

mr.sc. Zdravko Jadrijević, dipl.ing.
HEP ODS, Elektrodalmacija Split
zdravko.jadrijevic@hep.hr

Ivan Andrić, struc.spec.ing.el.
HEP ODS, Elektrodalmacija Split
ivan.andric@hep.hr

Josip Srdanović, struc.spec.ing.el.
HEP ODS, Elektrodalmacija Split
josip.srdanovic@hep.hr

SANACIJA NAPONSKIH PRILIKA U NISKONAPONSKOJ MREŽI – PRIMJER RAMLJANA

SAŽETAK

Zaseok Radmile u mjestu Ramljane napajao se preko niskonaponskog voda ukupne dužine preko 1700 m. Priključenjem novog kupca koji je zatražio trofazni priključak snage 14.95 kW narušile bi se ionako loše naponske prilike za postojećih 6 kupaca. Odabrano je tehničko rješenje s rekonstrukcijom niskonaponskog voda i ugradnjom naponskog stabilizatora koji rad zasniva na principu promjene induktivnosti bez upotrebe pokretnih dijelova za regulaciju.

Primijenjeno tehničko rješenje uspješno je zadržalo granice napona u granicama dozvoljenog, ali se neočekivano pojavio problem buke. Problem je u izrazito niskoj razini rezidualne buke okoliša te odredbi "pravilnika" da novoizgrađeni izvor ne smije povećavati postojeću razinu buku za više od 1 dB(A). Odabirom nove lokacije ublažio se prethodno navedeni problem, ali ne i nezadovoljstvo susjeda.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, stabilizator napona, razina buke

IMPROVING VOLTAGE REGULATION AT LOW VOLTAGE NETWORK – EXPERIENCE FROM „RAMLJANE“

SUMMARY

Hamlet Radmile a place near the village Ramljane was powered through the low voltage line of total length of 1700 m. By connecting a new consumer who demanded a three phase power supply of 14.95 kW it would disrupt voltage conditions for the existing 6 consumers who already are in bad conditions. The technical solution with reconstruction of low voltage line and the installation of a voltage stabilizer has been selected which works based on the principle of inductance change without any usage of movable control parts.

The applied technical solution successfully maintained permitted voltage limits, but suddenly the problem with noise unexpectedly occurred. The problem is at a very low level of residual environmental noise and according to the „rulebook“ the newly built source can not increase the existing noise level by more than 1 dB (A). By choosing a new location the above mentioned problem was lessened, but the neighbors were displeased.

Key words: electric power quality, voltage stabilizer, noise level

1. UVOD

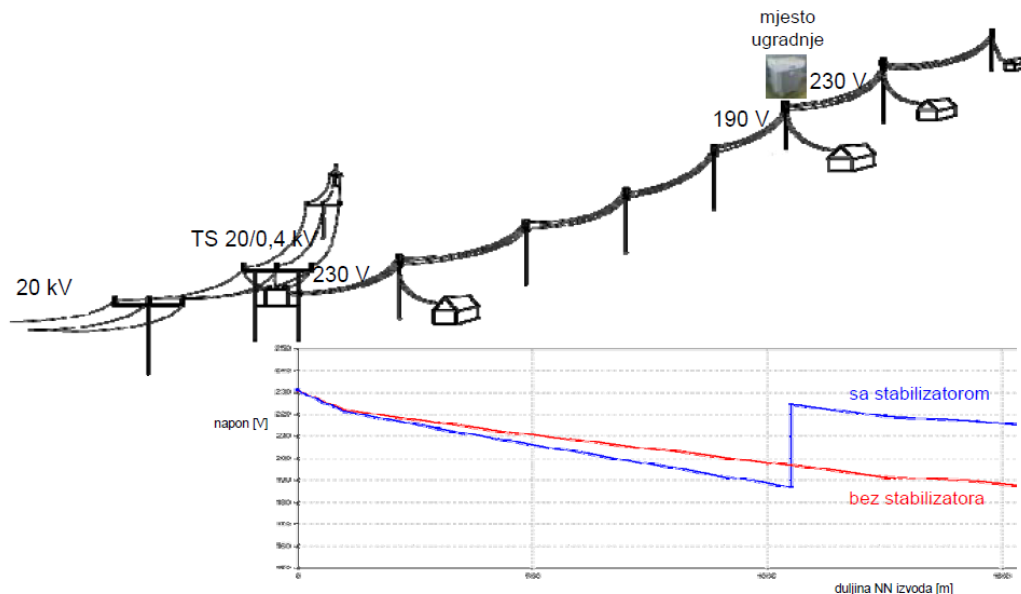
Otvaranjem tržišta promijenjeno je klasično shvaćanje kvalitete električne energije. Sada se pod pojmom kvaliteta električne energije podrazumijeva neprekinutost napajanja (raspoloživost električne energije) i kvaliteta napona. Upravo je podizanje kvalitete napona na izoliranim rubnim dijelovima niskonaponske distribucijske mreže uz pomoć stabilizatora napona tema ovog rada.

