

# Napetostni stabilizator za NN omrežja – delovanje in rezultati

Darko Lestan<sup>1</sup>, David Arh<sup>2</sup>, mag. Peter Bergant<sup>2</sup>, Alojz Primon<sup>2</sup>, Boris Sterle<sup>2</sup>, Gregor Štern<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Altens, družba za tehniko in inženiring, d.o.o.  
Linhartova 13, Ljubljana  
E-mail: [darko.lestan@altens.si](mailto:darko.lestan@altens.si), tel. 01 23 22 147

<sup>2</sup>Elektro Ljubljana d.d.  
Slovenska c.58, Ljubljana

<sup>3</sup>Elektro Gorenjska d.d.  
Ul. Mirka Vadnova 3a, Kranj

**Povzetek** – Med pomanjkljivostmi do sedaj uporabljenih napetostnih stabilizatorjev za vgradnjo v NN omrežja se je največkrat omenjala počasnost in nezanesljivost elektromehanske regulacije. MVB je napetostni stabilizator, katerega ojačanje se spreminja preko elektromagnetnega principa brez gibljivih delov. V prvem delu je predstavljena naprava in princip delovanja. V drugem delu sledi pregled opravljenih meritev preizkusne vgradnje v slovenskem NNO in ocena vpliva na parametre kakovosti el. energije. Poleg meritev bodo predstavljene tudi subjektivne izkušnje odjemalcev.

## MVB Voltage Booster – operation and results

**Abstract** – Related to existing LV network voltage regulators, drawbacks mostly related to reaction time and reliability were put forward. MVB is a voltage booster which exploits a new technology of controllable inductance. Few pilot installations were carried out by Slovene utilities. Based on extensive measurements, quantitative power quality improvements and customer's experience will be presented in the paper.

### I. UVOD

Elektrodistribucijska podjetja se soočajo s trendom naraščajoče poseljenosti in novogradenj izven urbanih središč, kar vodi k porastu odjema in konične moči v točkah, ki so dokaj oddaljene od obstoječih TP (~800m in več). Posledica so velika nihanja obremenitev in posledično neustrezen dinamični napetostni profil vzdolž teh vodov do mere, ko statični in dinamični napetostni nivoji na koncu vodov ne izpolnjujejo minimalnih kriterijev o kakovosti dobavljene električne energije.

Dolgoročni trend reševanja nastalih razmer je gotovo v podaljševanju SN daljnovodov in izgradnji novih TP. Vendar pa različni dejavniki, kot so negotovo predvidevanje porasta odjema, nedorečeni urbanistični razvojni načrti, dolgotrajni upravni postopki za pridobivanje dovoljenj in nenazadnje zahtevnost tovrstnih investicij, onemogočajo tekoče sledenje nastalim razmeram. Nezadovoljstvo odjemalcev in neizpolnjevanje pogodbenih obveznosti pa pogosto kličejo k takojšnjemu ukrepanju, ki

marsikdaj prehiteva razvojne načrte elektrodistribucijskega podjetja o širjenju 20 kV omrežja.

V dosedANJI praksi se je k temu pristopalo na kar nekaj načinov; s povečanjem preseka NN voda, s premostitvijo daljše razdalje s transformacijo 0,4/0,9/0,4 kV, bile pa so izvedene tudi poizkusne vgradnje elektromehanskih regulatorjev napetosti. Vsaka od teh rešitev se je izkazala s svojimi prednostmi in slabostmi. Te rešitve so mnogokrat načrtovane kot začasne in ostanejo v uporabi do izgradnje nove TP oz. dokler uspejo izpolnjevati svoj namen.

Najbolj pogosto omenjano hibo elektromehanskih regulatorjev, t.j. odzivni čas regulacije in nezanesljivost elektromehanskih komponent, odpravlja stabilizator napetosti MVB (Magtech Voltage Booster), kjer je regulacija ojačanja napetosti izvedena po elektromagnetnem principu brez uporabe gibljivih delov. Prednost je v hitrejšem odzivu, povečani zanesljivosti ter dodatnih izboljšavah nekaterih parametrov napajanja.

