

## **POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA KOD KRAJNJIH KUPACA U VANGRADSKOJ- SEOSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI**

Nenad ZLATKOVIĆ, EPS Distribucija, Ogranak ED Arandelovac, Srbija  
Nikola LAKETIĆ, Avalon partners, Srbija  
Aleksandar TATALOVIĆ, Avalon partners, Srbija  
Goran ŽIVKOVIĆ, JP EPS, Odsek za tehničke usluge Arandelovac, Srbija  
Nikola KRUŠKOVIĆ, EPS Distribucija, Ogranak ED Arandelovac, Srbija

### **KRATAK SADRŽAJ**

U radu je predstavljen praktičan model za poboljšanje naponskih prilika kod krajnjih kupaca u seoskoj sredini primenom postrojenja sa namenskom regulacijom tokova reaktivnih snaga, baziranog na korišćenju kondenzatorskih baterija i primenom uređaja VROT-18. Analizom kvaliteta napona kod konkretnih krajnjih kupaca u seoskoj sredini, uočena su odstupanja određenih parametara kvaliteta napona od vrednosti propisanih važećim normama. Simulacijom dela distributivne mreže kojom se napajaju dati korisnici, određena je optimalna lokacija i snaga postrojenja za poboljšanje naponskih prilika. Simulacijom ugradnje postrojenja izvršena je analiza kvaliteta napona koja treba da pokaže da se ovim postrojenjem može izvršiti popravak naponskih prilika u konkretnom slučaju. Merenja kvaliteta napona su vršena mrežnim analizatorima visoke klase tačnosti u skladu sa normom IEC 61000-4-30. Analiza dobijenih rezultata vršena je u skladu sa zahtevima koji su strožiji od zahteva norme SRPS EN 50160 i od zahteva Pravila o radu distributivnog sistema. Cilj rada je da predstavi relativno jednostavan i ekonomičan način za poboljšanje naponskih prilika u slučajevima gde su krajnji kupci dosta udaljeni od transformatorskih stanica, a investicija u izgradnju novih stanica nije isplativa.

**Ključne reči:** Kvalitet napona, mrežni analizator, simulacija mreže, stabilizacija naponskih prilika.

### **ABSTRACT**

This paper presents a practical model for improving end- customers voltage conditions in rural areas by using a plant with reactive power flow control, based on the use of capacitors and VROT-18. By analyzing the voltage quality of specific end- customers in the rural environment, values of certain parameters of the voltage quality deviated from the values prescribed by the valid norms. By simulating the part of the distribution grid that supplies near customers, the optimal location and power of the plant for improving the voltage conditions is determined. Simulation of the installation of the plant performed the analysis of the voltage quality that should show that this method can improve voltage conditions in the concrete case. The measurements were carried out by power quality analyzers of high accuracy class in accordance with IEC 61000-4-30. Analysis of the obtained results was performed in accordance with requirements more stringent than SRPS EN 50160 and more stringent than requirements of the Distribution grid code. The aim of the paper is to present a relatively simple and economical way to improve voltage conditions in cases where end customers are far away from transformer stations, and the investment in building new substations is not profitable.

**Keywords:** Voltage quality, power quality analyzer, network simulation, stabilization of voltage conditions.

Nenad ZLATKOVIĆ, EPS Distribucija, Ogranak ED Arandelovac, [nenad.zlatkovic@epsdistribucija.rs](mailto:nenad.zlatkovic@epsdistribucija.rs)  
Nikola LAKETIĆ, Avalon partners, [nlaketic@avalon.rs](mailto:nlaketic@avalon.rs)  
Aleksandar TATALOVIĆ, Avalon partners, [aleksandar.tatalovic@avalon.rs](mailto:aleksandar.tatalovic@avalon.rs)  
Goran ŽIVKOVIĆ, JP EPS, Odsek za tehničke usluge Arandelovac, [goran.zivkovic@eps.rs](mailto:goran.zivkovic@eps.rs)  
Nikola KRUŠKOVIĆ, EPS Distribucija, Ogranak ED Arandelovac, [nikola.kruskovic@epsdistribucija.rs](mailto:nikola.kruskovic@epsdistribucija.rs)