Prednost stabilizatora napona je i to što se relativno brzo i jednostavno može implementirati na drugu lokaciju, a za razliku od ostalih rješenja administrativne barijere su znatno manje te je bitno jeftiniji.

HEP-ODS Elektrodalmacija je prvi naponski stabilizator implementirala u mjestu Ramljane - zaseok Radmile (Općina Muć). U ovom radu su prikazana obavljena mjerenja i simulacije prije same ugradnje, izbor idealne lokacije unutar mreže te ostvareni uvjeti u mreži nakon implementacije stabilizatora napona. Nakon što je uređaj pušten u rad, pojavio se problem buke. Mjerenjem je utvrđeno da razina buke premašuje normom dozvoljenu vrijednost. Kako bi se razina buke spustila unutar dozvoljenih vrijednosti, uređaj je u konačnici premješten na drugu pogodnu lokaciju.

2. STABILIZATOR NAPONA

U svijetu se upotrebljavaju različite izvedbe naponskih stabilizatora za sanaciju naponskih prilika u niskonaponskim mrežama. U točkama niskonaponske mreže u kojima parametri napona ne zadovoljavaju propisane norme i standarde, kao izvrsno rješenje se pokazao regulator/stabilizator napona (MVB – Magtech Voltage Booster). Napon sa ulazne strane stabilizatora može biti uvećan od 0–15(20)%, ovisno o veličini ulaznog napona, kako bi se iznos napona na izlaznim stezaljkama održao konstantnim [1]. Pojačanje se automatski prilagođava trenutnoj potrošnji energije i posljedično tome padu napona u mreži.



Slika 1. Stabilizator napona

U praksi često dolazi do problema s kvalitetom napona koji su direktno vezani s kvalitetom električne energije. Tako primjerice dolazi do pojave kolebanja, propada i asimetrije napona u trofaznom sustavu. Navedene pojave uglavnom nastaju zbog dugih i poddimenzioniranih vodova, pada napona zbog

trenutne potrošnje, asimetrične podjele opterećenja te prilikom pokretanja većih elektromotora. Osnovna svrha stabilizatora napona je upravo otklanjanje navedenih neželjenih pojava.

2.1. Princip rada

Izvedba stabilizatora se zasniva na elektromagnetskom principu te nema uporabe pokretnih dijelova za regulaciju. Upravo takva izvedba omogućava relativno brz odziv, od oko 150 – 200 ms, na promjene stabilnog i normama zadanog stanja u niskonaponskoj mreži [2]. Stabilizacije napona zasniva se na principu promjene induktivnosti sa feromagnetskom (željeznom) jezgrom:

$$L = N_2 * \mu_0 * \mu_r * \frac{A}{l}$$

Gdje je:

N – broj zavoja

μ_0 – permeabilnost vakuumu

μ_r – relativna permeabilnost

A – presjek jezgre (površina poprečnog presjeka dijela omotanog zavojima žice)

l – srednji opseg feromagnetske jezgre (duljina srednjeg opsega silnica magnetskog toka Φ)

