj i pristup mreži zbog procjene mogućnosti izdavanja zatraženih priključaka na elektroenergetsku mrežu. Dio mjerenja vršen je i temeljem zahtjeva Odjela za vođenje pogona radi uvida u naponske prilike na pojedinim dijelovima elektroenergetske mreže.

Sva su mjerenja, temeljem pritužbi korisnika mreže i planirana mjerenja, vršena sukladno preporukama HRN EN 50160 [1] a analiza rezultata mjerenja vršena je sukladno preporukama navedene norme i zahtjeva iz Mrežnih pravila elektroenergetskog sustava [2]. Prilikom mjerenja nastojalo se, kad god je bilo moguće, uspostaviti vertikalnu mjerenu od razmatranog korisnika mreže prema napojnoj TS x/0,4 kV. Na taj se način dobiva kompletna slika naponskih prilika duž cijelog NN izvoda te se lako uočava je li problem na mjestu priključenja korisnika mreže ili je pak i na većem dijelu razmatrane mreže.

Manji dio mjerenja temeljem zahtjeva vršena su u kraćim periodima od propisanih sedam dana, ovisno o broju raspoloživih mjernih uređaja i hitnoći dostave rezultata mjerenja.

## 2. PREGLED PROVEDENIH MJERENJA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Rezultati prethodno opisanih mjerenja sumarno su prikazani tablicama I. i II. u nastavku.

Tablica I. Pregled mjerenja kvalitete električne energije provedenih temeljem pritužbe korisnika mreže i planiranih mjerenja

| godina | Temeljem pritužbe korisnika mreže | Sukladno       |             | Planirana | Sukladno       |             |
|--------|-----------------------------------|----------------|-------------|-----------|----------------|-------------|
|        |                                   | Mrežna pravila | HRN EN50160 |           | Mrežna pravila | HRN EN50160 |
| 2013.  | 16                                | 16             | 13          | 22        | 22             | 22          |
| 2014.  | 17                                | 15             | 11          | 33        | 33             | 32          |
| 2015.  | 10                                | 8              | 8           | 21        | 21             | 20          |
| 2016.  | 11                                | 11             | 8           | 21        | 21             | 21          |
| 2017.  | 22                                | 17             | 11          | 10        | 10             | 9           |

Tablica II. Pregled mjerenja kvalitete električne energije provedenih temeljem zahtjeva

| godina | Temeljem zahtjeva | SUKLADNO       |             |
|--------|-------------------|----------------|-------------|
|        |                   | Mrežna pravila | HRN EN50160 |
| 2013.  | 29                | 29             | 29          |
| 2014.  | 27                | 27             | 27          |
| 2015.  | 10                | 9              | 9           |
| 2016.  | 35                | 35             | 31          |
| 2017.  | 30                | 29             | 25          |