## UVOD

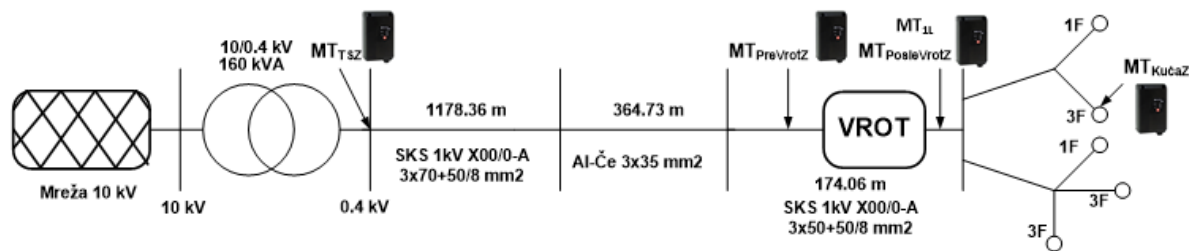
Električna energija na razvijenom tržištu predstavlja robu sa svojim kvalitetom i cenom. U skladu sa tim Nacionalni regulator AERS je praćenje kvaliteta električne energije uveo kao obavezu operatorima sistema. Na osnovu zahteva AERS, Operator distributivnog sistema (ODS) u svojim Pravilima o radu distributivnog sistema (Pravila o radu DS) uvodi obavezu praćenja kvaliteta električne energije, pre svega kroz praćenje kvaliteta napona. Kvalitet napona u pojedinim tačkama mreže zavisi od ukupnog međusobnog delovanja proizvodnih jedinica, prenosnih i distributivnih elemenata mreže te potrošača, koji su spojeni na elektroenergetsku mrežu, a opisana je harmonizacijom normi, Pravilima o radu DS. Održavanje propisanog nivoa kvaliteta napona u svakoj tački distributivne mreže je obaveza ODS. Navedena obaveza sprovodi se ograničavanjem negativnog povratnog uticaja opreme svih korisnika na mrežu. Naravno ODS je dužan da distributivnu mrežu gradi u skladu sa propisima i tehničkim zahtevima kako bi kupcima bio obezbeđen napon kvaliteta u skladu sa propisima. U skladu sa Pravilima o radu DS, ODS sprovodi monitoringe kvaliteta napona duž svoje distributivne mreže kako bi kupcima obezbedio napajanje u skladu sa zahtevima propisa. Poseban izazov pred ODS predstavlja obezbeđivanje naponskih prilika određenog kvaliteta u seoskim sredinama.

Ruralne, seoske sredine imaju tipičnu elektroenergetsku mrežu, koja se ogleda u malom broju transformatorskih stanica (snaga 50-250 kVA) sa dugačkim izvodima koji su izvedeni provodnicima malih preseka postavljenih na betonskim ili na drvenim stubovima. Izvodi često imaju veliki broj ogranaka i relativno teško pristupačnu trasu. Ove mreže karakteriše i mala snaga kratkog spoja, naročito na krajevima mreže. Vremenom dolazi do povećanja potrošnje konzuma, a samim tim i do pada napona na mestu priključenja kupaca, tako da je rad uređaja u tim slučajevima otežan a nekad i onemogućen. Ruralna, distributivna mreža je obično lošijih karakteristika od gradske distributivne mreže iako su kupci koji se napajaju sa ruralne mreže često specifičniji i zahtevniji od kupaca gradske, urbane mreže po pitanju energetske zahteva. Kupci napajani sa ruralne mreže pored uređaja koji su tipični i za gradsku mrežu često poseduju uređaje koji su specifični i koji mogu imati negativan uticaj na distributivnu mrežu (muzilice, hidroforni, mini hladnjače, kamenorezačka oprema, prekrupači...).

Cilj ovog rada je da prikaže načine na koje se može izvršiti poboljšanje naponskih prilika u tačkama priključenja kupaca koji se napajaju preko ruralne distributivne mreže uzevši u razmatranje konkretan izvod jedne ruralne distributivne mreže Ogranka Arandelovac u Topoli. Kao rezultat rada treba da proistekne predlog rešenja za poboljšanje naponskih prilika kupaca koji se napajaju sa konkretne mreže, tako da se vrednosti napona u tačkama priključenja kupaca održe u skladu sa zahtevima norme SRPS EN 50160. Takođe, primenom predloženog rešenja treba da se odloži ili izbegne izgradnja nove transformatorske stanice sa pripadajućim dalekovodom kao skupo i često komplikovano rešenje.

## OPIS PROBLEMA

Na osnovu žalbi vlasnika domaćinstava zaseoka Krstača, selo Plaskovac, opština Topola, na kvalitet napona napajanja, inženjeri Ogranka Arandelovac pristupili su analizi kvaliteta napona mreže sa koje se napajaju pomenuti kupci električne energije. Kao glavni problem istican je napon neadekvatne „niske“ efektivne vrednosti. U zaseoku Krstača se nalazi pet domaćinstava od kojih su tri trofazni kupci a dva monofazni. Karakteristika pomenutih domaćinstava je da su u pitanju uzgajivači voćnih kultura i da domaćinstva sa trofaznim priključcima poseduju hladnjače za skladištenje voća. Kupci se napajaju iz transformatorske stanice 10/0.4 kV „Škola Plaskovac“ sa izvoda broj 3 „Krstača“ dužine 1717.15 m, koji se izgrađen od: sks 1 kV X00/0-A 3x70 + 50/8 + 2x16 mm<sup>2</sup> (1178.36 m, od transformatorske stanice do stuba 30- deonica 1), Al-Če 35 mm<sup>2</sup> (364.73 m, od stuba 30 do stuba 39- deonica 2), sks 1 kV X00/0-A 3x50 + 50/8 mm<sup>2</sup> (174.06 m, od stuba 39 do stuba 43- deonica 3). Konfiguracija niskonaponske mreže (izvod broj 3 „Krstača“) prikazana je na slici 1. Na osnovu ranije vršenih merenja, analiza izmerenih rezultata, kao i na osnovu dosadašnjih pozitivnih iskustava inženjeri Ogranka Arandelovac su došli na ideju da na stubu 43 ugrade samoupravljeni regulacioni transformator VROT-18. Kako su se žalbe vlasnika domaćinstava na kvalitet napona napajanja nastavile i posle ugradnje uređaja VROT-18, inženjerima nije preostalo ništa drugo osim da urade detaljniju analizu kvaliteta napona, te na osnovu njenih rezultata iznađu moguća rešenja za poboljšanje naponskih prilika kod kupaca.