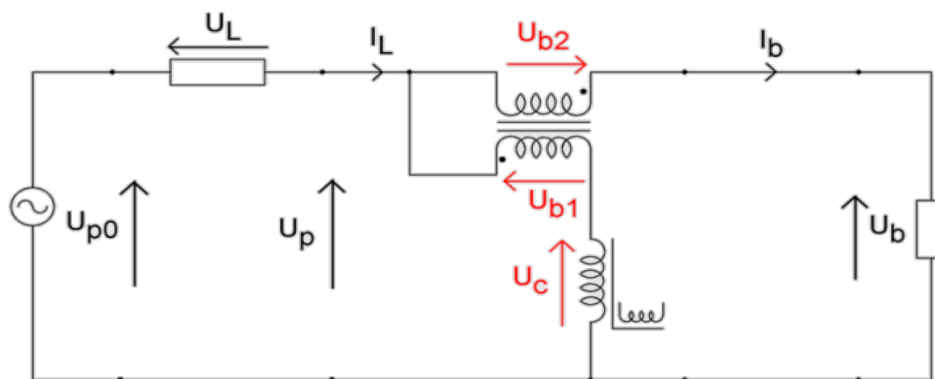
U unutarnjem dijelu stabilizatora nalazi se posebna prigušnica. Induktivitet te prigušnice se mijenja promjenom relativne permeabilnosti jezgre μ_r procesom koja se naziva „prividni zračni razmak“.

Stabilizator napona se najčešće ugrađuje ispred udaljene grupe potrošača, obično stambenih kuća koje su smještene u izoliranim područjima. Prije instalacije je nužno provesti detaljna mjerenja napona na željenoj lokaciji te izraditi proračun očekivane potrošnje u karakterističnim točkama nakon ugradnje stabilizatora.

Specijalnom izvedbom namota stvaraju se dva međusobno okomita (ortogonalna) magnetska polja. Prilikom promjene magnetskog polja upravljačkog namota mijenja se i petlja histereze (dolazi do promjene permeabilnosti u smjeru magnetskog polja glavnog namota). Time se postiže efekt jednak postupku promjene zračnog razmaka, što dovodi do promjene induktivnosti glavnog namota prigušnice.

Neke specijalizirane tvrtke konstantno razvijaju sustave za *kontroliranje induktiviteta* koji rade na navedenom principu dva međusobno okomita magnetska polja u kojem promjene na prvom polju utječu na karakteristike drugog polja. Promjenom struje u prvom namotu moguće je vrlo precizno i sa brzim odzivom utjecati na permeabilnost jezgre a time i na induktivitet u drugom, okomitom namotu.

Struja na mreži I_l zbog impedancije kabela uzrokuje pad napona U_l između distribucijskog transformatora i potrošača. Često se događa da je kod udaljenih potrošača napon niži od najnižeg normom propisanog napona. Stabilizator napona se u tim slučajevima ugrađuje između transformatora i krajnjih potrošača koji imaju problema s pre niskim naponom.



Slika 2. Princip rada stabilizatora napona

Stabilizator ulaznom naponu U_p dodaje naponsku komponentu U_{b2} na način da se primjenjuje princip autotransformatorske konfiguracije uz opasku da je izlaznu napon U_b konstantan i neovisan o promjeni opterećenja. Na već opisani način promjene induktiviteta se stabilizator dinamički prilagođava opterećenju. Također se promjenom induktiviteta mijenja i napon U_c a time i omjer napona primara i sekundara transformatora - U_{b1} i U_{b2} .

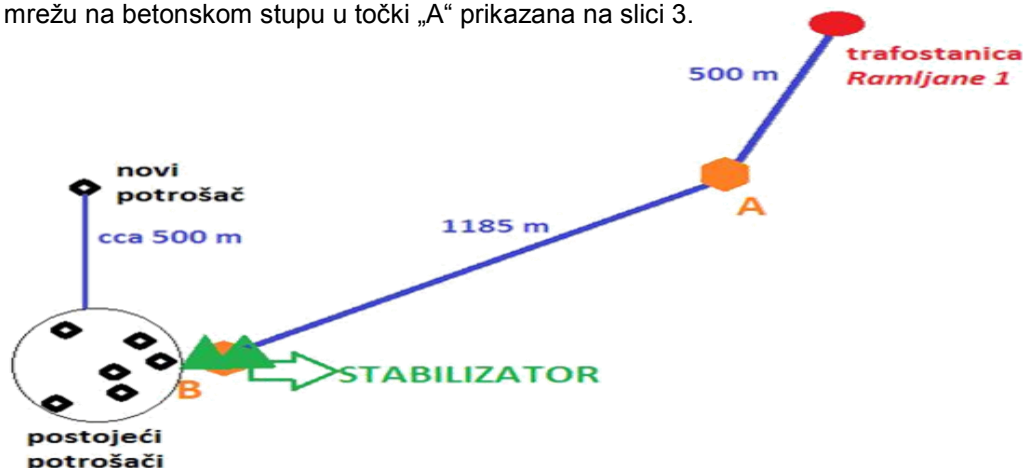
3. IMPLEMENTACIJA STABILIZATORA NAPONA - RADMILE (TS RAMLJANE 10/0,4 kV)

