

Nenad Rudan, dipl.ing.el.  
HEP – ODS d.o.o., Elektroistra Pula  
[nenad.rudan@hep.hr](mailto:nenad.rudan@hep.hr)

Mate Lasić, dipl.ing.el.  
KONČAR – Institut za elektrotehniku d.d., Zagreb  
[mate.lasic@koncar-institut.hr](mailto:mate.lasic@koncar-institut.hr)

## PRAKTIČNA UPORABA REZULTATA MJERENJA KVALITETE NAPONA U DIJAGNOSTICI FLIKERA

### SAŽETAK

Naselja Krnica i Rakalj napajana su dugačkim zračnim vodovima relativno malog presjeka. Trase zračnih vodova iz rasklopišta Peruški prema navedenim naseljima prolaze vrlo zahtjevnim i teško pristupačnim terenom izloženim učestalim atmosferskim pražnjenjima. Navedene okolnosti uzrokom su čestih i dugačkih prekida u napajanju električnom energijom, poglavito za vrijeme nevremena. Sve učestalije pritužbe kupaca na kvalitetu napajanja električnom energijom te veliki angažman djelatnika Elektroistre na otklanjanju nastalih kvarova ubrzale su razradu i izvođenje pouzdanijeg, samim time i kvalitetnijeg napajanja, predmetnog područja električnom energijom. Promjene u napajanju izvode se s ciljem realizacije projekta 10(20) kV kableske veze od RS 10(20) kV Peruški do Raklja u dvije etape. U prvoj etapi izvodi se kableska veza između RS Peruški i Krnice. U drugoj etapi izvodi se kableska veza od Krnice do Raklja.

Na području oba naselja vršena su mjerenja kvalitete napona. Analizom dobivenih rezultata, sukladno normi HRN EN 50160:2008, uočena je previsoka razina jakosti dugotrajnih flikera na svim mjernim lokacijama samo kada su u naselju Rakalj u pogonu dva kamenoklesarska pogona. Razlog tome je mala snaga kratkog spoja distribucijske mreže te se flikeri sa niskog napona putem iste šire spomenutim područjem.

U članku je obrađena praktična uporaba rezultata mjerenja kvalitete napona u dijagnostici flikera i njihovom otklanjanju. Izvršen je proračun snage kratkog spoja za predmetnu SN mrežu prije izmjena u napajanju te nakon svake etape kabliranja. Isto je popraćeno mjerenjima kvalitete napona napajanja te usporedbom razine flikera i snage kratkog spoja na pojedinim točkama SN mreže.

**Ključne riječi:** kvaliteta napona, flikeri, snaga kratkog spoja

## PRACTICAL USE OF VOLTAGE QUALITY MEASUREMENT RESULTS FOR FLICKER DIAGNOSTIC

### SUMMARY

Krnica and Rakalj area are powered by long overhead lines of relatively small cross-section. Overhead lines route from substation Peruški by Krnica and Rakalj undergo a very demanding and inhospitable terrain, exposed to frequent atmospheric discharges. These circumstances have caused frequent and long interruptions of power supply, especially during storms. All the frequent complaints of customers on the quality of power supply and a large Elektroistra employee engagement to fix faults caused expedite the development and execution of more reliable and quality power supply. Changes in MV network are performed with the aim of the project implementation 10 (20) kV cable connection from RS 10 (20) kV Peruški to Rakalj in two stages. In the first phase running cable between the Peruški and Krnica. In the second phase, running cable between Krnica and Rakalj.

In the area of both villages were carried out voltage quality measurements. The analysis of the results, according to HRN EN 50160:2008, the perceived level of long term intensity is too high at all measuring locations only when they are in place at the facility two Rakalj stonemasonry registrations. The reason for this is a small short-circuit power of distribution network and flickers spread from low voltage through the medium voltage network in whole mentioned area.

The article discussed the practical use of measurement results of voltage quality in the flicker diagnosis and their elimination. A short-circuit power calculation is made for SN network changes before and after each cabling stage. The same is accompanied by measurements of voltage quality supply and comparing the level of flickers and short-circuit power at certain points of MV network.

**Key words:** voltage quality, flicker, short-circuit power

## 1. UVOD

Područje uz istočnu obalu Istre, u okolici naselja Marčane, Krnice, Raklja napajano je iz TS 35/10(20) kV Vodnjan putem dva 10(20) kV dalekovoda do rasklopišta 10(20) kV Peruški, te nadalje dugačkim zračnim vodovima relativno malog presjeka. Trase zračnih vodova iz rasklopišta Peruški prema navedenim naseljima prolaze vrlo zahtjevnim i teško pristupačnim terenom izloženim učestalim atmosferskim pražnjenjima (40 grmljavinskih dana godišnje). Navedene okolnosti uzrokom su čestih i dugačkih prekida u napajanju električnom energijom, poglavito za vrijeme nevremena.