Slika 1 – Konfiguracija NNM izvod broj 3 „Krstača“ i prikaz mesta merenja

Merenja su vršena u letnjem i u zimskom periodu kako bi se dobio što je moguće realniji prikaz situacije na terenu. Takođe je urađena i simulacija na osnovu modela dela mreže, kako bi se razmotrilo više mogućnosti za rešavanje problema. Očekivano je da će simulacija u sprezi sa izvršenim merenjima pomoći u pronalaženju kvalitetnog rešenja opisanog problema, a da se proba izbeći izgradnja nove transformatorske stanice sa pripadajućim dalekovodom. Takođe, sprovedena analiza trebala je da da odgovor na pitanje da li su naponske prilike i posle ugradnje uređaja VROT-18 „loše“ kao što su sugerisali vlasnici domaćinstava i ako jesu koji je razlog tome i najvažnije na koji način dovesti naponske prilike u okvire koji su u skladu sa propisima.

## MESTA MERENJA I METODA MERENJA

Radi kvalitetnije analize naponskih prilika, vršena su merenja sledećih parametara:

- Efektivne vrednosti linijskih i faznih napona,
- Efektivne vrednosti faznih struja,
- Faktor totalnog izobličenja napona  $THD_u$ ,
- Jačina flikera ( $P_{st}$ ,  $P_{lt}$ ),
- Vrednosti harmonika napona,
- Aktivna, prividna i reaktivna snaga,
- Naponski događaji (propadi napona, prenaponi...).

Kao što je u uvodu pomenuto, merenja su vršena u dva ciklusa, letnjem i zimskom. Razmišljanja su da je potrebno razdvojiti merenja na ove periode kako bi analizom bila obuhvaćena dva ekstremna slučaja zbog profila potrošnje ovih domaćinstava čiji su najozbiljniji potrošači hladnjače koje leti rade u maksimalnom režimu opterećenja, dok zimi ili rade u nekom minimalnom režimu opterećenja ili uopšte ne rade.

### Letnji režim merenja

U letnjem režimu, merenja su vršena u jednoj tački,  $MT_{IL}$  u periodu od 27.07.2017. godine do 31.07.2017. godine, uređajem klase A u skladu sa standardom IEC 61000-4-30.

- $MT_{IL}$ - merenje vršeno na NN mreži na stubu broj 43 galvanski posle uređaja VROT-18,

Ideja ovog merenja je bila da se analiziraju naponske prilike u NN mreži galvanski posle VROT-18, tj. da se konstatuje da li uređaj VROT-18 postavljen na takav način poboljšava naponske prilike tako da kupci koji se napajaju sa ovog dela mreže dobijaju napon u skladu sa propisima.

### Zimski režim merenja

U zimskom režimu, merenja su vršena u četiri tačke ( $MT_{TSZ}$ ,  $MT_{PreVrotZ}$ ,  $MT_{PosleVrotZ}$ ,  $MT_{KucaZ}$ ) u periodu od 19.01.2018. godine do 31.01.2018. godine, uređajima klase A u skladu sa standardom IEC 61000-4-30.

- $MT_{TSZ}$ - merenje vršeno na izvodu broj 3 „Krstača“ transformatorske stanice 10/0.4 kV „Škola Plaskovac“,
- $MT_{PreVrotZ}$ - merenje vršeno na NN mreži na stubu broj 43 galvanski pre uređaja VROT-18,
- $MT_{PosleVrotZ}$ - merenje vršeno na NN mreži na stubu broj 43 galvanski posle uređaja VROT-18,
- $MT_{KučaZ}$ - merenje vršeno u tački priključenja jednog domaćinstva koje se napaja sa pomenutog izvoda (takođe galvanski posle uređaja VROT- 18).

Za razliku od merenja koja su vršena u letnjem periodu, u zimskom periodu inženjeri Ogranka Arandelovac su na raspolaganju imali četiri mrežna analizatora kako bi merenjem u četiri tačke dobili kompletnu sliku kretanja vrednosti napona od transformatorske stanice, uređaja VROT-18, pa sve do domaćinstava.