3.1 Opis mreže – postojeće stanje

Na konkretnoj lokaciji se nalazi TS 20(10)/0.4 kV Ramljane 1, u kojoj je smješten distribucijski transformator nazivne snage 100 kVA, grupe spoja Dyn 5 ugrađen davne 1969. godine. Iz navedene trafostanice napaja je niskonaponski izvod Jugoistok – Radmile. Dužina voda od trafostanice do posljednjeg potrošača iznosi 1755 m. [3]

U zaseoku Radmile se nalazi 6 potrošača od kojih je 5 priključeno jednofaznim priključkom, a samo jedan ima trofazni priključak. U isti niskonaponski vod se planirao priključiti još jedan, sedmi potrošač sa pretpostavljenom nazivnom snagom od 14.95 kW.

Upravo zbog navedene novonastale situacije namjera je bila da se u prvom dijelu mreže dugom oko 0,5 km položi i priključi novi kabel (XP00 – A ; 4x150mm² / NA2XY – O ; 4x150 mm²) i priključi na nadzemnu mrežu na betonskom stupu u točki „A“ prikazana na slici 3.



Slika 3. Skica stanja na mjestu implementacije naponskog stabilizatora

Nakon betonskog stupa, distribucija bi se nastavila postojećom nadzemnom mrežom (*čista mreža, bez potrošača*) u dužini od 1185 m do zaseoka Radmile.

3.2 Simulacija

Mjerenja su pokazala da je u TS 20(10)/0.4 kV Ramljane 1 prosječan nivo kolebanja napona između 220 V i 242 V, što nije ukazivalo na problematično stanje. Međutim, mjerenja koja su provedena kod jednog od potrošača pokazala su propade napona do minimalne granice od samo 190 V.

Također, mjerenja koja su obavljena 2 godine ranije u zaseoku Radmile pokazala su još alarmantnije podatke – tada su propadi napona bili još i veći, u jednom momentu čak i do 130 V.

Uz navedena mjerenja, ustanovljeno je i da je najveća ukupna struja na niskonaponskom izvodu Jugoistok – Radmile iz trafostanice *Ramljane 1* iznosila $I_{1max}=46.5\text{ A}$, $I_{2max}=33.5\text{ A}$, $I_{3max}=29\text{ A}$

Najveća izmjerena ukupna struja na niskonaponskom izvodu Jugoistok (Radmile) iz TS Ramljane 1 iznosi $I_{1max}=46,5\text{ A}$, $I_{2max}=33,5\text{ A}$, $I_{3max}=29\text{ A}$.

Pomoću specijaliziranog softverskog alata obavljena je simulacija trenutnog stanja kao i planirano stanje nakon priključenja sedmog potrošača. Prilikom simulacije u obzir su uzeti dužine, presjeci te tipovi vodiča niskonaponske mreže na željenoj lokaciji kao i raspored te broj potrošača u zaseoku Radmile.

Softverski simulator je analizirao planirano stanje nakon ugradnje stabilizatora. Planirano stanje je obuhvaćalo 6 postojećih potrošača (od kojih samo jedan sa trofaznim priključkom) u zaseoku Radmile i 1 novog potrošača koji se nalazi oko 500 m udaljen od zaseoka Radmile. Predviđena nazivna snaga novog objekta iznosi 14.95 kW, no u ovoj simulaciji je pretpostavljena na 12 kW jer je to bila procjena realno očekivane snage.

Na temelju izrađene simulacije jasno se može utvrditi da odabrana točka u niskonaponskoj mreži na željenoj lokaciji odgovara svim zahtjevima, te je na tom mjestu moguća ispravna ugradnja naponskog stabilizatora.

Ako bi se stabilizator ugradio u uvjetima bez novog (sedmog) potrošača, dobili bismo porast napona kod zadnjeg potrošača na liniji za otprilike 10% - napon bi se povećao sa 211 V na gotovo idealnih 234 V. No realno stanje na terenu pokazuje izračun koji u obzir uzima i novog (sedmog) potrošača na kraju voda.

Navedeni novi potrošač je udaljen čak 2 255 m od TS 20(10)/0.4 kV Radmile 1, te bi za njega ugradnja naponskog stabilizatora značila minimalni iznos napona od 211 V.

