



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Elektroenergetika

Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
inštalacije

**ANALIZA UČINKOV UPORABE
NAPETOSTNEGA STABILIZATORJA ZA
IZBOLJŠANJE NAPETOSTNIH RAZMER**

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Maja Antosiewicz Škraba, univ. dipl. slov.

Kandidat: Martin Medved

Ljubljana, februar 2020

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el., za pomoč, posredovano literaturo in usmerjanje pri pisanju diplomskega dela.

Zahvala gre tudi podjetju Elektro Primorska, d. d., ki mi je omogočilo študij.

Hvala gospodu Darku Lestanu iz podjetja Altens, d. o. o., za posredovanje potrebne literature o napetostnem stabilizatorju MVB.

Zahvaljujem se tudi partnerki Tjaši Simčič za vso pomoč in podporo ter lektorici Maji Antosiewicz Škraba, ki je diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Martin Medved izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu smo analizirali učinke vgradnje napetostnega stabilizatorja za izboljšanje napetostnih razmer v dveh manjših zaselkih na področju podjetja Elektro Primorska, d. d., Distribucijska enota Sežana. Predstavili smo več različnih tipov napetostnih stabilizatorjev, podrobneje pa napetostni stabilizator MVB, ki je uporabljen v teh dveh zaselkih. V drugem delu diplomskega dela smo podali meritve kakovosti električne energije in iz njih ugotovili učinke in upravičenost vgradnje napetostnega stabilizatorja v teh dveh zaselkih.

KLJUČNE BESEDE

- nizkonapetostno omrežje
- kakovost električne energije
- odjemalci električne energije
- napetostni stabilizator
- standard SIST EN 50160

ABSTRACT

In the thesis we analysed the effects of installing a voltage booster to improve the voltage conditions in two small hamlets in the area of the company Elektro Primorska, PLC, Sežana Distribution Unit. We introduced several different types of voltage stabilizers, and more specifically, the MVB voltage stabilizer which is used in these two hamlets. In the second part of the thesis we added quality measurements of electrical energy. Based on that, we determined the effects and the eligibility of the voltage stabilizer installation in these two hamlets.

KEYWORDS

- low-voltage network
- electricity quality
- electricity customers
- voltage booster
- SIST EN 50160 standard

KAZALO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | UVOD..... | 1 |
| 1.1 | Predstavitev problema..... | 1 |
| 1.2 | Cilji naloge..... | 1 |
| 1.3 | Predstavitev okolja in omejitve..... | 1 |
| 1.4 | Metode dela..... | 2 |
| 2 | TEORETIČNE OSNOVE..... | 2 |
| 2.1 | Standard SIST EN 50160..... | 2 |
| 2.2 | Možni načini odprave slabih napetostnih razmer..... | 4 |
| 2.3 | Napetostni stabilizator MVB – opis..... | 6 |
| 2.4 | Napetostni stabilizator MVB – vgradnja..... | 9 |
| 2.5 | Zagon in posluževanje MVB-ja..... | 12 |
| 3 | ODPRAVLJANJE SLABIH NAPETOSTNIH RAZMER Z UPORABO NAPETOSTNEGA STABILIZATORJA..... | 12 |
| 3.1 | Nizkonapetostno omrežje Planina Grad..... | 13 |
| 3.2 | Nizkonapetostno omrežje Šilentabor..... | 15 |
| 4 | MERITVE KAKOVOSTI ELEKTRIČNE ENERGIJE PRED VGRADNJO NAPETOSTNEGA STABILIZATORJA V NIZKONAPETOSTNEM OMREŽJU IN PO NJEJ..... | 18 |
| 4.1 | Meritve kakovosti električne energije Planina Grad..... | 18 |
| 4.1.1 | Prikaz meritev na merilnem mestu Planina 181..... | 18 |
| 4.1.2 | Prikaz meritev na merilnem mestu Planina 182..... | 21 |
| 4.2 | Meritve kakovosti električne energije Šilentabor..... | 24 |
| 4.2.1 | Prikaz meritev na merilnem mestu Šilentabor 3..... | 25 |
| 4.2.2 | Prikaz meritev na merilnem mestu oddajnik RTV Slovenija..... | 28 |
| 5 | ZAKLJUČKI..... | 31 |
| 6 | LITERATURA IN VIRI..... | 33 |