Brojne i sve učestalije pritužbe kupaca na kvalitetu napajanja električnom energijom, veliki angažman djelatnika Elektroistre na otklanjanju nastalih kvarova ubrzale su razradu i izvođenje pouzdanijeg, samim time i kvalitetnijeg napajanja, predmetnog područja električnom energijom. Promjene u napajanju izvode se s ciljem ostvarivanja 10(20) kV kabeleske veze od RS 10(20) kV Peruški do naselja Rakalj. Radovi se izvode u dvije etape. U prvoj etapi kablira se dionica od RS 10(20) kV Peruški do naselja Krnica, dok se u drugoj etapi kablira preostala dionica od naselja Krnica do naselja Rakalj.

## 2. POSTAVLJANJE UREĐAJA ZA MJERENJE KVALITETE NAPONA

Sukladno obvezama iz Općih uvjeta za opskrbom električnom energijom [1] u Elektroistri Pula započete su aktivnosti vezane uz mjerenje kvalitete napona. Naselje Rakalj i okolica identificirani su kao područje u kojem se mogu očekivati problemi s kvalitetom napona napajanja.



Slika 1. Geografski prikaz naselja Rakalj i napojnih TS

Rakalj je malo, poprilično raštrkano naselje napajano putem 5 transformatorskih stanica 10/0,4 kV s najudaljenijom točkom napajanja mjestašca Sveti Nikola smještenog na samoj obali, što je prikazano slikom 1.

Uvidom u napojnu SN mrežu određene su lokacije na kojima će biti postavljena mjerenja. Lokacije su prikazane slikom 1:

- a) FLUKE VR 1710, jednofazni snimač kvalitete napona:
  - TS 10/0,4 kV Rakalj 1 – najbliža u odnosu na dovod iz Krnice,
  - TS 10/0,4 kV Sveti Nikola – najudaljenija u odnosu na dovod iz Krnice,
- b) FLUKE 1745, trofazni uređaj, PQ logger,
  - TS 10/0,4 kV Rakalj Papini – na 0,4 kV priključen kamenoklesarski pogon

Mjerni uređaji su priključeni na 0,4 kV sabirnice označenih transformatorskih stanica. Mjerenja su vršena sukladno normi HRN EN 50160:2008, sedmodnevna mjerenja s 10 minutnim usrednjavanjem.

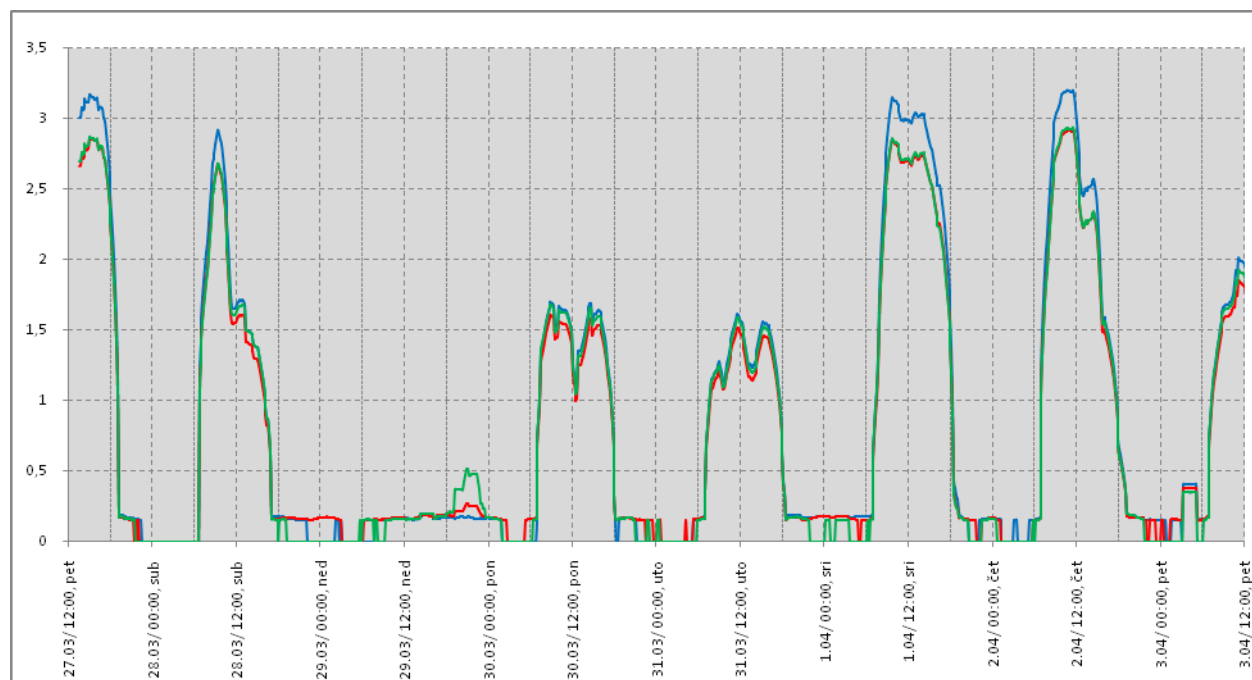
### 3. ANALIZA REZULTATA MJERENJA KVALITETE NAPONA

Analizom dobivenih rezultata uočena je nesukladnost sa normom HRN EN 50160:2008 [2] koja se očitovala u prevelikoj razini jakosti dugotrajnih flikera (Plt), na sve tri lokacije mjerenja. Flikere najčešće uzrokuju promjenjivi tereti relativno velikog iznosa u odnosu na snagu kratkog spoja mreže u pojedinoj točki mreže. Iznos jakosti flikera ovisi o snazi kratkog spoja (iznosu impedancije mreže) te o proizvodnom procesu ili strukturi trošila spojenih na distribucijsku mrežu (varijacije opterećenja u nekoj točki mreže u milisekundnom i sekundnom području).