## MERENJA

Merenja su vršena mrežnim analizatorima koji rade u skladu sa normom IEC 61000-4-30. Ova norma definiše da se mereni parametri uzimaju na svakih 200 ms, što predstavlja osnovni interval merenja. Za potrebe ove analize, vršena su usrednjavanja merenih parametara sa strožijim zahtevima od zahteva norme SRPS EN 50160 (za efektivnu vrednost napona, faktor totalnog izobličenja usrednjavanje je na 1 min, dok je normom predviđeno na 10 min). U narednim tabelama dat je prikaz izmerenih vrednosti merenih parametara, kao i uporedni prikaz određenih parametara napona i zahteva opisanih u Pravilima o radu DS i normi SRPS EN 50160. U ovom poglavlju nisu prikazani rezultati izmereni u tačkama  $MT_{TSZ}$ ,  $MT_{PreVrotZ}$  jer nema smisla vršiti analizu tih rezultata u skladu sa zahtevima Pravila o radu DS i norme SRPS EN 50160, jer se ti zahtevi odnose na napon na mestu priključenja objekta kupca. Takođe nisu prikazani ni rezultati izmereni u tački  $MT_{KučaZ}$  jer je vrednost napona u ovoj tački skoro identična vrednosti napona u tački  $MT_{PosleVrotZ}$ .

U tabelama 1 i 2 prikazani su rezultati merenja u letnjem periodu dok su u tabelama 3 i 4 prikazani rezultati merenja u zimskom periodu. Izmerene vrednosti koje su prikazane u tabelama 1,2,3 i 4, predstavljaju vrednosti usrednjavane na intervalu 1 min.

TABELA 1- PRIKAZ IZMERENIH VREDNOSTIU MERNOJ TAČKI  $MT_{IL}$

Parametar/ vrednosti	$L_1$ [V]	$L_2$ [V]	$L_3$ [V]	$I_1$ [A]	$I_2$ [A]	$I_3$ [A]	$I_n$ [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Srednja vrednost	234.27	235.21	234.72	15.83	14.17	10.26	6.23	7.76	4.77	9.22
Minimalna vrednost	177.20	180.20	181.70	2.54	2.02	0.41	0	1.25	0.99	1.92
Maks. vrednost	252.20	253.20	258.70	83.77	80.41	77.15	65.83	25.78	47.40	49.44

TABELA 2 – PRIKAZ ZAHTEVA IZ PRAVILA O RADU DS, SRPS EN 50160 I IZMERENIH EFEKTIVNIH VREDNOSTI NAPONA U  $MT_{IL}$

Parametar	Dozvoljenegranice	Izmereneefektivnevrednosti u intervalu 1 min za $MT_{IL}$ (vrednosti u 95% vremena)			Zahtevispunjen
		$L_1$	$L_2$	$L_3$	
Efektivnavrednostnapona	207-253 V	234.27 (213.54-252.01)	235.21 (214.38-252.60)	234.72 (215.45-252.98)	Da

TABELA 3- PRIKAZ IZMERENIH VREDNOSTI U MERNOJ TAČKI MT<sub>PosleVrotZ</sub>

Parametar/ Tip vrednosti	L <sub>1</sub> [V]	L <sub>2</sub> [V]	L <sub>3</sub> [V]	I <sub>1</sub> [A]	I <sub>2</sub> [A]	I <sub>3</sub> [A]	I <sub>n</sub> [A]	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
Srednjavrednost	240.87	241.63	243.47	9.78	7.47	6.06	7.69	4.85	1.81	5.49
Minimalnavrednost	195.14	196.58	194.03	0	0	0	0	0	0	0
Maks.vrednost	252.84	252.69	254.43	50.59	56.43	59.47	32.06	27.90	15.40	31.30

TABELA 4 – PRIKAZ ZAHTEVA IZ PRAVILA O RADU DS, SRPS EN 50160 I IZMERENIH EFEKTIVNIH VREDNOSTI NAPONA U MT<sub>PosleVrotZ</sub>

Parametar	Dozvoljenegranice	Izmereneefektivnevrednosti u intervalu 1 minzaMT <sub>PosleVrotZ</sub> (vrednosti u 95% vremena) (procenatvrednosti u skladusazahtevima)			Zahtevispunjen
		L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	
Efektivnavrednostnapona	207-253 V	240.87	241.63	243.47	Da
		249.90	249.54	251.77	
	≥ 95 %	99	99	99	
FlikeriP <sub>It</sub>	< 1	1.22	1.16	1.14	Ne
		3.83	3.71	4.00	
	≥ 95 %	66	69	68	
THD <sub>u</sub>	≤ 8 %	1.06	1.12	1.11	Da
		1.60	1.70	1.60	
	≥ 95 %	100	100	100	