### 3. ANALIZA PROVEDENIH MJERENJA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

#### 3.1. Pritužbe korisnika mreže

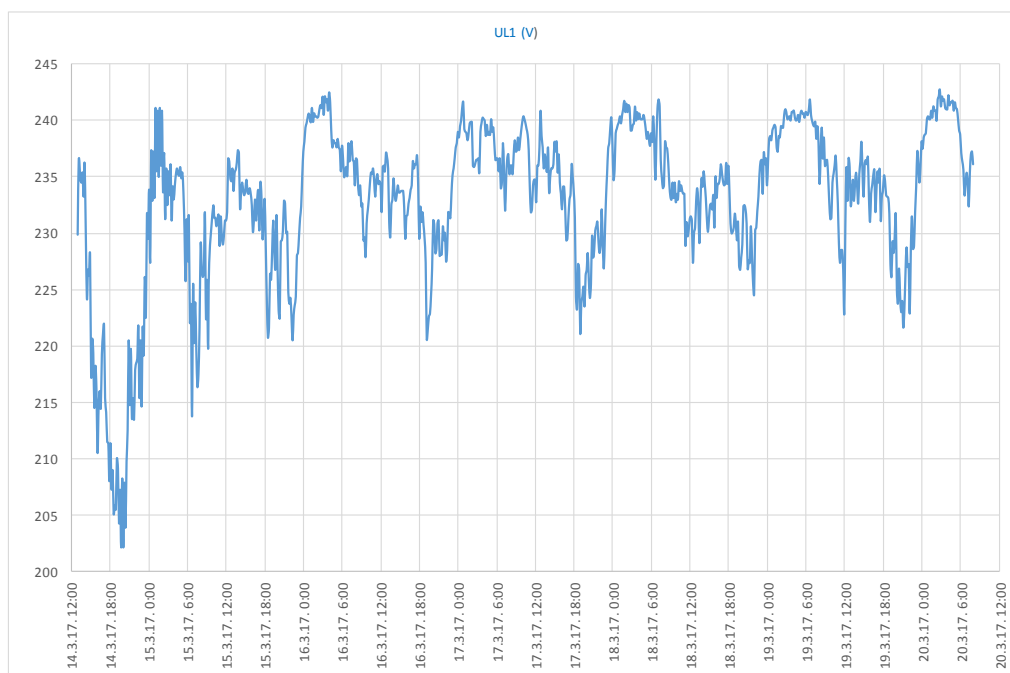
U razmatranom periodu od pet godina izvedeno je 76 mjerenja kvalitete električne temeljem pritužbe korisnika mreže, tablica I. Od toga je 51 mjerenje sukladno normi HRN EN 50160, a 67 mjerenja je sukladno Mrežnim pravilima. Dakle 25 mjerenja (32.9 %) nije sukladno navedenoj normi a 9 mjerenja (11,8 %) nije sukladno Mrežnim pravilima.

Najdominantnije su pritužbe korisnika mreže tipa kućanstvo (cca 90%) dok su preostale pritužbe raznih vrsta obrta i manjih proizvodnih pogona.

Najveći broj pritužbi kućanstava čine jednofazni korisnici mreže dok je veoma malen broj pritužbi trofaznih korisnika mreže. Važno je napomenuti da se mjereni uređaji za snimanje kvalitete električne energije kod jednofaznih korisnika mreže postavljaju u KPO ili KPMO ormariće u kojima ima vrlo malo slobodnog prostora. Stoga je poželjno imati mjerne uređaje manjih dimenzija kako bi se isti mogli postavljati u navedene ormariće.

Većina opravdanih pritužbi na kvalitetu električne energije pokušava se riješiti jednostavnijim zahvatima u razmatranoj NN mreži u što svakako spada prebacivanje korisnika mreže na manje opterećene faze (simetriranje opterećenja) ili regulacijom napona u napojnoj TS x/0,4 kV. Ukoliko navedeno nije moguće potrebno je izvesti rekonstrukciju razmatrane NN mreže s ciljem poboljšanja naponskih prilika, primjerice zamjena dijela NN mreže vodičima većeg presjeka ili polaganjem novih NN izvoda iz TS.