KAZALO SLIK

| | | |
|-----------|---|----|
| Slika 1: | Shematski prikaz mesta vgradnje MVB..... | 6 |
| Slika 2: | Shematski prikaz principa delovanja MVB..... | 7 |
| Slika 3: | Avtotransformator z dvema pravokotnima magnetnima poljema..... | 8 |
| Slika 4: | Namestitev MVB na enojni drog..... | 10 |
| Slika 5: | Namestitev MVB s pomožnim drogom..... | 11 |
| Slika 6: | Namestitev MVB na betonski podstavek na tleh..... | 11 |
| Slika 7: | Blokovna shema napetostnega stabilizatorja..... | 12 |
| Slika 8: | Lokacija postavitve napetostnega stabilizatorja in lokacije odjemalcev, kjer se je izvajalo meritve kakovosti električne napetosti – Planina Grad | 13 |
| Slika 9: | Napetostni stabilizator Planina Grad..... | 14 |
| Slika 10: | Predstavitev izračuna kontrole padcev napetosti s programskim orodjem Magtech v zaselku Planina Grad..... | 15 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Slika 11: | Lokacija postavitve napetostnega stabilizatorja – Šilentabor | 16 |
| Slika 12: | Napetostni stabilizator Šilentabor | 17 |
| Slika 13: | Predstavitev izračuna kontrole padcev napetosti s programskim orodjem Magtech v zaselku Šilentabor..... | 17 |
| Slika 14: | Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 181..... | 19 |
| Slika 15: | Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 181..... | 19 |
| Slika 16: | Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 181..... | 20 |
| Slika 17: | Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 181 .. | 20 |
| Slika 18: | Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 182..... | 22 |
| Slika 19: | Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 182..... | 22 |
| Slika 20: | Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 182..... | 23 |
| Slika 21: | Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 182 .. | 23 |
| Slika 22: | Prikaz lokacij merilnih mest, na katerih so se izvajale meritve..... | 25 |
| Slika 23: | Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3..... | 26 |
| Slika 24: | Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3 | 26 |
| Slika 25: | Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3 | 27 |
| Slika 26: | Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3 .. | 27 |
| Slika 27: | Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija..... | 29 |
| Slika 28: | Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija | 29 |
| Slika 29: | Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija | 30 |
| Slika 30: | Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija | 30 |

KAZALO TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1: | Prikaz nekaterih zahtev po standardu SIST EN 50160..... | 4 |
| Tabela 2: | Število upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, Planina 181 | 21 |
| Tabela 3: | Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, Planina 181..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Tabela 4: Število enotedenskih upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, Planina 182 | 24 |
| Tabela 5: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, Planina 182..... | 24 |
| Tabela 6: Število enotedenskih upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3 | 28 |
| Tabela 7: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3..... | 28 |
| Tabela 8: Število enotedenskih upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija | 31 |
| Tabela 9: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija..... | 31 |

KRATICE IN AKRONIMI

| | |
|---------|--|
| %: | odstotek |
| DV: | daljnovod |
| Hz: | hertz |
| I_L : | impedančni tok |
| kV: | kilovolt |
| kW: | kilovat |
| m: | meter |
| MCI: | krmiljena variabilna induktivnost |
| MVB: | napetostni stabilizator za nizkonapetostna omrežja (angl. Magtech Voltage Booster) |
| NN: | nizka napetost |
| RTV: | radiotelevizija |
| SN: | srednja napetost |
| SODO: | sistemski operater distribucijskega omrežja |
| TP: | transformatorska postaja |
| U_b : | izhodna napetost |
| U_L : | impedančna napetost |
| U_n : | nazivna napetost |
| U_p : | vhodna napetost |

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Elektrodistribucijska podjetja morajo uporabnikom zagotavljati kakovostno električno napetost skladno s standardom SIST EN 50160, kar je predpisano s Splošnimi pogoji za dobavo in odjem električne energije. Standard določa minimalne zahteve kakovosti električne napetosti, med katere sodijo velikost napajalne napetosti, odkloni napajalne napetosti, velikosti hitrih napetostnih sprememb in velikost flikerja.