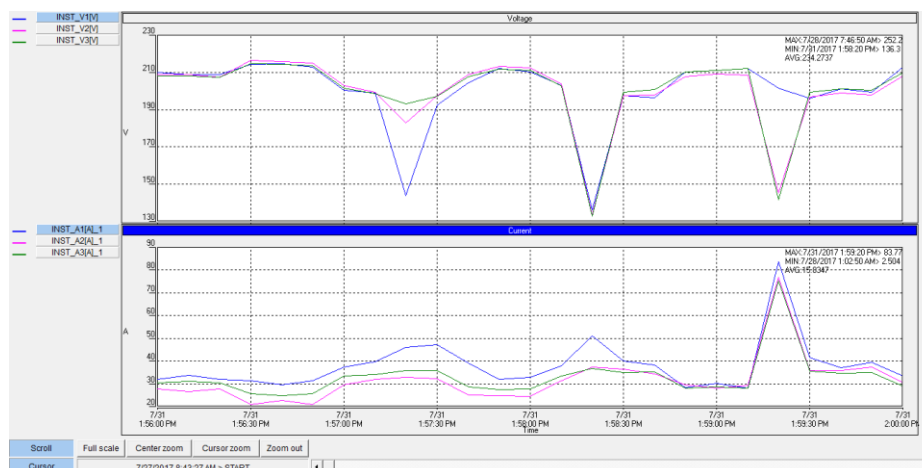
## REGISTROVANI NAPONSKI DOGAĐAJI

Tokom ove analize praćeni su i događaji na naponu (propadi, prenaponi). Registrovan je veliki broj propada napona (više od 500). Pregled najznačajnijih propada napona prikazan je u tabeli 5.

TABELA 5 – PRIKAZ ZNAČAJNIH PROPADA NAPONA

Efektivnavrednostzaostalognapona [V]			Trajanjepropada t[s]	Datum nastanka propada napona	Vreme nastanka propada napona [hh:mm:ss]
L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>			
137.20	137.10	140.80	20	30.07.2017.	15:20:10
148.60	152.70	189.70	10	30.07.2017.	18:48:00
153.80	211.00	232.80	10	31.07.2017.	06:52:00
165.20	168.30	167.10	10	31.07.2017.	08:07:00
143.90	183.10	193.10	50	31.07.2017.	13:57:00
136.30	133.80	133.00	40	31.07.2017.	13:58:00
201.70	145.30	141.70	30	31.07.2017.	13:59:10
195.14	196.58	194.03	120	26.01.2018.	07:53:00

Na slici 1 prikazani su značajniji propadi napona zabeleženi u letnjem periodu u mernoj tački MT<sub>IL</sub>.



SLIKA 1 – PRIKAZ ODABRANIH PROPADA NAPONA ZABELEŽENIH TOKOM ANALIZE

Tokom analize, uočeni su i prenaponi u mernoj tački MT<sub>IL</sub> u letnjem periodu i u tački MT<sub>PosleVrotZ</sub> u zimskom periodu.

TABELA 6 – PRIKAZ ZNAČAJNIH PRENAPONA

Efektivnavrednostnapona [V]			Trajanjeprenapona t[s]	Datum nastanka prenapona	Vreme nastanka prenapona [hh:mm:ss]
L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>			
244.80	246.10	258.70	10	27.07.2017.	18:35:00
252.43	252.26	254.43	1200	29.01.2018.	03:52:00

## ANALIZA IZMERENIH REZULTATA

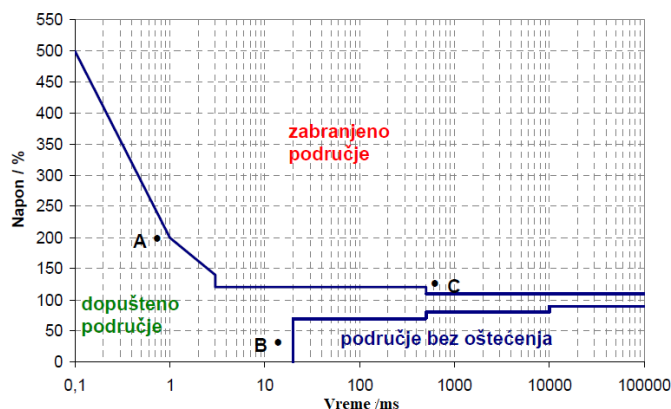
Analizom izmerenih vrednosti može se doći do sledećih zaključaka:

- Efektivna vrednost izmerenog napona i u letnjem i u zimskom periodu odgovara zahtevima Pravila o radu DS i norme SRPS EN 50160 (preko 95 % vrednosti napona u merenom intervalu je u granicama 207 V – 253 V);
- Ostalih 5 % efektivnih vrednosti napona treba da bude u granicama  $U_n + 10\% / - 15\%$ . Iz tabela 1i 3, vidi se da su minimalne vrednosti napona bile i niže od  $U_n - 15\%$ , ali se ovde radi o vrednostima koje su usrednjene na 1 min, dok norma SRPS EN 50160 tretira vrednosti usrednjene na 10 min. Kada se uzmu u razmatranje vrednosti usrednjene na 10 min, svih 100% izmerenih vrednosti se nalazi u opsegu  $U_n + 10\% / - 15\%$ .
- Izmerene vrednosti flikera u zimskom periodu nisu u skladu sa zahtevom (u proseku samo približno 67 % izmerenih vrednosti flikera zadovoljava uslov  $<1$ , a potrebno je barem 95 %);
- 100 % izmerenih vrednosti faktora totalnog izobličenja napona THD<sub>u</sub> je u skladu sa zahtevom  $\leq 8\%$ .