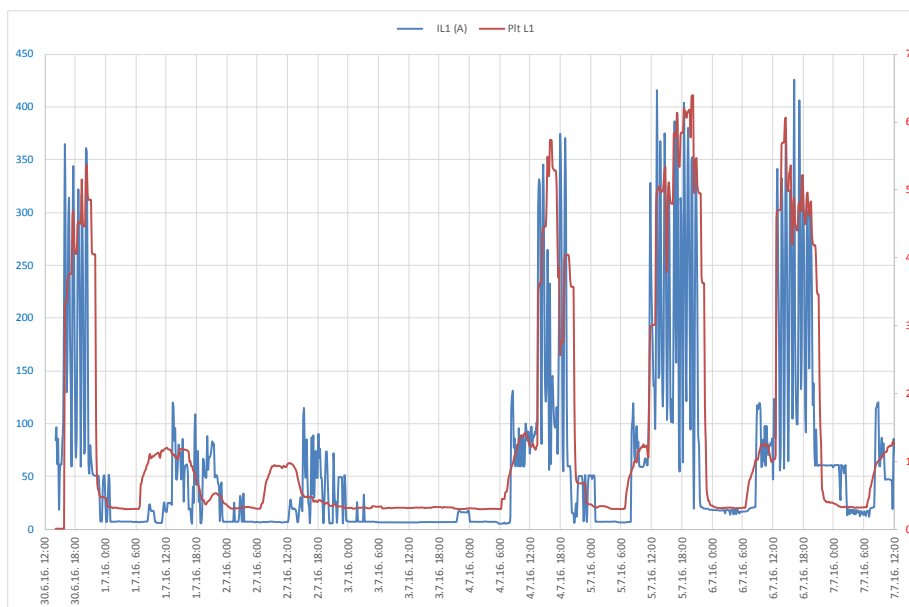
Slikom 1. prikazan je iznos prosječne efektivne vrijednosti napona snimljen u KPO ormaru jednofaznog korisnika mreže koji je zahvatima u NN mreži prespojen na manje opterećenu fazu čime su znatno poboljšane naponske prilike. Pažljivim promatranjem slike može se primijetiti da je prespajanje izvršeno 15. ožujka u jutarnjim satima.



Slika 1. Prikaz prosječne efektivne vrijednosti napona prije i nakon prespajanja u NN mreži

Razmatrane pritužbe obrta i manjih proizvodnih pogona pokazale su se neopravdane tj. u svim razmatranima slučajevima kvaliteta napona zadovoljava. No u tri slučaja je zabilježen nedopušten povratni utjecaj uređaja korisnika mreže sukladno Mrežnim pravilima. U slučaju samoposlužne praonice automobila zabilježen je iznos 15. harmonika napona iznosa većeg od propisanog HRN EN 50160, (u jednoj fazi zabilježen je iznos 0.55% dok je dozvoljena vrijednost 0,5% u 95% vremena) a u preostala dva slučaja zabilježen je nedopušteni iznos jakosti dugotrajnih i kratkotrajnih flikera.

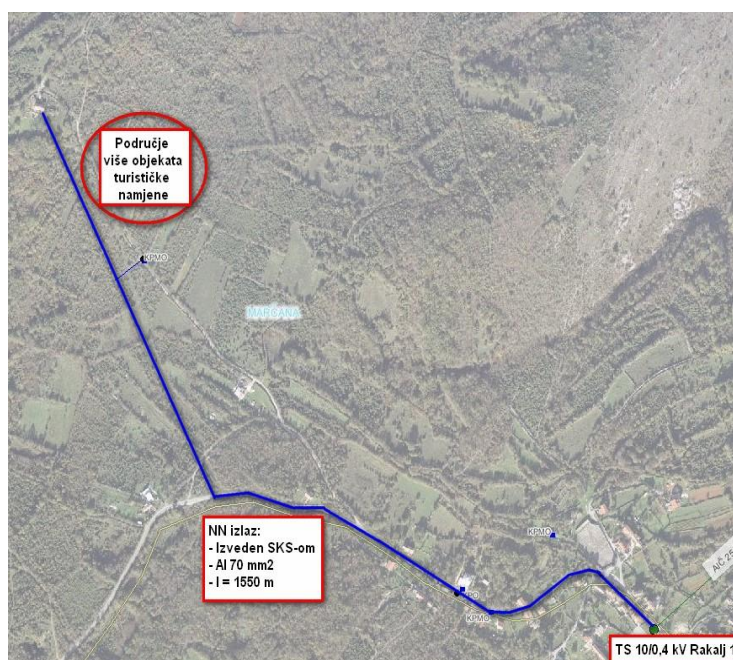
Rezultati jednog takvog mjerenja prikazani su slikom 2. na kojoj se uočava izravna veza između struje jedne faze korisnika mreže i jakosti dugotrajnih flikera u istoj fazi. Radi se o korisniku mreže s trofaznim priključkom. Zbog gotovo simetričnog iznosa struja i jakosti flikera u sve tri faze, a zbog preglednije slike, prikazan je odnos istih u samo jednoj fazi. U konkretnom slučaju radi se o pogonu za obradu medicinskog otpada priključenog na kraju NN mreže u industrijskoj zoni. Povećanjem proizvodnog kapaciteta počeli su se javljati problemi u radu strojeva uzrokovani značajnim oscilacijama napona kao izravna posljedica potrošnje samog pogona.