Glede na to, da ima nizkonapetostno omrežje pričakovano življenjsko dobo vsaj 40 let in da se znova večja poseljenost na podeželju, se pojavljajo težave z neustrezno napetostjo, ki ne izpolnjuje minimalnih kriterijev po standardu SIST EN 50160. Z večanjem števila novogradenj se podaljšujejo nizkonapetostni vodi iz transformatorskih postaj. Hkrati se ob nenehni rasti porabe električne energije pojavljajo težave z velikostjo in obliko električne napetosti. Kakovostna električna napetost je pomembna tudi zaradi vse bolj občutljivih sodobnih električnih naprav, ki se jim zaradi nekakovostne električne napetosti krajša življenjska doba oziroma se lahko zato celo pokvarijo.

Elektrodistribucijska podjetja so na eni strani razpeta med vse hujšimi pritiski za doseg ustreznosti kakovosti električne energije s strani zakonodaje in odjemalcev, na drugi strani pa se od njih pričakuje zniževanje stroškov in posledično večanje dobičkov. Elektrodistribucijska podjetja lahko težave z nekakovostno električno energijo poskušajo odpraviti na različne načine. Med njimi so večanje presekov na nizkonapetostnem omrežju, uporaba vmesne – dvojne transformacije 0,4/1–1/0,4 kV, dograditev sredjenapetostnih vodov in izgradnja novih transformatorskih postaj ter uporaba napetostnih stabilizatorjev.

1.2 CILJI NALOGE

Na podlagi opravljenih meritev pred namestitvijo napetostnega stabilizatorja na dveh različnih lokacijah in po njej bomo poskušali ugotoviti in predstaviti prednosti te rešitve za končne odjemalce in elektrodistribucijsko podjetje.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA IN OMEJITVE

V diplomskem delu bomo predstavili primera podjetja Elektro Primorska, d. d., Distribucijska enota Sežana, o uporabi napetostnega stabilizatorja za potrebe izboljšanja kakovosti električne energije v dveh manjših zaselkih, to sta Planina Grad in Šilentabor.

1.4 METODE DELA

Pri pisanju in pridobivanju potrebnih informacij smo se osredotočili predvsem na pregled spletnih strani, katalogov, tehničnih navodil napetostnega stabilizatorja Magtech, internih gradiv Elektro Primorska, d. d., ter opravljenih meritev. Na ta način bomo lahko predstavili končne rezultate vgradnje napetostnih stabilizatorjev v naseljih Planina Grad in Šilentabor.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 STANDARD SIST EN 50160

Slovenski standard SIST EN 50160: značilnosti napetosti v javnih razdelilnih omrežjih. (istoveten SIST EN 50160)

Uporabo standarda SIST EN 50160 zahtevajo od distribucijskih podjetij Splošni pogoji za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskega omrežja električne energije v poglavju Kakovost storitev SODO.

Standard SIST EN 50160 podaja glavne značilnosti napetosti na prodajnih mestih električne energije kupcu – odjemalcu v javnem NN- in SN-razdelilnem omrežju ob normalnih obratovalnih pogojih. Ta standard podaja meje oziroma vrednosti, znotraj katerih lahko kupec pričakuje značilnosti napetosti in ne opisuje tipičnih razmer za priključitev porabnika v javno razdelilno omrežje. (istoveten SIST EN 50160)

Namen tega standarda je določiti in opisati značilnosti napajalne napetosti, ki se navezujejo na (istoveten SIST EN 50160):

- frekvenco,
- velikost,
- obliko vala in
- simetrijo trifaznega napetostnega sistema.