Na osnovu iznetih zaključaka formalno, pravno se može izvesti konačan zaključak da je napon koji isporučuje Ogranak Arandelovac u NN mreži Krstača kvalitetan, odnosno u skladu sa Pravilima o radu DS i normom SRPS EN 50160. Zapravo efektivna vrednost napona i faktor totalnog izobličenja su u skladu sa zahtevima, dok izmerene vrednosti flikera nisu u skladu sa zahtevima.

Međutim, vlasnici domaćinstava koji se napajaju sa ove mreže i dalje prijavljuju problem u radu njihovih električnih uređaja. Problem postoji i dalje zbog velikog broja propada napona koji se javljaju i čija dubina i trajanje nisu beznačajni. Ako prikazane propade napona i prenapone u prethodnim tabelama predstavimo na

ITIC krivoj, moći ćemo da izvučemo zaključak da li će pre svega informatička oprema nesmetano raditi u slučaju pojave nekog od opisanih propada napona ili prenapona.



SLIKA 2 – KLASIFIKACIJA PROPADA NAPONA U SKLADU SA ITIC

Analizom propada napona dolazi se do zaključka da većina zabeleženih propada pripada području bez oštećenja, što znači da u slučaju njihove pojave u mreži, neće doći do oštećenja uređaja, ali će doći do prekida u radu uređaja priključenih na ovu mrežu.

Osim spoznaje kvaliteta napona, analizom se došlo i do podataka o gubicima u vodu koji nisu zanemarljivi. U tabeli 7 prikazane su izmerene vrednosti preuzete aktivne energije na sekundaru transformatora, vrednosti energije izmerene u tački galvanski pre uređaja VROT-18, vrednosti gubitaka energije na vodu u periodu trajanja merenja(12 dana), kao i vrednosti gubitaka ekstrapolirane na 30 dana i godinu dana.

TABELA 7 – PRIKAZ GUBITAKA NA VODU

$W_{\text{TRAFO}}[\text{kWh}]$ ( $MT_{\text{TSZ}}$ )	$W_{\text{PREVROT}}[\text{kWh}]$ ( $MT_{\text{PreVrotZ}}$ )	$W_{\text{GUB}}[\text{kWh}]$	$W_{\text{GUB}_{30\text{d}}}[\text{kWh}]$	$W_{\text{GUB}_{\text{god}}}[\text{kWh}]$	$W_{\text{GUB}}[\%]$
1615	1470	145	363	4410	8,98

### UTICAJ UREĐAJA VROT-18 NA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA U MREŽI

Zbog problema sa kojima su se susretali vlasnici domaćinstava koji se napajaju sa NN mreže „Krstača“, inženjeri Ogranka Aranđelovac su odlučili da ugrade uređaj VROT-18 kako bi poboljšali naponske prilike.

Automatski regulator napona „sistem VROT-18“ je uređaj raspregnutog tipakoji nezavisno upravlja karakterom i režimom opterećenja po fazama, a za upravljanje koristi linijski napon. Ugrađuje se u niskonaponsku elektrodistributivnu mrežu da bi omogućila stabilnost napona kroz eliminisanje uticajakaraktera i režima opterećenja u cilju efikasnosti isporuke električne energije.



SLIKA 3 – IZGLED SISTEMA VROT-18

Uređaj VROT-18 ugrađen je na stub broj 43 NN mreže „Krstača“, u neposrednoj blizini mesta priključenja objekata koji se napajaju sa mreže.

Iz prethodnih analiza može se izvesti zaključak da uprkos prisustvu uređaja VROT-18, zbog pojave velikog broja propada napona meštani zaseoka Krstača ne dobijaju napon potrebnog kvaliteta. U narednim tabelama prikazano je koliko uređaj VROT-18 utiče na popravku naponskih prilika. Za potrebe ove analize primenjeno je merenje u četiri tačke (kao što je ranije i opisano) da bi se jasno videlo kretanje efektivnih vrednosti napona u različitim tačkama duž mreže. Uzeto je u obzir par primera kada se pojavio propad napona u mreži u zimskom periodu merenja.