V prispevku je prikazan princip delovanja naprave, posebej je obrazložena patentirana tehnologija krmiljene induktance, nakazane pa so tudi smeri nadaljnega razvoja in izboljšav.

V nadaljevanju so predstavljeni tudi rezultati meritev ene od preizkusnih vgradenj, ki pa so dopolnjeni tudi s subjektivnimi vtisi odjemalcev.

## II. NAPETOSTNI STABILIZATOR MVB

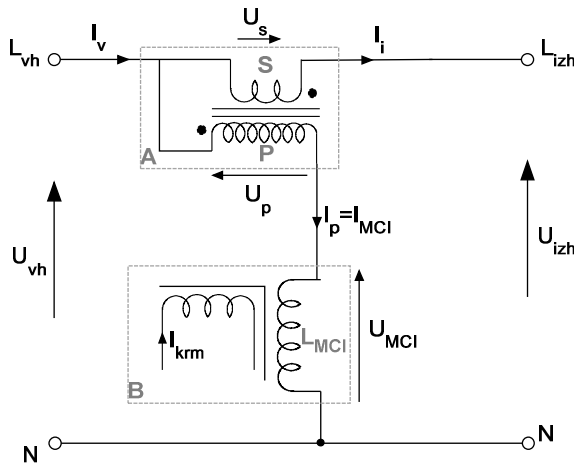
Trifazni napetostni stabilizator MVB (v nadaljevanju MVB) je naprava za stabilizacijo napetosti v NN mrežju, ki zagotavlja:

i) dinamično vzdrževanje prednastavljene izhodne napetosti ne glede na vhodno napetost in spremembe bremena;

ii) izenačenje faznih napetosti v trofaznem sistemu;

iii) povečano kratkostično moč.

Z namenom enostavnejšega prikaza je na Sliki 1 podana topologija enofaznega stabilizatorja.



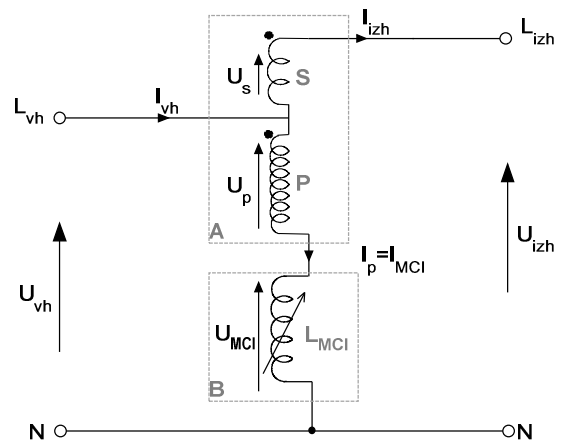
Slika 1: Enofazni napetostni stabilizator [1]

Vežje je sestavljeno iz avtotransformatorja A s serijskim navitjem S vezanim med vhodno točko  $L_{vh}$  ter izhodno točko  $L_{izh}$ , ter paralelnim navitjem P, ki je vzporedno serijskemu. V prečni veji je nameščena dušilka  $L_{MCI}$  ( $MCI=Magtech Controllable Inductance$ ), kateri lahko spreminjamo induktanco. Dušilka  $L_{MCI}$  je podrobneje predstavljena v nadaljevanju. Sestavni del naprave je tudi regulacijsko vežje, ki na tej shemi ni prikazano.

Za principalen prikaz delovanja stabilizatorja je na Sliki 2 poenostavljeno nadomestno vežje, na osnovi katerega lahko izpeljemo osnovne enačbe.

$$U_{vh} = U_{MCI} + U_p \quad (1)$$

$$U_{izh} = U_{MCI} + U_p + U_s = U_{vh} + U_s \quad (2)$$



Slika 2: Poenostavljeno nadomestno vežje [2]

Prestavno razmerje avtotransformatorja je fiksno in izračunano na podlagi pričakovanih obratovalnih parametrov stabilizatorja. Za prikaz privzamemo, da je le ta  $1/3$ . Nadalje privzamemo, da je želena vzdrževana izhodna napetost stabilizatorja  $U_{izh}$  vedno enaka 230V.