Te značilnosti se v normalnem obratovanju napajalnega sistema spreminjajo zaradi sprememb obremenitev, motenj, ki jih pošiljajo v omrežje nekatere naprave, in okvar, ki jih večinoma povzročijo zunanji dogodki. (istoveten SIST EN 50160)

Značilnosti napetosti se spreminjajo na način, ki je naključen časovno (glede na kateri koli trenutek časa) in prostorsko (glede na katero koli predajno mesto). Zaradi teh sprememb je mogoče pričakovati, da bodo v majhnem številu primerov ravni značilnosti presežene. (istoveten SIST EN 50160)

Nekateri pojavi, ki vplivajo na napetost, so še posebej nepredvidljivi, tako da je za nekatere značilnosti nemogoče podati natančne vrednosti. Vrednosti, ki so v tem

standardu podane za pojave, kot sta na primer prekinitev in upad napetosti, so zato okvirne. (istoveten SIST EN 50160)

Pomembnejše zahteve glede napajalne nizke napetosti v tem standardu (istoveten SIST EN 50160):

- nazivna frekvenca napajalne napetosti v omrežjih, ki obratujejo sinhrono v interkonekciji. Ob normalnih obratovalnih pogojih mora biti srednja vrednost osnovne frekvence v mejah $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ (to je od 49,5 do 50,5 Hz) v 99,5 % leta oziroma $50 \text{ Hz} + 4 \%$ / $- 6 \%$ (to je od 47 do 52 Hz) v vsem (100 %) času;
- standardizirana nazivna napetost U_n javnih nizkonapetostnih omrežij je v štirivodnih trifaznih sistemih 230 V med linijskim (faznim) in nevtralnim vodnikom oziroma v trivodnih trifaznih sistemih 230 V med linijskimi (faznimi) vodniki;
- odklon napajalne napetosti ob normalnih obratovalnih pogojih mora biti 95 % vseh 10-minutnih period srednjih efektivnih vrednosti napajalne napetosti enega tedna v mejah $U_n \pm 10 \%$ oziroma morajo biti vse 10-minutne periode srednjih efektivnih vrednosti napajalne napetosti v mejah $U_n + 10\%$ / $- 15 \%$;
- jakost flikerja ob normalnih obratovalnih pogojih mora biti v katerem koli tednu dolgotrajna, povzročena s kolebanjem napetosti, v 95 % tedna manjša ali enaka 1 ($P_{It} \wedge 1$);
- definicija flikerja po tem standardu je vtis nestalnosti vidnega zaznavanja zaradi svetlobnega dražljaja, katerega svetlost ali spektralna porazdelitev časovno niha. Napetostno kolebanje povzroča spremembe svetilnosti svetil, kar lahko povzroči fliker. Nad določenim pragom postane fliker moteč;
- upade napajalne napetosti navadno povzročajo okvare v odjemalčevi inštalaciji ali v javnem razdelilnem omrežju. To so nepredvidljivi, večinoma naključni dogodki. Letna pogostnost upadov napetosti je zelo odvisna od tipa omrežja in mesta opazovanja. Poleg tega je lahko letna porazdelitev upadov napetosti zelo neredna.

Standard SIST EN 50160 določa osnovne značilnosti napajalne srednje napetosti, ki so:

- omrežna frekvenca,
- velikost napajalne napetosti,
- odkloni napajalne napetosti,
- hitre napetostne spremembe,
- upadi napajalne napetosti,
- kratkotrajne prekinitve napajalne napetosti,
- dolgotrajne prekinitve napajalne napetosti,
- občasne prenapetosti omrežne frekvence med linijskimi vodniki in zemljo,
- prehodne napetosti med linijskimi vodniki in zemljo,
- neravnotežje napajalne napetosti,
- harmonska napetost,

- medharmonska -t,
- napetostni signali v omrežju.