Slika 2. Međusobni odnos struje opterećenja i jakosti dugotrajnih flikera u jednoj fazi

Drugo nesukladno mjerenje odnosi se na kamenoklesarski obrt koji su već prepoznati kao uzročnici nedopuštenih iznosa jakosti flikera [5].

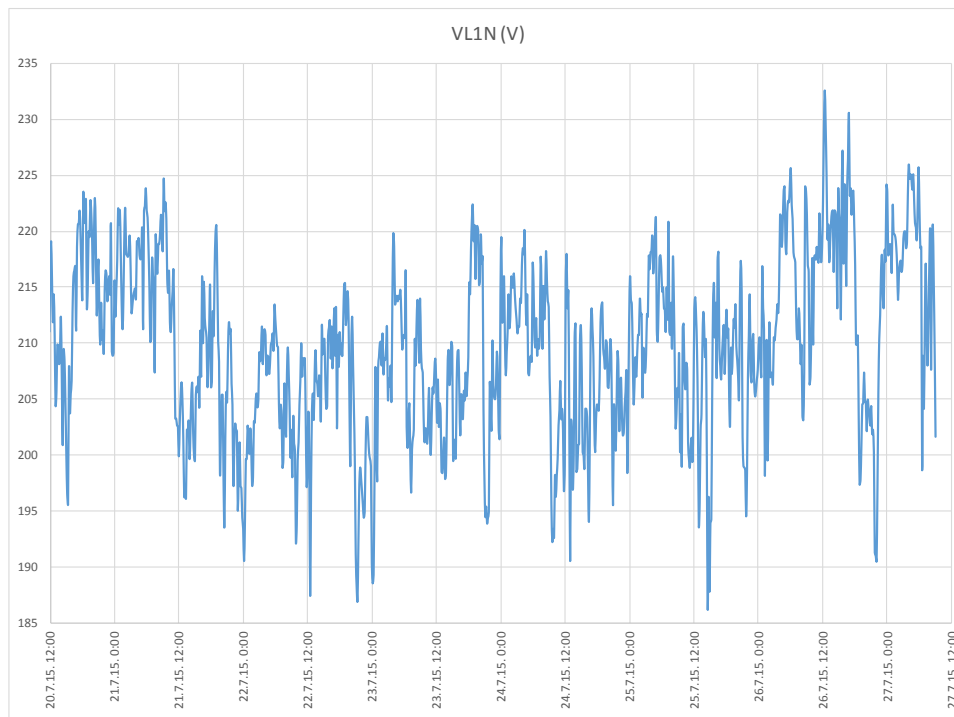
Područja sa najviše pritužbi korisnika mreže su ona s 10 kV nominalnim naponom distribucijske mreže srednjeg napona i vrlo dugačkim mrežama niskog napona gdje je udaljenost od izvora do priključka korisnika mreže značajna.



Slika 3. Konfiguracija NN mreže na kojoj je vršeno mjerenje kvalitete napona

Primjer iz prakse gdje su zadovoljene obje prethodno navedene nepovoljne pogonske situacije je primjer naselja Rakalj i okolice. Slikom 3. prikazana je TS 10/0,4 kV Rakalj s jednim NN izlazom koji napaja više objekata turističke namjene – kuće za odmor.

Radi se o izuzetno dugačkom NN izvodu na kojem se raspodjela opterećenja može podijeliti u dvije zone. Prva zona su kućanstava u neposrednoj blizini napojne TS dok se u drugoj, značajno udaljenoj zoni od napojne TS, nalaze kuće za odmor. Tijekom turističke sezone 2015. zaprimljena je pritužba na kvalitetu napona u predmetnoj zoni. Rezultati mjerenja prikazani su slikom 4.