Rakalj je malo, raštrkano naselje te konzum predmetne TS uglavnom čine kupci kategorije kućanstvo. Jedini značajniji potrošači su dva pogona kamenoklesarskog obrta.

Slikom 2 prikazana je sedmodnevna razdioba jakosti flikera na sve tri faze NN u TS Rakalj Papini, s ugrađenim transformatorom 160 kVA. Jedini značajniji potrošač spojen na NN sabirnice je pogon kamenoklesarskog obrta gdje je najznačajnije trošilo gater (pila za rezanje kamena i granita) nazivne snage 37 kW.

Dopuštena razina jakosti dugotrajnih flikera (Plt) sukladno HRN EN 50160:2008 [2] iznosi 1. Detaljnijom analizom vremenske raspodjele jakosti flikera uočeno je da isti prelaze vrijednosti propisane normom HRN EN 50160:2008 radnim danima uključujući i subotu, u periodu od 08<sup>00</sup> do 17<sup>00</sup> sati upravo za vrijeme rada navedenog kamenoklesarskog obrta.

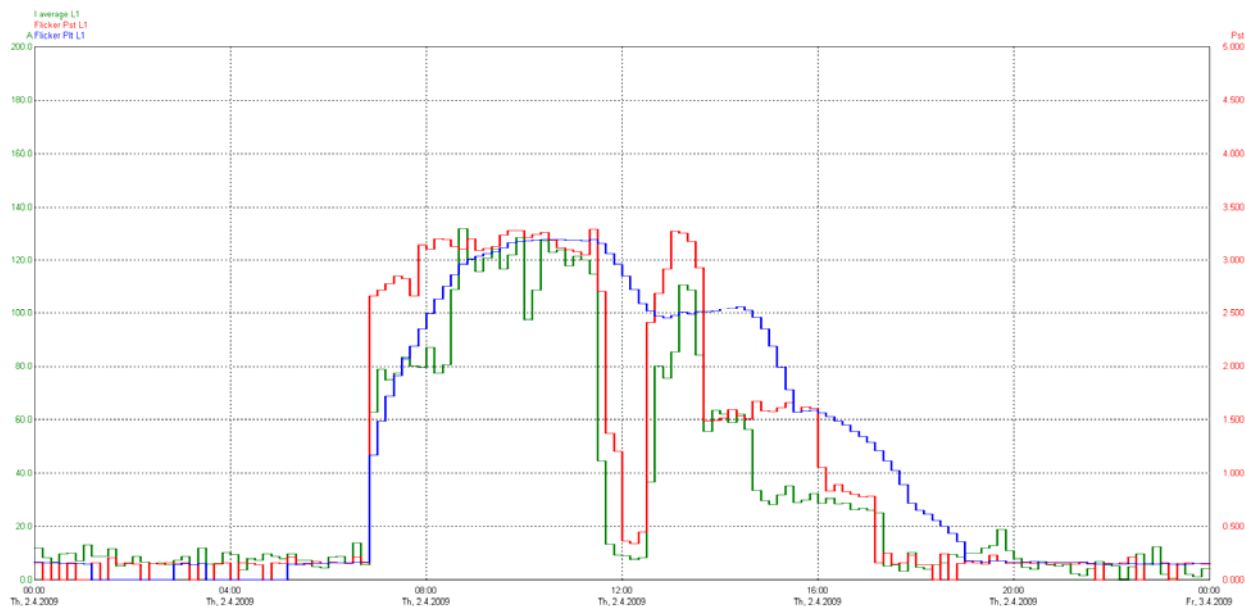