3.3 Lokacija ugradnje stabilizatora napona

Na temelju navedenih mjerenja ustanovljena je najučinkovitija točka mreže za ugradnju naponskog stabilizatora. Definirana je ugradnja stabilizatora naziva MVB80-400 na betonskom stupu direktno prije prvog potrošača u ciljanom zaseoku Radmile [3]. Lokacija se nalazi na 1685 m udaljenosti od TS 20(10)/0.4 kV Ramljane 1

3.4 Usporedba rezultata mjerenja prije i nakon ugradnje naponskog stabilizatora

Stabilizator napona je ugrađen u prosincu 2016. Godine. Nakon ugradnje vršena su mjerenja kvalitete napona na 2 različite lokacije – kod priključka trofaznog potrošača te kod jednog od priključenih jednofaznih potrošača.

Iz rezultata mjerenja zaključuje se da je kvaliteta napona i kod potrošača s jednofaznim priključkom, i kod potrošača s trofaznim priključkom, na zadovoljavajućoj razini. Prosječni iznos napona na sve 3 faze je u očekivanim, normama propisanim granicama.

Potrebno je uzeti u obzir i period u kojem je mjerenje obavljeno (26.12.2016. – 1.1.2017.). Naime, u navedenom periodu je potrošnja znatno povećana jer se radi o danima blagdana te sezoni grijanja.

Također, pojava propada napona koja je bila relativno česta prije ugradnje stabilizatora napona je gotovo u potpunosti anulirana, što daje dodatnu kvalitetu naponskom stabilizatoru.

4. UTJECAJ BUKE

Kao jedan od potencijalno ograničavajućih faktora prilikom odabira naponskog stabilizatora kao rješenja, nameće se problem buke koju uređaj stvara. U konkretnom slučaju, prilikom instaliranja naponskog stabilizatora u naselju Radmile, problem buke nije uzet u proračun.

Nakon što je uređaj pušten u rad, shvatilo se da izaziva buku iznad dopuštene razine. Utjecaj buke je definiran sljedećim normama i propisima:

- Norma HRN ISO 1996 (opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša)
- Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16)
- Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 145/04)
- Zakon o zaštiti okoliša (NN 110/07)

- Pravilnik o mjerama zaštite od buke izvora na otvorenom prostoru (NN 156/08)
- Pravilnik o djelatnostima za koje je potrebno utvrditi provedbu mjera za zaštitu od buke (NN 91/07)

4.1 Mjerenje razine buke

Imajući u vidu navedene norme i propise, te na temelju iskustva lokalnog stanovništva koje je uočilo problem buke, izvršena su mjerenja razine buke prikazana u tablici 1.

Tablica 1. Izmjerene i dopuštene razine buke

IZVORI BUKE		MJESTO MJERENJA	Izmjerena razina buke (dB)	Ocjenska razina buke (dB)	Propisane najviše dopuštene razine buke (dB)
isključeni	uključeni				
+		LOKACIJA 1	30,7	30,7	31,7
	+	LOKACIJA 1	35,5	35,5	31,7

Prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke (NN 145/04), okolni vanjski prostor je svrstan u *zonu buke 2* – zona namijenjena samo stanovanju i boravku. Prema navedenom Pravilniku, najviše dopuštene razine buke u *zoni 2* iznose 55 dB(A) za dan i 40 dB(A) za noć. No bitna stavka pravilnika koja direktno određuje neusklađenost naponskog stabilizatora na mjernoj lokaciji kaže da *emisija buke koja bi nastala od novoprojektiranih, izgrađenih ili rekonstruiranih građevina s pripadnim izvorima buke ne smije povećati postojeću razinu buke za više od 1 dB(A)*. [5]

Na temelju provedenih mjerenja evidentno je da buka koju emitira stupni naponski stabilizator u naselju Radmile ne zadovoljava propisane zahtjeve iz Pravilnika o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave za dnevne, večernje i noćne uvjete.

4.2 Rješenje za smanjenje razine buke – premještanje naponskog stabilizatora

Izmjerena ekvivalentna razina buke na stupnom naponskom stabilizatoru (L_{Aeq}) je iznosila $L_{Aeq} = 35.7$ dB, dok je razina buke okoline u stanju isključenog uređaja iznosila $L_{Aeq} = 30.7$ dB.