Najprej predpostavimo, da ob zmerni obremenitvi padec napetosti zaradi impedance voda med TP in MVB znaša 15V. Da bi na izhodu MVB dosegli napetost 230V, mora znašati napetost na  $U_s$  na avtotransformatorju:

$$U_s = U_{izh} - U_{vh} = 230 \text{ V} - 215 \text{ V} = 15 \text{ V} \quad (3)$$

Na podlagi fiksnega prestavnega ( $=1/3$ ) ter s pomočjo enačb (1) in (2) dobimo:

$$U_{MCI} = U_{vh} - U_p = 215 \text{ V} - 45 \text{ V} = 170 \text{ V} \quad (4)$$

Sedaj predpostavimo hipen porast bremena za MVB, ki padec napetosti med TP in MVB poveča na 40V. Da bi na izhodu MVB ohranili konstantno izhodno napetost 230V se morajo razmere v vežju prilagoditi in sicer:

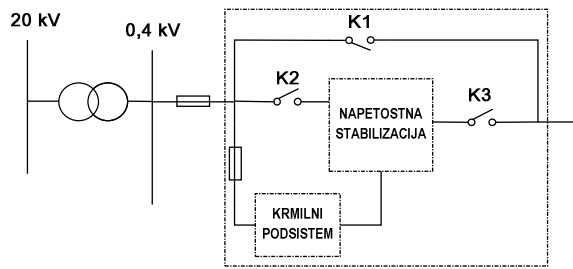
$$U_s = U_{izh} - U_{vh} = 230 \text{ V} - 190 \text{ V} = 40 \text{ V} \quad (5)$$

$$U_{MCI} = U_{vh} - U_p = 190 \text{ V} - 120 \text{ V} = 70 \text{ V} \quad (6)$$

To doseže naprava tako, da z ustreznim krmilnim tokom v krmilnem navitju MCI spremeni reaktanco glavnega navitja dušilke MCI.

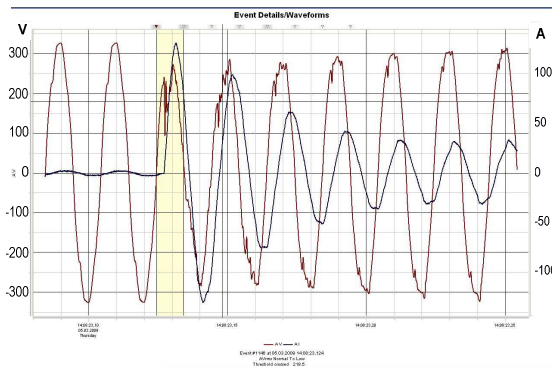
Blok shema posamezne faze stabilizatorja vključno z regulacijsko zanko je prikazana na Sliki 3.

Kontaktorji K1 do K3 so namenjeni preklopu v pasivno stanje; v aktivnem stanju sta K2 in K3 sklenjena, K1 pa je odprt. V pasivnem stanju je stabilizator premoščen – bypass.



Slika 3: Blok shema stabilizatorja [2]

Tipični odzivni čas regulacijske zanke  $\tau$  je 200 ms. Na spodnji sliki je primer odziva ob preklopu Y-D na omrežju v oddaljenosti ~800 m od TP Jarčk, Elektro Gorenjska, ki je povzročil tokovni sunek večji od 120 A. Ta tok presega nazivno vrednost izhodnega toka stabilizatorja za 50% in dosega največjo kratkotrajno preobremenitev!