Slika 4. Prosječna 10 minutna vrijednost napona

Obzirom na izuzetno loše naponske prilike (ispod dozvoljenih  $230 \pm 10\%$ ) pristupilo se promptnom rješavanju problema spomenute zone pri čemu je najprije je izvedeno simetriranje opterećenja predmetnog NN izlaza a potom i njegovo djelomično rasterećenje u prvoj zoni što je u tom trenutku bilo jedino izvedivo rješenje. Ponovnim mjerenjem kvalitete napona utvrđeno je da je ista značajno poboljšana, no poduzete radnje za trajno poboljšanje kvalitete napona nisu dovoljne. Iz tog razloga pristupilo se projektiranju nove TS koja će zasigurno riješiti problematiku napajanja obrađenog područja.

### 3.2. Planirana mjerenja

U istom je periodu izvedeno 107 planiranih mjerenja kvalitete električne energije. Od toga je 104 mjerenja sukladno normi HRN EN 50160 a sva su mjerenja sukladna Mrežnim pravilima. Dakle 3 planirana mjerenja (cca 3 %) nije sukladno navedenoj normi.

Prethodno je navedeno da su mjerenja vršena temeljem podataka o lokacijama mjerenja dostavljenih iz pogonskih ureda distribucijskog područja Elektroistra. Većina mjerenja vršena je tijekom ljetnih mjeseci kada zbog velikog broja turista dolazi do značajnog porasta potrošnje poglavito u turistički orijentiranim područjima čime značajno mogu biti narušene naponske prilike što je provedenim mjerenjima u nekoliko slučajeva i dokazano.