Slika 2. Sedmodnevni prikaz jakosti flikera na NN sabirnicama TS Rakalj Papini

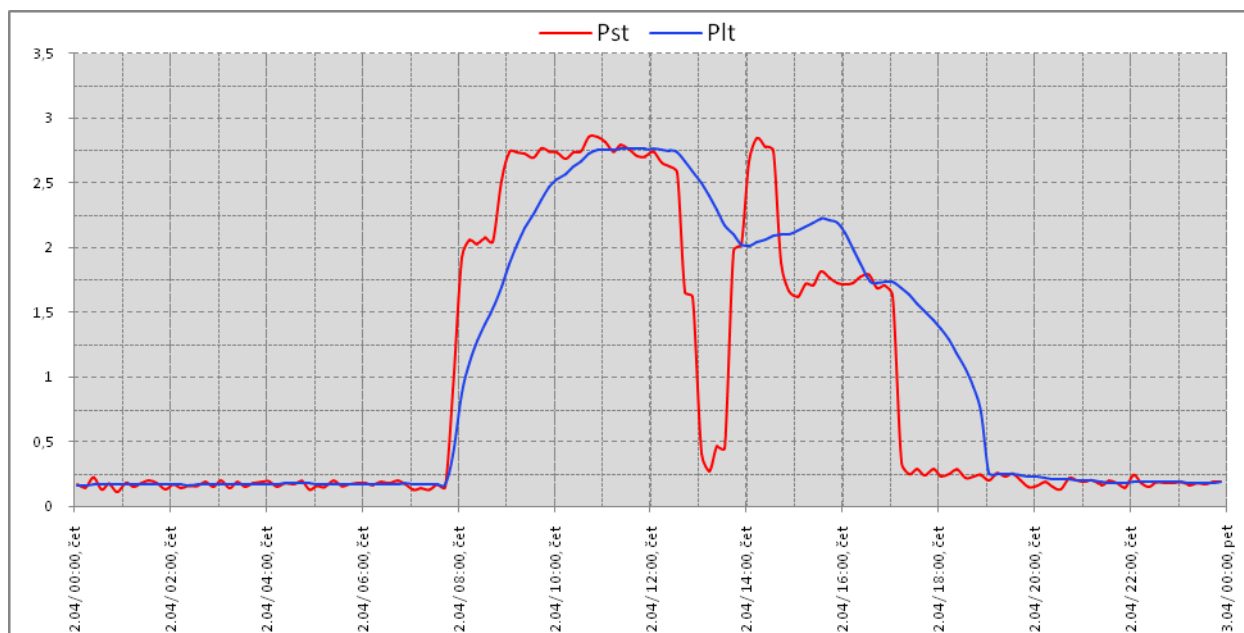
Usporedbom vremenske raspodjele jakosti dugotrajnih flikera na svim mjernim mjestima uočena je njihova usklađenost u vremenima pojavljivanja i iznosima što je vidljivo usporedbom dnevnih dijagrama prikazanih slikama 3 i 4.

Slikom 3 prikazan je odnos jakosti kratkotrajnih i dugotrajnih flikera u odnosu na struju opterećenja faze L1. Vidljivo je da je jakost kratkotrajnih flikera (crvena linija) izravno povezana sa strujom (zeleno polje) tj. prate trend promjene struje opterećenja.

Iz navedenog se može zaključiti da se zbog male kratkospojne snage SN mreže na području naselja Rakalj flikeri prenose na srednji napon odnosno na cijelo područje naselja Rakalj.

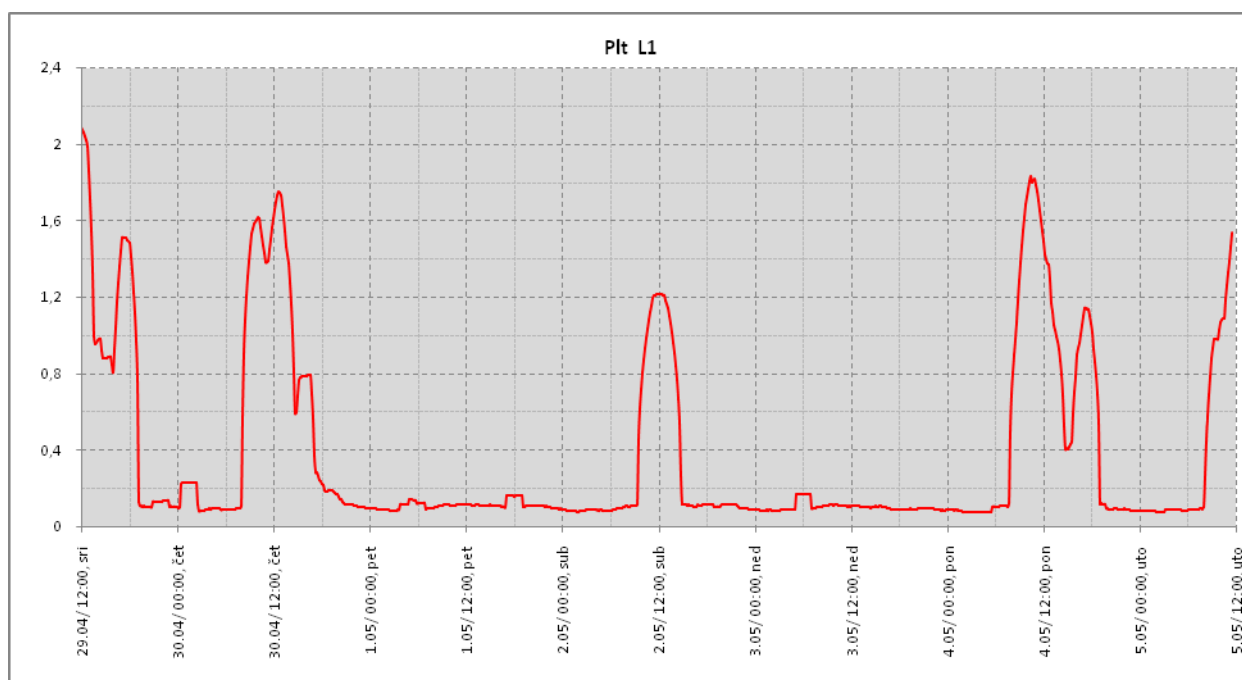


Slika 3. Dnevni dijagram ovisnosti struje, jakosti Plt i Pst u fazi L1 u TS 10/0,4 kV Rakalj Papini