Slika 4: Odziv stabilizatorja na preklap Y-D

### III. DUŠILKA MCI - KRMILJENA INDUKTANCA

Spreminjanje reaktance dušilke ni nikakršna novost. Izraz za induktivnost dušilke s feromagnetnim jedrom je:

$$L = N^2 \mu_r \mu_0 A/l \quad (7)$$

Če zapostavimo rešitve z drsnimi kontakti ipd., lahko reaktanco dušilke s fiksnim številom obojev in fiksno geometrijo spreminjamo s spreminjanjem permeabilnosti jedra. Po eni strani lahko to dosežemo s spreminjanjem geometrije jedra (npr. zračna reža) oz. njegovega položaja. Tak sistem poznamo npr. pri Petersenovi dušilki. Vendar pa taka rešitev ni najprimernejša tedaj, ko mora biti regulacija hitra in pogosta oz. neprestana. Dokaj hitro lahko naletimo na popolnoma fizikalne omejitve mehanizma, ki skrbi za spreminjanje položaja jedra.

V preteklosti se je pojavilo kar nekaj rešitev za spreminjanje permeabilnosti jedra preko dodatno vzbujenega magnetnega pretoka v jedru, se pravi po električni poti, brez uporabe premičnih elementov [3][4]. Žal tedaj dosežene lastnosti niso omogočale

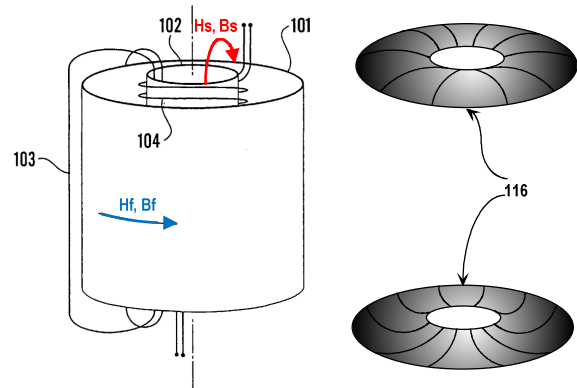
uporabe v aplikacijah podobnih tej, o kateri govorimo v tem članku.

Princip delovanja MCI temelji na dveh med seboj ortogonalnih magnetnih poljih, torej med njima ni nikakršnega magnetnega sklepa.

$$k_{12} = \Phi_{12} / \Phi_1 = 0 \quad (8)$$

Namesto tega MCI izkorišča učinek t.im. "navidezne zračne reže", ki je opisan kasneje.

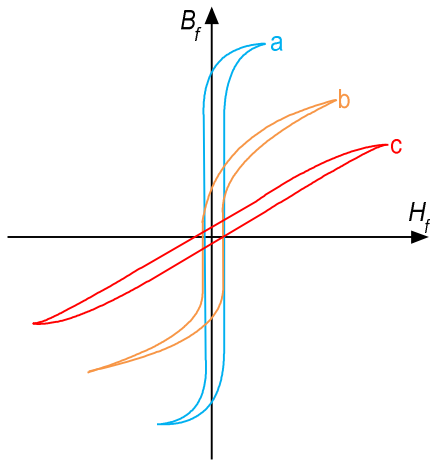
Pri razvoju je poseben izziv predstavljala izdelava posebne izvedbe toroidnega jedra, v katerem so poleg magnetnih pretokov v cirkularni smeri ( $H_f$ ,  $B_f$ ) zaključeni tudi pretoki v pravokotni smeri ( $H_s$ ,  $B_s$ ). Jedro je sestavljeno iz štirih elementov: dveh koncentričnih cilindrov (101, 102) ter spodnje in zgornje magnetne spojke (116), kateri zaključujeta magnetne pretoke v obeh cilindrih. Ti elementi so izdelani iz anizotropnih magnetnih materialov, v aksialni smeri pa imajo vstavljen še izolacijski sloj. V vmesnem prostoru jedra je očem skrito krmilno navitje (104). Po navijanju krmilnega navitja in zaprtju jedra s spodnje in zgornje strani, sledi navijanje glavnega navitja (103) v običajni smeri. Konstrukcija in princip dušilke MCI sta zaščitena s številnimi patenti.