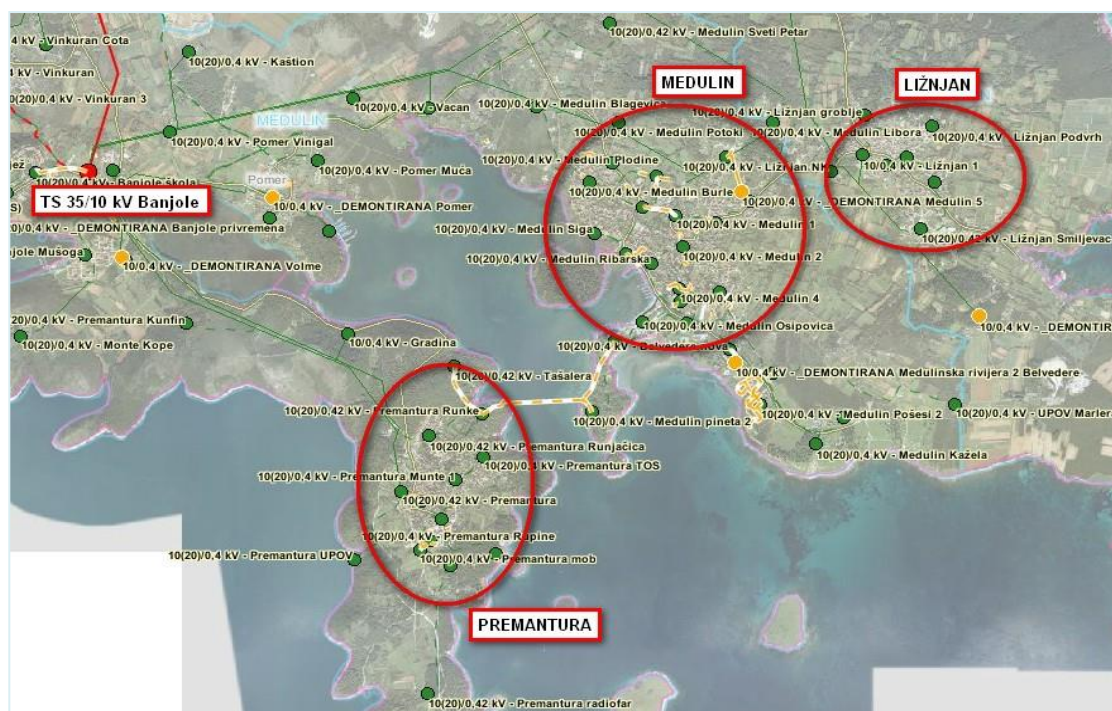
### 3.2. Mjerenja temeljem zahtjeva

Temeljem zahtjeva izvedeno je 131 mjerenje kvalitete električne energije, tablica II. Od toga je 121 mjerenje sukladno normi HRN EN 50160 a 130 mjerenja je sukladno Mrežnim pravilima. Dakle 10 mjerenja (7.6%) nije sukladno navedenoj normi a 1 mjerenje (0,7 %) nije sukladno Mrežnim pravilima.



Najveći broj zahtjeva za mjerenje kvalitete napona dolazi, istovremeno sa značajnim brojem pritužbi, u doba povećanog opterećenja mreže što je karakteristično za razdoblje od mjeseca lipnja pa sve do rujna. Uglavnom su to ruralna područja u kojima je došlo do značajnog razvoja u smislu izgradnje objekata turističke namjene, opremljenih sofisticiranom opremom koja zahtjeva određenu razinu kvalitete napona za svoj rad. Stoga se za potrebe izdavanja priključaka i provjeru naponskih prilika na zahtjev službe za vođenje pogona najveći broj mjerenja provodi u ljetnim mjesecima u navedenim područjima. Pretpostavka je da određeni broj mjerenja neće biti sukladan s propisima što je i vidljivo iz tablice II. U nastavku je opisana problematika jedne takve turističke zone.

Pored problematike kvalitete napona ruralnih područja, kao posljedica kontinuiranog porasta izgradnje objekata u turističke namjene kao i sve većim životnim standardom tamošnjeg stanovništva, javlja se problem kvalitete napona većih turističkih naselja. Posebice se to odnosi na područje naselja Medulin, Ližnjan i Premantura gdje se u posljednjih desetak godina bilježi značajan rast maksimalnih opterećenja što negativno utječe na kvalitetu napona s obzirom na konfiguraciju i naponsku razinu distribucijske mreže tog područja. Konfiguracija navedene 10 kV distribucijske mreže napajane iz TS 35/10 kV Banjole prikazana je slikom 5.



Slika 5. Konfiguracija 10 kV distribucijske mreže napajane iz TS 35/10 kV Banjole

Naselja Medulin, Ližnjan i Premantura napajana su iz TS 35/10 kV Banjole, instalirane snage 3 x 8 MVA, putem više zračnih i jednog kablenskog voda. Predmetna TS izvorno je instalirane snage 2x8 MVA međutim zbog značajnog porasta opterećenja, koja su 2017. godine iznosila 19.01 MVA, ugrađen je treći transformator. Glavnina opterećenja koncentrirana je na kraju SN vodova što uzrokuje velike padove napona u 10 kV distribucijskoj mreži, a isto rezultira lošim naponskim prilikama u pripadnoj niskonaponskoj mreži. Pored velikih padova napona u sredjenaponskoj mreži problem su i velike varijacije napona na NN sabirnicama TS 10/0,4 kV. U razdobljima malih opterećenja pad napona u SN mreži zanemariv što napon na NN sabirnicama u TS 10/0,4 čini krutim i stabilnim. U razdobljima visokih opterećenja napon na NN sabirnicama je izuzetno nestabilan zbog velikih padova napona u SN mreži, te zbog opterećenja pripadne NN mreže pojedine TS 10/0,4 kV. Obzirom da u razdobljima visokih opterećenja postoji velika razlika između minimalnih i maksimalnih opterećenja tijekom dana, dolazi do velikih razlika u naponu na NN sabirnicama pojedine TS 10/0,4 kV što negativno utječe na kvalitetu napona.