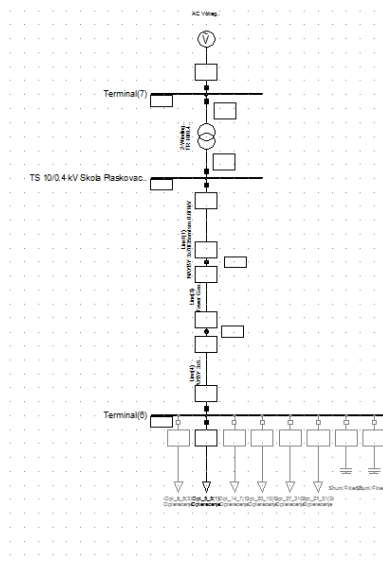
TABELA 8 – NAPONSKE PRILIKE PO DUBINI MREŽE

parametar		Merne tačke			
		MT <sub>TSZ</sub>	MT <sub>PreVrotZ</sub>	MT <sub>PosleVrotZ</sub>	MT <sub>KućaZ</sub>
Efektivna vr. napona (23.01.2018. 10:44:00)	L <sub>1</sub> [V]	237.28	183.59	202.55	199.81
	L <sub>2</sub> [V]	237.46	185.97	199.29	198.25
	L <sub>3</sub> [V]	238.43	190.41	204.27	203.20
Efektivna vr. napona (26.01.2018. 08:14:00)	L <sub>1</sub> [V]	235.87	180.68	195.14	195.00
	L <sub>2</sub> [V]	237.24	182.11	196.58	196.10
	L <sub>3</sub> [V]	236.83	180.55	194.03	191.71
Srednja efektivna vr. napona tokom celog intervala merenja	L <sub>1</sub> [V]	241.24	231.20	240.87	240.05
	L <sub>2</sub> [V]	241.68	234.83	241.63	241.23
	L <sub>3</sub> [V]	242.41	233.06	243.47	242.92

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 8 zaključuje se da uređaj VROT-18 ima uticaja na popravak naponskih prilika, ali u ovom konkretnom slučaju ne u dovoljnoj meri kako bi uređaji korisnika radili neometano.

## PREDLOG REŠENJA ZA POBOLJŠANJE NAPONSKIH PRILIKA I SMANJENJE GUBITAKA

Kako bi se pronašlo rešenje za poboljšanje naponskih karakteristika izvršeno je modelovanje mreže u programskom paketu „DigSilent PowerFactory“. Model mreže prikazan je na slici 4. Parametri voda su:  $\underline{Z}=0,5233+j0,0888$  [ $\Omega$ ] (deonica 1);  $\underline{Z}=0,3532+j0,1124$  [ $\Omega$ ] (deonica 2);  $\underline{Z}=0,1117+j0,0137$  [ $\Omega$ ] (deonica 32).



SLIKA 4 – MODEL MREŽE



U fazi provere valjanosti modela, simulirane su neke od karakterističnih vrednosti opterećenja koje su dobijene merenjem da bi se uporedili dobijeni naponi u određenim tačkama modela sa naponima u mernim tačkama ranije izvršene analize. U tabeli 9, prikazana je uporedna analiza efektivnih linijskih vrednosti napona u tački priključenja uređaja VROT-18 (zapravo galvanski pre priključenja) dobijenih merenjem i simulacijom za karakteristične radne režime. Takođe, za karakteristične režime, prikazana je i snaga gubitaka. Uočljivo je dobro slaganje rezultata merenja i simulacije, pri čemu se manje razlike mogu objasniti varijacijom napona u mreži. Zaključak je da simulacioni model relativno dobro opisuje posmatrani deo mreže.

TABELA 9 – PRIKAZ MERENIH EFEKTIVNIH VREDNOSTI LINIJSKIH NAPONA U TAČKI  $MT_{PreVrotZ}$ , VREDNOSTI DOBIJENIH SIMULACIJOM MODELA MREŽE I SNAGE GUBITAKA

$P_{PreVrot}[kW]$	$Q_{PreVrot}[kVAr]$	$U_{Imer}[V]$	$U_{Isim}[V]$	$P_{GUB}[\%]$
33,9	29,3	238	241	49,4
17,6	10,3	354	359	15,0
27,4	31,4	291	287	43,2
16,5	10,8	362	366	14,5
9,0	5,9	391	393	7,2

Karakteristična opterećenja iz tabele 9, se razlikuju od opterećenja zabeleženih merenjima i datih u tabelama 1 i 3 iz razloga što su vrednosti u tabelama 1 i 3 dobijene usrednjavanjem izmerenih vrednosti na periodu 1 min, dok vrednosti iz tabele 9 predstavljaju maksimalne vrednosti zabeležene u tom intervalu merenja od 1 min. Ove maksimalne vrednosti su korišćene u modelu umesto usrednjenih, jer one izražavaju realnu sliku sa terena, tj. trenutak uključanja nekog uređaja velike snage se može uočiti samo analizom ovakvih vrednosti. Ove ekstremne vrednosti se pojavljuju dovoljno dugo i često da izazivaju probleme u radu uređaja domaćinstava.

Razmatranjem opcija za popravak naponskih prilika, došlo se na ideju da se u tački priključenja uređaja VROT-18 na stubu broj 43 ugradi oprema za kompenzaciju reaktivne snage. Primenjen je inovativni sistem upravljanja postrojenjem kompenzacije koje ima povratnu spregu i po reaktivnoj snazi i po efektivnoj vrednosti napona, sa ciljem da se poboljšaju naponske prilike i minimizuju gubici u vodu, kao i da se izbegnu neekonomični režimi rada u oblasti prekompenzacije. Broj i snaga baterija je optimizovan izmerenim vrednostima aktivne i reaktivne snage. Predlog je da kompenzacija bude urađena sa dva koraka 20 + 40 kVAr. Modelovanjem mreže sa priključenom opremom za kompenzacijsnu snagu dobijaju se vrednosti prikazane u tabeli 10.