Uz pretpostavku da buka okoline i buka uređaja nisu u korelaciji, može se procijeniti zvučni tlak uzrokovan naponskim stabilizatorom bez drugih izvora buke, sljedećom jednačinom:

$$\hat{p}_2 = p_{uk} - p_{buke2}$$

Gdje je:

- $\hat{p}_2$ – buka naponskog stabilizatora bez drugih izvora buke
- p_{uk} – ukupna buka koju stvara naponski stabilizator zajedno s bukom okoline
- p_{buke2} – buka okoline

Na taj način proračunata razina buke naponskog stabilizatora bez buke okoline na mjestu mjerenja (uzmimo npr. 10 metara od naponskog stabilizatora) iznosi 33.8 dB

S obzirom da naponski stabilizator ima konstantnu akustičnu energiju, očekivana razina buke naponskog stabilizatora, na udaljenosti r od izvora buke iznosi:

$$L_p = L_\omega + 10 \log_{10}(Q * 4 * \pi * r^2)$$

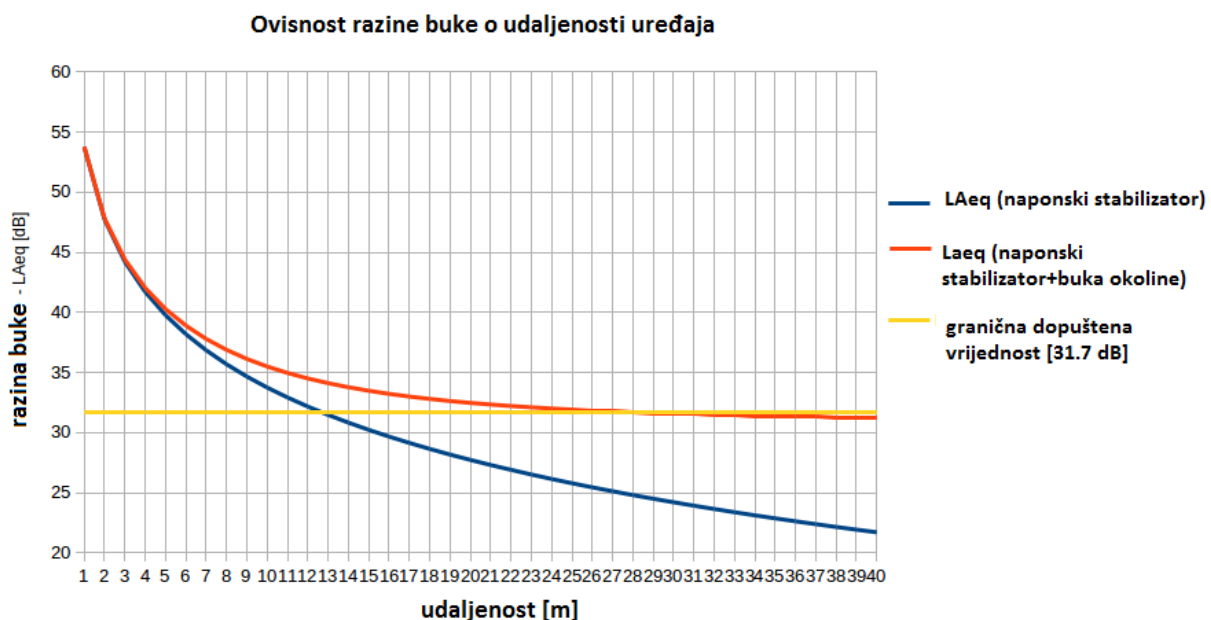
Gdje je:

- Q faktor usmjerenosti izvora zvuka.

Tako dobiveni razina buke prikazana je na grafikonu ukupne razine buke, uzimajući u obzir pozadinsku buku. Temeljem izmjerenih vrijednosti te proračuna došlo se do zaključka da bi premještanje naponskog stabilizatora na udaljenost veću od 30 metara od najbližeg stambeno objekta riješilo problem buke, tj. iznos buke bi bio u zakonom dopuštenim granicama.

Premještanje naponskog stabilizatora na udaljenost veću od 30 metara od najbližeg stambenog objekta riješilo bi problem buke no potencijalno bi uzrokovao problem s kvalitetom isporuke električne energije.