Slika 4. Dnevni dijagram jakosti flikera Plt i Pst u fazi L1 u TS 10/0,4 kV Sveti Nikola

Tragom tih saznanja postavljena su mjerenja kvalitete napona u naselju Krnica u kojem nema značajnijih potrošača koji bi utjecali na kvalitetu napona. Krnica je putem 2300 m dugačkog dalekovoda Al/Če 25 mm<sup>2</sup> povezana s Rakljem. Mjerenje je postavljeno u razdoblju od 29.04. do 06.05. 2009. godine. Analizom dobivenih rezultata uočena je razina jakosti dugotrajnih flikera (Plt) viša od dopuštene i na području naselja Krnica. Previsoka razina jakosti dugotrajnih flikera javlja se isključivo u vrijeme rada kamenoklesarskih pogona u Raklju. Iz slike 5. uočava se da u petak 01.05. (blagdan) i nedjelju 03.05. nije bilo dugotrajnih flikera dok je njihov intenzitet radnim danima znatno viši od dopuštenog.



Slika 5. Prikaz jakosti dugotrajnih flikera na NN sabirnicama TS 10/0,4 kV Krnica

#### 4. MJERENJE I ANALIZA KVALITETE NAPONA NAKON PUŠTANJA U POGON KABELSKJE VEZE

Prije puštanja u pogon 10(20) kV kabelske veze Peruški – Krnica postavljena su mjerenja kvalitete napona s ciljem utvrđivanja promjene razine jakosti dugotrajnih flikera u odnosu na povećanu snagu kratkog spoja predmetne SN mreže.

Mjerenja su postavljena na slijedećim lokacijama:

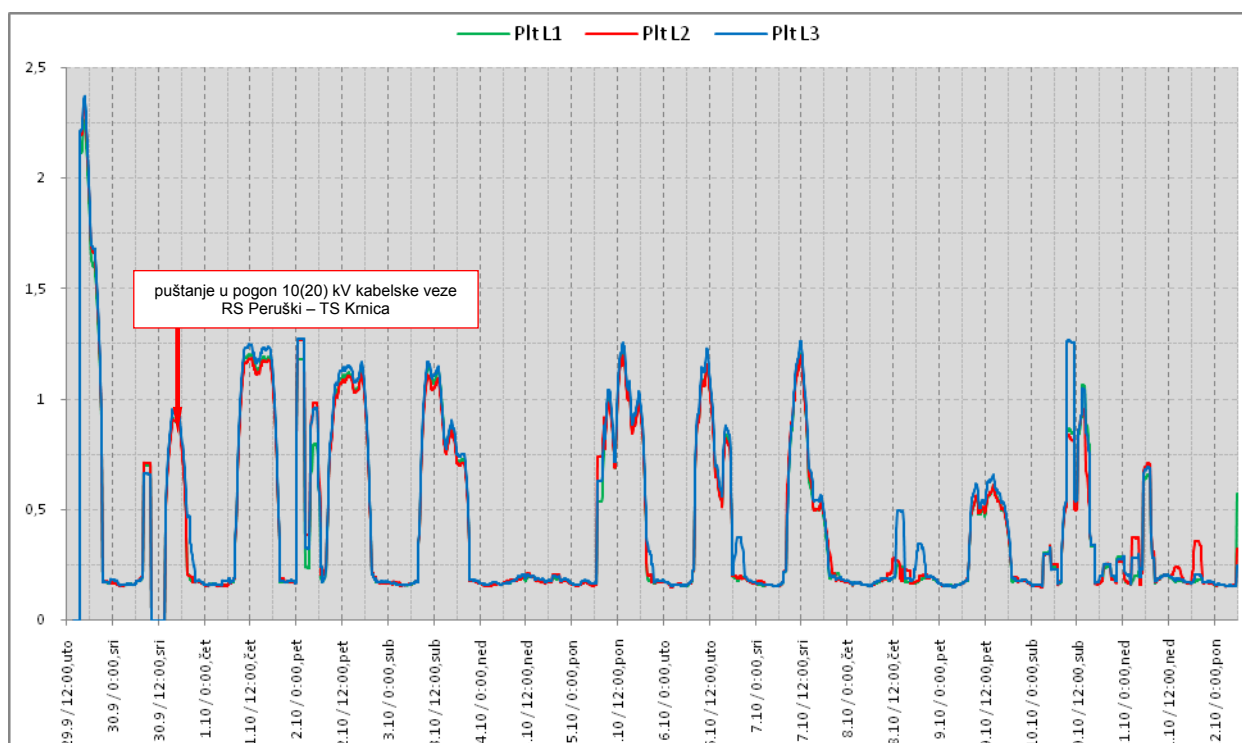
- FLUKE VR 1710, jednofazni snimač kvalitete napona - KPMO obiteljske kuće u Krnici,
- FLUKE 1745, trofazni uređaj, PQ logger - TS 10/0,4 kV Rakalj 1.