Tabela 1 prikazuje nekatere zahteve po standardu SIST EN 50160.

| Značilnost napetosti | Integracijska perioda | Časovno merilno obdobje | Verjetnost nahajanja znotraj tolerance | Ovrednotenje parametra - toleranca |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Odkloni napajalne napetosti | 10 minut | 1 teden | 95% | ± 10% |
| | 10 minut | 1 teden | 100% | = +10%/-15% |
| Omrežna frekvenca | 10 s | 1 teden/leto | 99,5% | ±1% |
| | 10 s | 1 teden/leto | 100% | = +4%/-6% |
| Fliker | 2 uri | 1 teden | 95% | ≤ 1 |
| Harmoniki | 10 minut | 1 teden | 95% | SIST EN 50160 |
| nestabilnost napajalne napetosti | 10 minut | 1 teden | 95% | ≤ 2% |
| Signalne napetosti | 3 sekunde | 1 dan | 99% | SIST EN 50160 |

Tabela 1: Prikaz nekaterih zahtev po standardu SIST EN 50160
(Vir: Altens, d. o. o., 2019)

2.2 MOŽNI NAČINI ODPRAVE SLABIH NAPETOSTNIH RAZMER

Elektrodistribucijska podjetja morajo uporabnikom zagotavljati kakovostno električno napetost, skladno s standardom SIST EN 50160, kar je predpisano s Splošnimi pogoji za dobavo in odjem električne energije v poglavju Kakovost storitev SODO. Standard določa minimalne zahteve kakovosti električne napetosti, med katere sodijo velikost napajalne napetosti, odkloni napajalne napetosti in velikosti hitrih napetostnih sprememb.

Elektrodistribucijska podjetja lahko težave z nekakovostno električno energijo poskušajo odpraviti na različne načine. Med njimi so:

- večanje presekov na nizkonapetostnem omrežju,
- uporaba vmesne, dvojne transformacije 0,4/1–1/0,4 kV,
- dograditev sredjenapetostnega voda in izgradnja nove transformatorske postaje ter
- uporaba napetostnega stabilizatorja.

Večanje presekov NN-vodnikov je uspešno do določene mere, saj se zaradi dolžine vodov pojavljajo veliki padci napetosti. Hkrati pa je ta rešitev z ekonomskega vidika draga in ne sledi večanju porabe električne energije.

Vmesna, dvojna transformacija se je v preteklosti pogosto uporabljala za premostitev daljših razdalj. Takšna rešitev je hitro izvedljiva, saj sodi med nizkonapetostne vode in zato ni potrebna pridobitev novega gradbenega dovoljenja. Hkrati je bistveno cenejša od izgradnje novega srednjenapetostnega voda in transformatorske postaje. Dograditev srednjenapetostnega voda in izgradnja nove transformatorske postaje je najustreznejši način za odpravo slabih napetostnih razmer. Slabosti tega načina so dolgotrajni postopki za pridobitev gradbenega dovoljenja in velika investicijska vlaganja.

Uporaba napetostnega stabilizatorja se je v praksi izkazala kot hitro izvedljiv in najugodnejši način za odpravo slabih napetostnih razmer. Napetostni stabilizator za nizkonapetostna omrežja je naprava, ki izravna padec napetosti in stabilizira napetost na dolgem vodu. Hkrati se ojačenje napetostnega stabilizatorja zvezno in dinamično prilagaja spremenljivi obremenitvi.

V praksi se uporablja napetostne stabilizatorje različnih proizvajalcev, in sicer:

- regulator napetosti WALCHER,
- napetostni stabilizator ENSTO,
- korektor napetosti VROT-18 in
- napetostni stabilizator MVB za nizkonapetostna omrežja.