Slika 5: Zgradba toroidnega jedra MCI [6]

Električni tok v glavnem navitju (103) vzbuja magnetno polje  $H_f$  in pretok  $B_f$ , enosmerni tok v krmilnem navitju (104) pa magnetno polje  $H_s$  in pretok  $B_s$ . Polji sta v celotnem jedru med seboj pravokotni, med navitjema ni induktivnega sklepa. Interakcija med obema navitjema se vrši izključno preko spreminjanja relativne permeabilnosti jedra v smeri magnetnega polja  $H_f$ , katero spreminjamo z jakostjo magnetnega polja v smeri  $H_s$ . Vpliv jakosti magnetnega polja  $H_s$  na permeabilnost v smeri  $H_f$  je razvidna iz Slike 6. Z večanjem krmilnega toka je učinek podoben, kot če bi v jedru zvezno povečevali zračno režo. Od tu tudi naziv efekta "navidezne zračne reže".

Končni rezultat je, da z jakostjo enosmernega toka v krmilnem navitju MCI spreminjamo reaktivno upornost glavnega navitja dušilke.

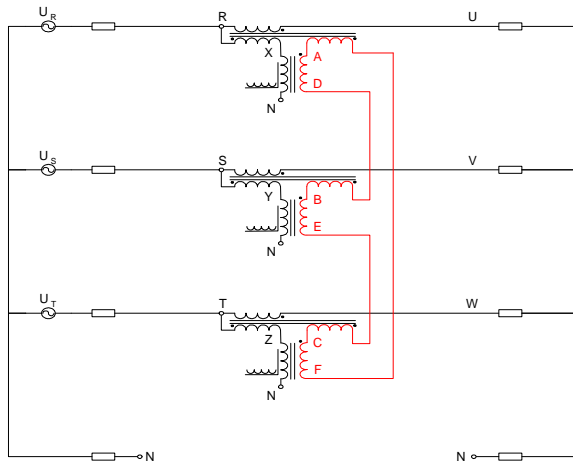


Slika 6: Spreminjanje histerezne zanke v odvisnosti od el. toka v pravokotnem navitju

#### IV. TRIFAZNA IZVEDBA STABILIZATORJA

V Sloveniji se v NN omrežju večinoma uporablja TN sistem ozemljevanja. Izvedba za tak sistem je prikazana na Sliki 7. Na njej je v rdeči barvi izrisano terciarno delta navitje, ki je namenjeno izenačevanju napetosti v trifaznem sistemu. Ne glede na vhodne napetosti in različne fazne obremenitve to vezje poskrbi, da so izhodne napetosti vseh treh faz izenačene.

Slika 7: Konfiguracija MVB za trifazna TN omrežja



Posredni učinek tega navitja pa je tudi za približno 60% povečana kratkostična moč na izhodu stabilizatorja ter 40% na vhodni strani.

#### V. UPORABA V DISTRIBUCIJI (ELEKTRO LJUBLJANA)

##### A. Splošni del z utemeljitvijo

Dolžnost Elektro Ljubljana d.d. je zagotoviti ustrezno kakovost električne napetosti na odjemnem mestu v skladu z določili Splošnih pogojev za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskega omrežja električne energije (Ur.l. RS, št. 126/07) ob

pogoju, da uporabnik uporablja aparate, ki imajo certifikat o elektromagnetni združljivosti (ECM) in standardom SIST 50160.

Na podlagi meritev niskonapetostnega omrežja v naselju Dobra je bilo ugotovljeno, da pri zadnjem odjemnem mestu prihaja do nihanj napetosti, ki niso v skladu z standardom EN 50160.