U naselju Krnica jednofazni snimač kvalitete napona postavljen je u KPMO obiteljske kuće budući su se u TS Krnica 1 izvodili radovi na uvlačenju i spajanju navedenih 10(20) kV kabela te je postajala bojazan da se mjerni uređaj ošteti ili odspoji.

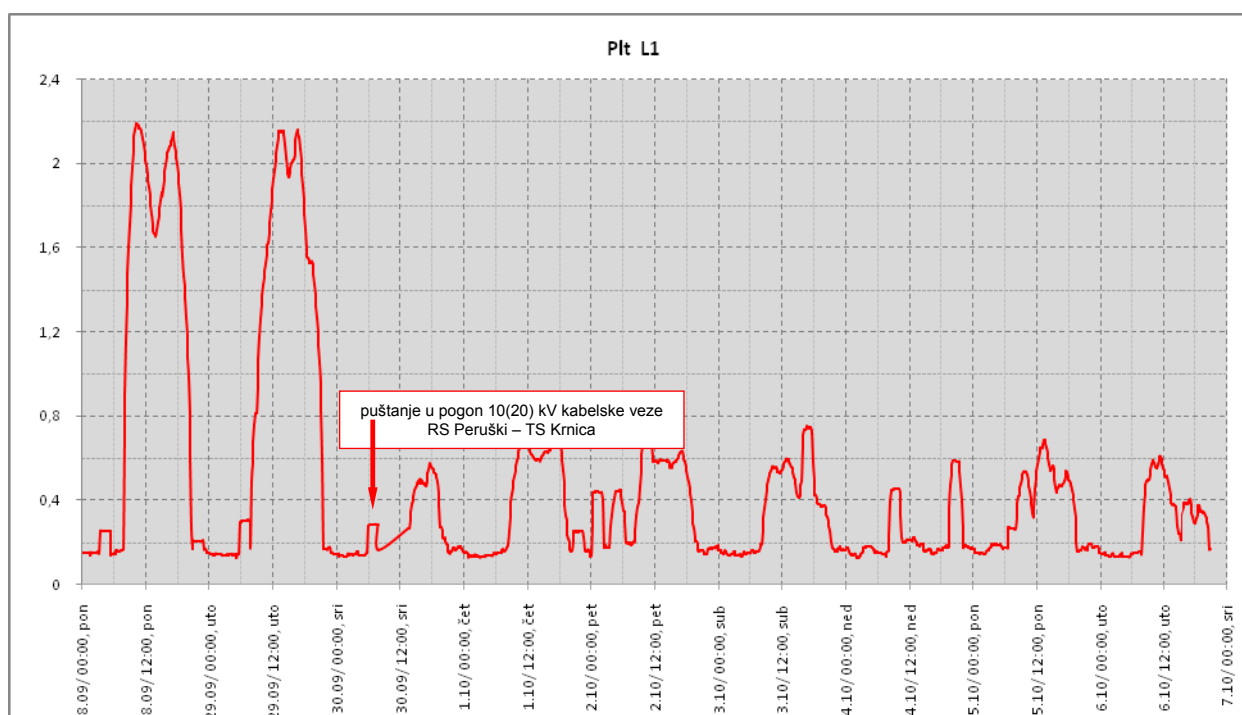
Dana 30. 09. 2010. u periodu od 08<sup>00</sup> do 13<sup>00</sup> izvođeni su radovi na puštanju u pogon 10(20) kV kabelske veze Peruški – Krnica što je i označeno na slikama 6 i 7.

Analizom dobivenih rezultata uočena je znatno niža razina jakosti dugotrajnih flikera (Plt) na području naselja Krnica i naselja Rakalj, u odnosu na prethodna mjerenja, iako su oba kamenoklesarska obrta bila u pogonu.

Iz slike 6 je vidljivo da je nakon puštanja u pogon predmetne kabelske veze razina jakosti dugotrajnih flikera na području naselja Rakalj smanjena na 1,2 što je iznad vrijednosti propisanih normom HRN EN 50160:2008. Iz slike 7 je vidljivo da je razina jakosti dugotrajnih flikera na području naselja Krnica smanjena na 0,7, mjereno u NN mreži, što je ispod vrijednosti propisanih normom HRN EN 50160:2008 [2].