TABELA 10 – VREDNOSTI NAPONA I SNAGE GUBITAKA DOBIJENIH SIMULACIJOM MODELA MREŽE SA UPOTREBOM OPREME ZA KOMPENZACIJU REAKTIVNE SNAGE

$P_{PreVrot}[kW]$	$Q_{PreVrot}[kVAr]$	$U_{Isim}[V]$	$U_{Isimkomp}[V]$	$P_{GUB}[\%]$
33,9	29,3	241	320	25,6
17,6	10,3	359	376	11,5
27,4	31,4	287	348	21,8
16,5	10,8	366	379	10,8
9,0	5,9	393	393	7,2

Na osnovu analize tabele 10 primećuje se poboljšanje naponskih prilika u ispitanim, karakterističnim režimima opterećenja. Ove vrednosti i dalje nisu u skladu sa zahtevima, ali su veće od vrednosti bez kompenzacije. Takođe treba napomenuti da će ove vrednosti dodatno povećati uređaj VROT-18, jer je simulacija rađena za tačku neposredno pre njega. Takođe u određenim režimima opterećenja, primetno je i smanjenje gubitaka na vodu.

## EKONOMSKA OPRAVDANOST PREDLOŽENOG REŠENJA

Okvirne cene realizacije predloženog rešenja sa kompenzacijom reaktivne snage uz primenu uređaja VROT-18 i izgradnje nove transformatorske stanice sa pripadajućim dalekovodom prikazane su u tabeli 11.

TABELA 11- PRIKAZ OKVIRNIH CENA REALIZACIJA REŠENJA

Isporučka i ugradnja uređaja VROT-18 i predložene opreme za kompenzaciju reaktivne snage	Izgradnja nove TS 10/0.4 kV, 100 kVA sa pripadajućim dalekovodom
800,000.00 rsd	5,500,000.00 rsd

## ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene analize može se izvući zaključak da je napon na priključcima domaćinstava zaseoka Krstača u potpunosti u skladu sa zahtevima iz Pravila o radu DS i norme SRPS EN 50160. Međutim prilikom povećanja opterećenja u mreži (povećanje faznih struja sa približno 40A do približno 80A) dolazi do pojave propada napona koji uzrokuju prestanak rada uređaja. Ovo nameće zaključak da postojeća NN mreža jeste adekvatna za korišćenje uobičajenih uređaja u domaćinstvima, ali ne i za hladnjače koje ova domaćinstva poseduju. Primena uređaja VROT-18 donekle popravlja situaciju ali nedovoljno. Izradom modela i simulacijom mreže, dat je predlog da se naponske prilike dodatno poprave upotrebom postrojenja sa kondenzatorskim baterijama. Mišljenje je da bi upotreba kondenzatorskih baterija u kombinaciji sa uređajem VROT-18 u značajnom meri poboljšala naponske prilike i sprečila veliki broj propada napona koji je zabeležen. Simulacija modela mreže je pokazala da primena predloženog rešenja može značajno smanjiti i gubitke na vodu koji iznose 8.98%. Na ovaj način ostvaruje se dvostruka korist od predloženog rešenja. Ekonomska analiza pokazuje da,bi ovo kombinovano rešenje definitivno trebalo da odloži izgradnju nove transformatorske stanice i pripadajućeg dalekovoda. Tokom analize sa namerom su merene efektivne vrednosti napona usrednjene na periodu 1 min, jer samo na taj način su se mogla uočiti odstupanja vrednosti napona od zahtevanih u zavisnosti od opterećenja. Kao glavni zaključak nameće se da korišćenje zahteva norme SRPS EN 50160 kroz Pravila o radu DS jeste korak napred u brizi o kvalitetu napona i kvalitetu isporučene električne energije, ali ne i dovoljan korak jer ova norma se detaljno ne bavi propadima napona koji u ovom slučaju predstavljaju problem. Norma SRPS EN 50160 zapravo predstavlja kompromis između interesa isporučilaca i korisnika električne energije, jer prvi insistiraju na što širim granicama i tolerancijama parametara mrežnog napona, dok drugi insistiraju na što užim.

## LITERATURA

1. EPS DISTRIBUCIJA DOO, „Pravila o radu distributivnog sistema“, [www.epsdistribucija.rs](http://www.epsdistribucija.rs)
2. SRPS EN 50160:2012, „Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža“
3. Zlatković N, Marković Ž, Mraković N, 2014, „Analiza kvaliteta električne energije i međusobnog uticaja prenosnog i distributivnog sistema u tački primopredaje električne energije“, IX savetovanje CIRED, Vrnjačka Banja
4. Zlatković N, Vujičić V, 2013, „Predlog monitoringa kvaliteta električne energije na 0.4 kV“, 31. Savetovanje CIGRE, Zlatibor