Iz tih razloga, a i s obzirom na značajan broj zahtjeva za mjerenjem kvalitete napona izvršena je analiza naponskih prilika predmetnog područja čiji je rezultat ukazao na potrebu sekundarne regulacije napona po pojedinoj TS 10/0,4 kV, a sve u ovisnosti o minimalnim i maksimalnim opterećenjima pojedine trafostanice. U skladu s provedenim mjerenjima izvršena je prilagodba napona u svakoj pojedinoj TS 10/0,4 kV. Navedeno je vatrogasna mjera koja osigurava stabilnost u kvaliteti napona u procijenjeno

trogodišnjem razdoblju dok je za trajno rješenje problema ključan dovršetak izgradnje TS 110/20 kV Medulin i prelazak predmetnog područja na 20 kV naponsku razinu što je predviđeno za 2018./2019. godinu. Puštanjem u pogon TS 110/20 kV Medulin izvor napajanja seli se u središte konzuma čime SN mreža dobiva potpuno drugu konfiguraciju čime se ujedno rješava problematika kvalitete napona područja Medulina, Ližnjana i Premanture.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je dan pregled višegodišnjih mjerenja kvalitete električne energije na području distribucijskog područja Elektroistra Pula. Mjerenja su vršena temeljem godišnjih planova mjerenja kvalitete električne energije Elektroistre Pula, temeljem pritužbi korisnika mreže i temeljem zahtjeva pojedinih odjela unutar Elektroistre.

Najveći broj pritužbi na kvalitetu električne energije dolazi od korisnika mreže tipa kućanstvo, pri čemu većinu čine jednofazni korisnici mreže sa ograničenim prostorom na mjestima postavljanja uređaja za mjerenje kvalitete električne energije (KPO/KPMO) stoga je poželjno imati mjerne uređaje malih dimenzija.

Nastojati uspostaviti vertikalnu mjerenu od razmatranog korisnika mreže prema napojnoj TS x/0,4 kV čime se dobiva kompletna slika naponskih prilika duž cijelog NN izvoda, te se lako uočava je li problem na mjestu priključenja korisnika mreže ili je pak i na većem dijelu razmatrane mreže.

Prilikom pripreme mjerenja poželjno se informirati kod korisnika mreže o karakteristikama trošila priključenih u njegovoj instalaciji i instalacijama u neposrednoj okolini, te sukladno tome odabrati mjerne uređaje koji će se koristiti u predmetnom mjerenju, poglavito kod korisnika mreže sa mogućim negativnim povratnim utjecajem na mrežu.

Neke od uočenih nesukladnosti moguće je riješiti na jednostavan način, bez dodatnih financijskih ulaganja, poput simetriranja opterećenja ili prebacivanja korisnika mreže na manje opterećene faze. U nekim slučajevima su potrebni kompleksniji zahvati koji iziskuju i financijska ulaganja, poput rekonstrukcije NN mreže ili uzgradnje nove napojne transformatorske stanice.

Najkorisnija mjerenja su se pokazala ona na zahtjev korisnika mreže gdje se detektiraju nesukladnosti i slabe točke u mreži koje do tada nisu zapažene ili nisu uzete u obzir. Za potrebe Odjela za razvoj i pristup mreži korisnije je koristiti određene programske pakete za analizu tokova snaga, padova napona, gubitaka i kratkih spojeva nego postavljati mjerenja koja su ionako direktna posljedica konfiguracije mreže.

#### 5. LITERATURA

- [1] HRN EN 50160:2012 - Naponske karakteristike električne energije iz javnog distribucijskog sektora (EN 50160:2010)
- [2] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, "Narodne novine" broj 36/06, 2006.
- [3] Vlada Republike Hrvatske, Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom, "Narodne novine" broj 14/06, 2006.
- [4] Barry W. Kennedy: Power Quality Primer, The McGraw-Hill Companies, 2000.
- [5] N. Rudan, I. Burul: "Utjecaj priključenja kamenorezačkog pogona na kvalitetu napona"; 3. (9.) savjetovanje Hrvatskog ogranka elektrodistribucijske konferencije, Sveti Martin na Muri, 2012., SO2-07
- [6] Nenad Rudan: Mjerenje i analiza kvalitete električne energije u ruralnoj elektrodistribucijskoj mreži, Magistarski rad, Zagreb, srpanj 2011.