Slika 6. Višednevni prikaz jakosti flikera Plt na NN sabirnicama TS 10/0,4 kV Rakalj 1



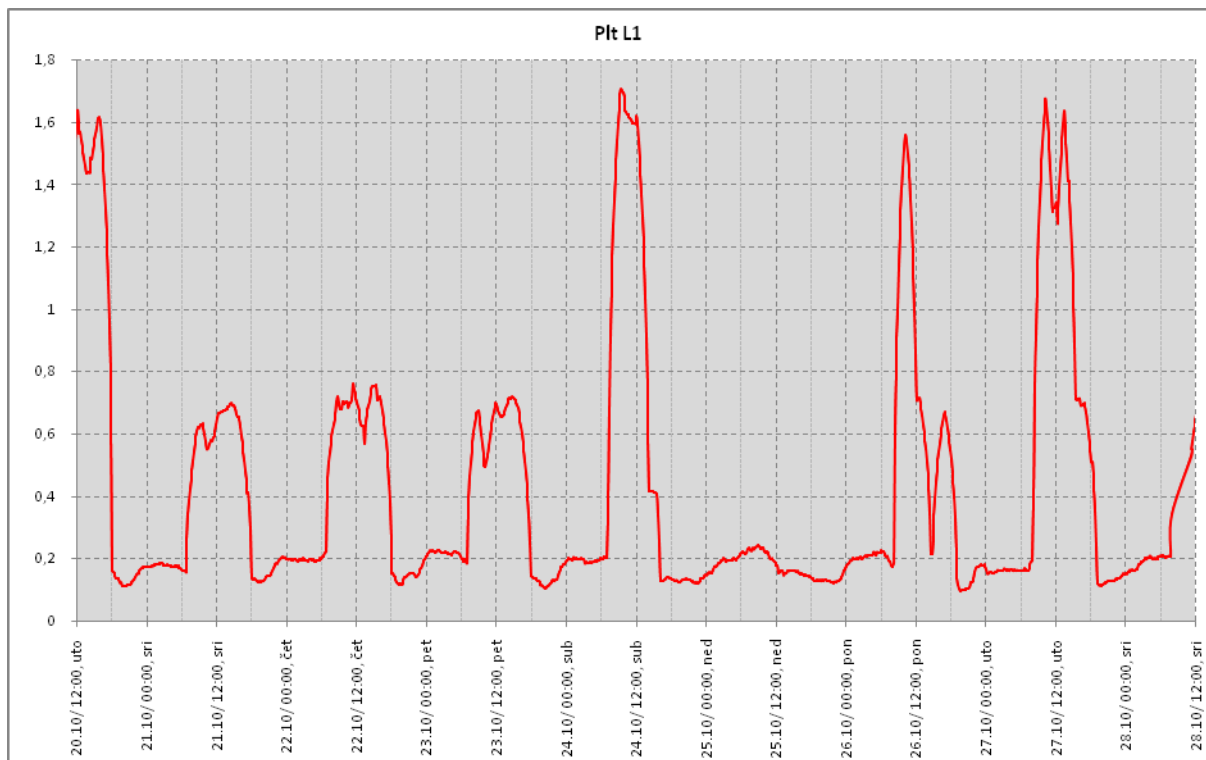
Slika 7. Višednevni prikaz jakosti flikera Plt u KPMO u naselju Krnica

Tri tjedna nakon puštanja u pogon kableske veze Peruški – Krnica postavljena su kontrolna mjerenja kvalitete napona, FLUKE VR 1710 jednofazni snimač kvalitete napona, na području naselja Rakalj na slijedećim lokacijama:

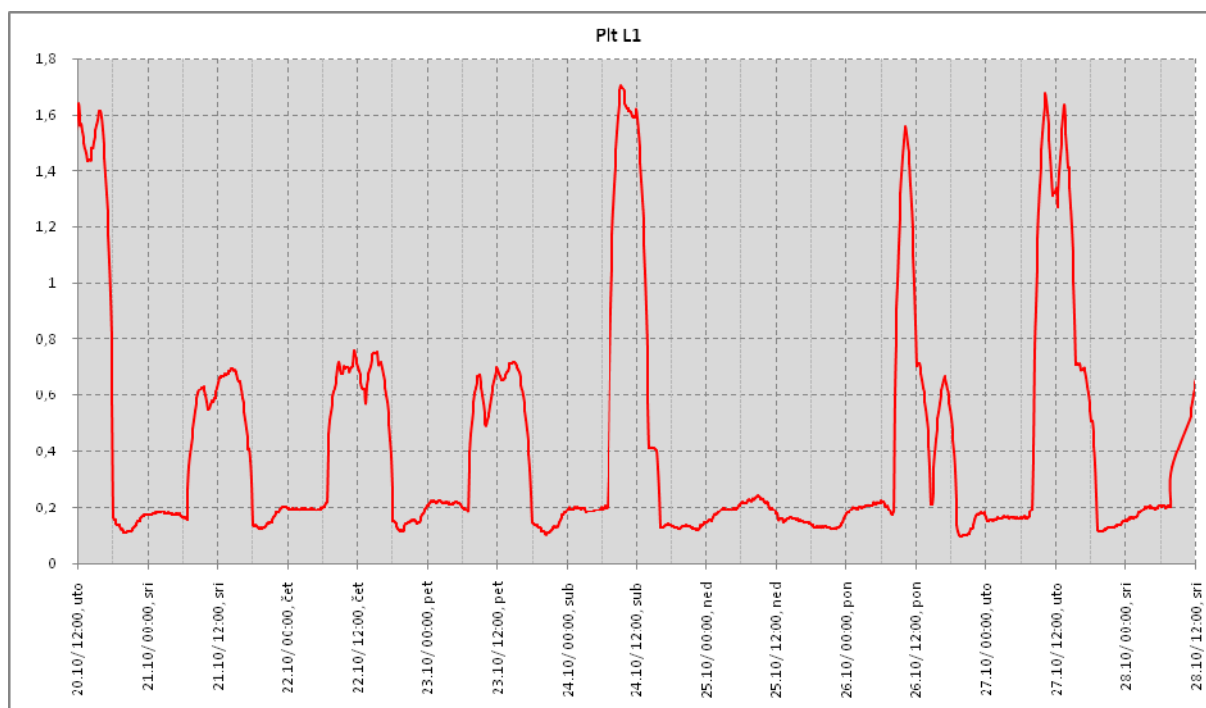
- TS 10/0,4 kV Rakalj 1 – najbliža TS u odnosu na dovod iz Krnice,
- TS 10/0,4 kV Sveti Nikola – najudaljenija TS u odnosu na dovod iz Krnice