Dosedanje reševanje slabih napetostnih razmer se je odvijalo v naslednjih smereh:

- z menjavo obstoječih vodnikov (večji presek),
- z interpolacijo TP 20/0,4 kV v NN omrežje,
- z vgradnjo TP 0,4/0,9 kV,
- z mehanskimi regulatorji napetosti.

Za realizacijo rešitev pod a) se pojavi problematika padca napetosti zaradi oddaljenosti odjemalca. Za rešitev b) so potrebna večja investicijska sredstva ter nepredviden čas gradnje, predvsem zaradi dolgih postopkov pridobivanja gradbene dokumentacije, imamo pa trajno rešitev. Rešitvi pod c) in d) sta začasni rešitvi, z dolžino in močjo omejenimi parametri ter slabostmi, kot so prenos nesimetrije in ostalih motenj ter vplivov na obliko napetosti nazaj na 20kV mrežo.

Rešitev pod d) se ni obnesla kot dobra rešitev predvsem zaradi počasne reakcije na hipne spremembe toka, občutljivosti mehanskih regulacijskih delov, potrebnega vzdrževanja ter povzročanje prevelikih motenj za ostale odjemalce.

Cilj iskanja prave rešitve je bil v napravi, ki zvezno popravlja odstopanje napetosti v čim večjem obsegu, nima prevelikega vpliva na ostale uporabnike, je brez vzdrževanja, ima minimalni vpliv na okolje ter zagotavlja varnost osebja v skladu z regulativo. Rešitev ima lahko začasni značaj, najmanj do pridobitve vseh potrebnih dovoljenj za izgradnjo DV z ustrezno TP, ki pa je trajna rešitev.

NN stabilizator napetosti Magtech izpolnjuje zgoraj naštetih zahteve. Stroškovna primerjava z ostalimi rešitvami nam je tudi pokazala, da gre za najugodnejšo rešitev. Vzdrževanje omenjenega postroja ni potrebna, reciklažo lahko primerjamo z distribucijskim transformatorjem.

##### B. Izvedba

Za določitev stojne točke stabilizatorja smo uporabili izračun kontrole padca napetosti. Fizična izvedba je vsebovala zamenjavo obstoječega droga z betonskim drogom K10TP zaradi bodoče izgradnje transformatorske postaje na istem mestu. Na betonski drog smo montirali napetostni stabilizator kot prikazuje Slika 6.

Obstoječi niskonapetostni vod se je na tej točki prekinil in povezal na stabilizator. Na primarni del stabilizatorja se priključi omrežje do stojne točke stabilizatorja, na sekundarni del pa omrežje od stojne točke stabilizatorja naprej do končnega odjemnega mesta. Pred prenapetostjo je na primarni in sekundarni

strani zaščiteno s prenapetostni odvodniki. Napetostni stabilizator ima v nizkonapetostnem omrežju prehodni značaj.



Slika 7: Montaža stabilizatorja na K10 TP.

### C. Meritve kakovosti napajanja

Ker so meritve kakovosti napajanja na izhodu MVB podrobneje obdelane v drugem članku iste konference, je na tem mestu podanih le nekaj točk iz opravljenih meritev na omrežju naselja Dobrava. V nadaljevanju pa so podani tudi subjektivni vtisi odjemalcev.

Tu predstavljene meritve so bile opravljene pri zadnjem odjemalcu, ki je od TP Radeče oddaljenem 1400m, od MVB pa nadaljnjih 600m. Za primerjavo so bile meritve opravljene pred vgradnjo in po vgradnji MVB.

Srednja odstopanja napetosti od nazivne vrednosti so se po vgradnji MVB znižala iz območja -16% do +6% na vsega -4,1% do +2,8%. poudariti velja, da so izmerjena odstopanja napetosti v skrajni točki omrežja celo nižja kot na sami TP.

Tedensko število upadov napetosti po UNPEDE se je v skrajni točki omrežja znižalo iz 9037 na vsega 73.