Izračunati pad napona u toj mreži od naponskog stabilizatora do prvog potrošača u zaseoku (udaljen 70m) iznosi 2V, a od naponskog stabilizatora do novo predviđenog zadnjeg potrošača (udaljen 570m od naponskog stabilizatora) pad od stabilizatora iznosi 6V. Pod uvjetima najveće predviđene potrošnje, uključujući i dosta veliko mjeru rezerve, napon kod zadnjeg potrošača nikada se ne bi spustio ispod 211 V (dovoljeno je 207 V).



Slika 5. Ovisnost razine buke o udaljenosti uređaja

Nakon temeljite analize mogućih rješenja, na kraju je odlučeno da se naponski stabilizator premjesti na udaljenost od 30 m od prvog stambenog objekta. Stabilizator je trenutno na udaljenosti od 10,5 m od najbližeg stambenog objekta i prema provedenom mjerenju buke ne zadovoljava Pravilnik o dopuštenoj razini buke. Ovo premještanje neće bitno utjecati na iznos napona kod potrošača. Izračunati pad napona u toj mreži od stabilizatora do potrošača u zaseoku (70 m) iznosi 2 V, a od stabilizatora do predviđenog zadnjeg potrošača na 570 m od stabilizatora, pad od stabilizatora iznosi 6 V. Pod uvjetima najveće

predviđene potrošnje, uključujući i dosta veliko mjeru rezerve, napon kod zadnjeg potrošača nikada se ne bi spustio ispod 211 V (dozvoljeno je 207 V). Mjerenje je pokazalo da čak premještanje na udaljenost do 100 m ne bi ugrozilo ispravnosti razine napona kod budućeg zadnjeg potrošača.

5. ZAKLJUČAK

Sanacija naponskih prilika u niskonaponskom mreži predstavlja jedan od ključnih segmenata podizanja kvalitete električne energije. U ovom radu dan je primjer sanacije pomoću stabilizatora napona implementiran u zaseoku Radmile, koji na zadovoljavajući način rješava problem loših naponskih prilika i omogućava priključenje novog potrošača na kraju niskonaponskog izvoda.

Zbog sporog procesa dobivanja potrebne dokumentacije te upitne ekonomske isplativosti, rješenja koja su se do sad koristila sve bi češće mogla biti zamijenjena implementacijom naponskog stabilizatora koji se pokazao kao kvalitetno rješenje.

Kao i kod svih novih tehnologija, tako i kod naponskog stabilizatora pojavljuju se neočekivani problemi prilikom puštanja u rad poput ovog koji je opisan u ovom radu, kada je razina buke bila iznad razine koja je dozvoljena normom. Takve se neočekivane situacije uglavnom riješe, a ukupni učinak koji stabilizator napona pruža jamči da će se u budućnosti sve češće koristiti za sanaciju naponskih prilika u niskonaponskoj mreži.

LITERATURA

[1] Tehnički priručnik „Magtech Voltage Booster MVB – Stabilizator napona za NN mrežu“, verzija 3.6, rujan, 2016.

[2] Komen, Vitomir; Pavić, Ante; Ćućić, Renato, „Moguća tehnička rješenja za sanaciju naponskih prilika u NN mrežama“ SO1-07 HO-CIRED

[3] Rezar, Tomaž; „Prijedlog rješenja za sanaciju naponskih prilika u NN mreži Radmile iz TS Ramljane 1“ ALTENS – ALT/045/16 ; verzija 1.0

[4] Prislan, Rok; „Strokovno mnjenje o izmerjeni ravni hrupa“ RH-009-04/17

[5] „Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave“ ; NN 145/04

[6] Goić, Ranko; Jakus. Damir; Penović, Ivan, „Distribucija električne energije“, FESB, Split, 2008.

[7] Srdanović, Josip, „Sanacija naponskih prilika u niskonaponskoj mreži“, završni rad, 2017.

[8] Šporec, Marko; Ćućić, Renato; Fabris, Vinko; Đurašin, Krunoslav, „Regulacija napona po dubini niskonaponske mreže“ SO1-04, HO-CIRED

[9] Ingatest; „Izveštaj o mjerenju buke stupnog stabilizatora napona TS Ramljane 1 u naselju Radmile kod Ramljana“

[10] Jadrijević, Zdravko, „Parametri kvalitete električne energije“, SOSS – materijali s predavanja

[11] <http://www.uniwb.rs/vest/135/zastita-od-buke>