Mjerenja su postavljena na NN sabirnice navedenih transformatorskih stanica. Tijekom perioda mjerenja oba su kamenoklesarska obrta bila u normalnom pogonu. Rezultati mjerenja prikazani su slikom 8. i slikom 9.



Slika 8. Višednevni prikaz jakosti flikera Plt u TS 10/0,4 kV Sveti Nikola



Slika 9. Višednevni prikaz jakosti flikera Plt u TS 10/0,4 kV Rakalj 1

Iz slika je vidljivo da je na obje lokacije oblik krivulje jakosti dugotrajnih flikera vrlo sličan, gotovo identičan što dokazuje da to nisu flikeri koji nastaju na konzumu tih transformatorskih stanica već su to flikeri uzrokovani radom navedenih kamenoklesarskih pogona koji se putem srednjenaponske mreže prenose po čitavom području naselja Rakalj.

Usporedbom razine jakosti flikera uočava se da su na obje lokacije iznosi jakosti dugotrajnih flikera znatno niži u odnosu na mjerenja prije puštanja u pogon 10(20) kV kableske veze Peruški – Krnica. Razina jakosti dugotrajnih flikera na NN sabirnicama TS Sveti Nikola većeg je iznosa nego na NN sabirnicama TS Rakalj 1. Razlog tome je manja snaga kratkog spoja na sabirnicama TS Sveti Nikola koje je najudaljenija stanica u odnosu na izvor TS 35/10 kV Vodnjan.

## 5. PRORAČUN SN MREŽE

Proračun kratkog spoja u razmatranoj SN mreži vršen je pomoću programskog paketa DlgSILENT PowerFactory 14.0.514. Izvršen je proračun kratkog spoja u uvjetima prije i nakon puštanja u pogon 10(20) kV kableske veze Peruški – Krnica. Proračun je vršen na pojednostavljenoj shemi napajanja predmetnog konzuma za TS Krnica 1 i TS Rakalj 1. Radi lakšeg vrednovanja dobivenih rezultata isti su prikazani tablicom I.

Puštanjem u pogon kableske veze Peruški – Krnica znatno je porasla snaga kratkog spoja na području naselja Rakalj i naselja Krnica. Na 10 kV sabirnicama TS Krnica 1 snaga kratkog spoja porasla je 1,65 puta dok je na 10 kV sabirnicama TS Rakalj 1 snaga kratkog spoja porasla 1,6 puta.

Slikom 10 prikazana je pojednostavljena shema napajanja naselja Rakalj u navedenom programskom paketu nakon puštanja u pogon 10(20) kV kableske veze Peruški – Krnica (prva etapa). Uz sabirnice pojedine transformatorske stanice, brojkama u pravokutniku, prikazani su rezultati proračuna gdje brojke predstavljaju slijedeće vrijednosti, primjer TS Rakalj 1 na 10 kV sabirnicama:

$$S_k = 10,32 \text{ MVA}$$

$$I_k = 0,596 \text{ kA}$$

Tablica I. Rezultati proračuna kratkog spoja i maksimalne izmjerene vrijednosti flikera

		Krnica 1		Rakalj 1		Rakalj Papini		Sv. Nikola	
		10 kV	0,4 kV	10 kV	0,4 kV	10 kV	0,4 kV	10 kV	0,4 kV
$S_k$ (MVA)	Prije kableske veze	8,15	2,77	6,48	1,84	5,85	2,49	5,38	1,00
	I etapa kableske veze	13,44	3,09	10,32	2,02	8,89	2,82	7,88	1,07
	II etapa kableske veze	13,44	3,09	12,45	2,08	10,52	2,93	9,17	1,09
$Z$ ( $\Omega$ )	Prije kableske veze	13,49	38,13	16,97	56,88	18,80	41,88	20,44	105,0
	I etapa kableske veze	8,18	33,75	10,66	51,88	12,38	37,5	13,97	98,13
	II etapa kableske veze	8,18	33,75	8,83	50,63	10,46	35,63	11,99	96,25
Plt max	Prije kableske veze		2,1		2,7		3,2		2,74
	I etapa kableske veze		0,55		1,5				1,7
	II etapa kableske veze		-		-				-