Harmonska popačenja so pred vgradnjo MVB po posameznih fazah znašala 1,85% do 3,23%. Po vgradnji je THD presegel dovoljene meje in sicer po fazah: L1 5,75%, L2 5,99% in L3 8,49%. To je sicer v skladu z deklaracijskimi podatki proizvajalca, ki navaja, da MVB v odvisnosti od stopnje ojačanja dodaja 1% do 6% THD. A ob že prisotnih harmonskih popačenjih v omrežju nas to pomakne v nedovoljeno območje. Posebej izstopajo tretji harmoniki (h3, h9, h15). V fazi raziskav in preizkušanj so že rešitve, ki obetajo znižanje harmonskih popačenj [1].

Nivo flikerja je ostal nespremenjen, kar žal še vedno pomeni neskladje z zahtevami EN 50160 v primeru presežene vsebnosti flikerja. Deloma to pojasnjuje

tudi časovna konstanta regulacijske zanke  $\tau=200$  ms, ki ni dovolj hitra, da bi izničila utripanja, kot jih merimo v skladu s standardom.

Asimetrija faznih napetosti se je z vgradnjo MVB znižala iz 3,15% na 1,48%.

### D. Vtisi odjemalcev

Anketa odjemalcev na področju Dobrava je bila izvedena zaradi analize stanja napetosti pri odjemalcih po montaži stabilizatorja napetosti MVB. Na območju za stabilizatorjem se nahaja 12 odjemalcev in sicer predvsem podeželskega tipa, pri dveh odjemalcih pa je odjem občasen, saj nista stalno zasedena. Eden od odjemalcev je obrtnik, ki poseduje tudi dve CNC stružnici. Po opravljenih meritvah pa naj ta odjemalec ne bi bil glavni povzročitelj nihanj napetosti. Vsi razen enega imajo trifazni priključek, štiri 3x20A, sedem pa 3x25A. Večina odjemalcev meni, da se stanje po obratovanju izboljšalo, se pa še pojavijo občasna utripanja. Po vgradnji MVB težav z gospodinjstskimi aparati in ostalimi napravami zaradi prenizke napetosti nimajo več. Nekateri odjemalci menijo, da je utripanje zaznati predvsem takrat, ko eden od njih uporablja stružnice in ostale stroje.

Odjemalec, ki je podal pritožbo, je opozoril, da je bilo takoj po vgradnji opaziti izboljšanje, da pa zadnja dva meseca opaža podobno stanje kot pred vgradnjo. Po njegovem opozorilu smo preverili stabilizator in ugotovili, da le ta ni deloval. Domnevamo, da je do samodejnega izklopa prišlo zaradi daljše preobremenitve. Po ponovnem vklopu je stranka sama opazila, da motenj več ni.

Da bi se izognili podobnim situacijam, razmišljamo o možnosti vgradnje GSM alarmne naprave v MVB, ki bo preko SMS sporočila opozarjala na morebiten samodejni izklop MVB. V kolikor bo prihajalo do pogostih izpadov, bo potrebno zadevo detajlneje analizirati in ustrezno ukrepati.

Odjemalec, ki stanuje v neposredni bližini stabilizatorja je zaznal občasno povečano brnenje MVB, hkrati pa tudi brenčanje v nekaterih hišnih aparatih (računalnik, črpalka za centralno, itd.). Domnevamo, da se to dogaja ob povečanih obremenitvah MVB.

Opazke odjemalcev so zbrane v Tabeli 1.

Na splošno so odjemalci po vgradnji MVB zadovoljni s kakovostjo napajanja. Gre pa začasno rešitev, saj je v planu izvedba transformatorske postaje. Temu primerno smo izvedli vgradnjo MVB v točko, kjer bo pozneje nameščena TP.

Tabela s podatki o odjemalcih na področju zaselka Dobrava, kjer je nameščen napetostni stabilizator

Naslov	Lokacija	Vrsta odjemalca	Varovalke	Pred namestitvijo	Po namestitvi	Hrup naprave
Dobrava	pred/za	Gosp/ostali				
22	za	Gospodinjstvo	3x20 A	Utripanje nizka nap.	Napetost v redu včasih še utripne	daleč od naprave
11	za	Gospodinjstvo	3x20 A	Utripanje nizka nap.	Sedaj v redu	daleč od naprave
10	za	Gospodinjstvo	3x25 A	utripalo	V splošnem v redu	daleč od naprave
8 A	za	Gospodinjstvo	3x25 A	utripalo	Občasno bolj zagori(luč)	daleč od naprave
	za	Kabelska TV	1x20 A	ni podatka	ni podatka	Ni podatka
8 B	za	Gospodinjstvo	3x25 A	utripalo	je bolje	Ni slišati nič
8 B	za	Obrt	3x25 A	utripalo	je bolje	Ni slišati nič
9	za	Gospodinjstvo	3x25 A	Zelo utripalo	včasih še utripne je bolje	Ni slišati nič
9A	za	Gospodinjstvo	3x20 A	ni podatka	ni podatka	Ni podatka
8	za	Gospodinjstvo	3x25 A	utripalo	je bolje	Ni slišati nič
7 A	za (zraven)	Gospodinjstvo	3x20 A	utripalo	včasih še utripne, ko dela obrtnik	včasih zabrne
7	za (zraven)	Gospodinjstvo	3x25 A	niso opazili nič	niso opazili nič	niso opazili
6 C	pred	Gospodinjstvo	3x20 A	ni bilo problemov	ni problemov	daleč od naprave
6	pred	Gospodinjstvo	3x20 A	ni bilo problemov	ni problemov	daleč od naprave

## VI. ZAKLJUČEK

Napetostni stabilizator nedvomno predstavlja zanimivo alternativo v primerih, ko moramo motnje, zaradi katerih odjemalci podajajo pritožbe, odpraviti v bistveno krajšem času, kot nam to omogočajo redni postopki. Po dokončni rešitvi na nekem delu omrežja, t.j. postavitve nove TP, stabilizator lahko preselimo na neko drugo žgoče območje.

Meritve so pokazale, da, z izjemo harmonskih popačenj, stabilizator izboljša napetostne razmere v smislu izboljšanja nivoja napajalne napetosti, odprave napetostnih upadov in porastov ter izboljšanja napetostnega neravnotežja do mere, ko le te ustrezajo zahtevam EN 50160. Žal napetostni stabilizator, v tej fazi razvoja, prispeva k povečanju skupnega harmonskega popačenja ter večkratnikov tretjih harmonikov. Vpliv na zmanjšanje vsebnosti flikerja ni opažen.

Po obetanih izboljšavah, pa naj bi naprava zagotavljala znižanje vsebnosti harmonskih komponent pod dopustni nivo.

Čeprav so edino merodajno merilo opravljene meritve skladnosti z zahtevami, pa nam rezultati ankete kažejo, da se v primeru vgradnje MVB, lahko v veliki meri izognemo novim pritožbam odjemalcev, kar nam omogoča iskanje ustrezne kasnejše dokončne rešitve.

## VII. REFERENCE

- [1] Hystad, "Autotransformer Device with Magnetic Gap", Patent WO 2007/035110, Marec 2007.
- [2] Strand, Haugs, "System for Voltage Stabilization of Power Supply Lines", Patent WO 2004/053615, Junij 2004.
- [3] Meretsky, "Inductive device having orthogonal windings", U.S. Patent No. 4,210,859, April 1978.
- [4] Wanlass, " ", U.S. Patent No. 3,409,822, November 1968
- [5] Haugs, Strand, "Controllable transformer", U.S. Patent No. 6,788,180, September 2004.
- [6] Haugs, Strand, "Controllable Inductive Device", Patent WO 2005/036568, April 2005.
- [7] Johansen, "Booster", Patent WO 2006/068495, Junij 2005.
- [8] Interna tehnična dokumentacija proizvajalca Magtech AS, Norveška.