Regulator napetosti WALCHER regulira napetost s kontaktorji, obstaja pa tudi izvedba s polprevodniki. Energetski del regulatorja napetosti je sestavljen iz treh medsebojno neodvisnih kaskadnih regulacijskih transformatorjev (v vsaki fazi po en). Vsak regulacijski transformator vsebuje šest transformatorjev. Odvisno od velikine zmanjšanja ali povečanja napetosti se vključi določeno število transformatorjev. Možne so tri različne regulacije napetosti: ± 36 V, ± 48 V in ± 60 V. (C & G. d. o. o., 2014)

Napetostni stabilizator ENSTO neprekinjeno meri napetost in po potrebi vklopi funkcijo za dvig napetosti. Kot vir napetosti je uporabljen avtotransformator, pri katerem se primarni tok poveča v skladu z razmerjem napetosti. Primarni tok je razdeljen v tri faze. Kontrolna elektronika meri vhodno in izhodno napetost v vsaki fazi posebej, s pomočjo posebnega stikala pa izbere in nastavi želeno raven dviga napetosti. Stikalo je zgrajeno iz polprevodnikov in nima mehanskih elementov, kar pomeni, da niso prisotni učinki tresenja in težav mehanske obrabe. Stikalo za premoščanje se sproži v primeru, če ni potrebe po dvigu napetosti in če nadzorni sistem zazna poškodbe na vodniku. Odzivni čas je 300 ms. (C & G. d. o. o., 2014)

Korektor napetosti VROT-18 predstavlja samokrmilni regulator energije in je namenjen krmiljenju napetostnih razmer v NN-omrežju. Omogoča tudi simetriranje obremenitev vzdolž vodnikov, na katere se vgrajuje. Odpravlja povratni tok na nevtralnem vodniku za porabnike, ki se nahajajo za napravo, izboljšuje delovanje in

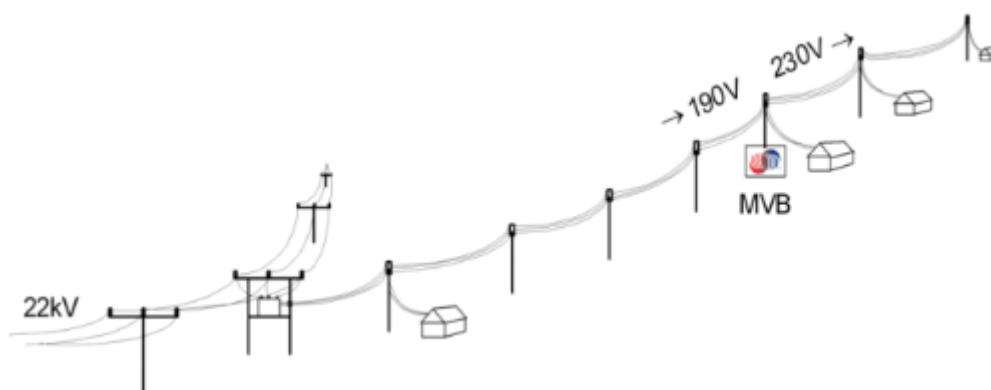
selektivnost zaščite ter štiti uporabnike pred previsoko napetostjo pri kratkem stiku med faznim in nevtralnimi vodnikom. Korektor napetosti VROT-18 je enofazna naprava, tako da je za korekcijo napetosti v trifaznem NN-omrežju treba vgraditi komplet treh korektorjev. Ključni del naprave je transformator v suhi izvedbi vezave Dy (primarna navitja so povezana v trikot, sekundarna pa v zvezdo). Tak transformator ne spada v skupino avtotransformatorjev, saj deluje na principu krmiljenja spremenljive strukture galvansko ločenega kroga. Poleg transformatorja korektor vsebuje še avtomatsko varovalko velike moči in krmilni del, ki regulira delovanje korektorja v dveh stopnjah, in sicer: osnovna stopnja (ko je omrežna napetost v mejah dovoljenega) in regulacijska stopnja (ko je napetost zaradi nesimetrije okrnjena in naprava začenja z regulacijo). (C & G. d. o. o., 2014)

Delovanje napetostnega stabilizatorja MVB temelji na elektromagnetnem principu brez uporabe premičnih delov za regulacijo, kar omogoča relativno hiter odziv (približno 200 ms) na spremembe stanja v NN-omrežju. Regulacijo napetosti dosežemo s pomočjo spreminjanja induktivnosti posebne dušilke s feromagnetnim jedrom, ki izkorišča učinek tako imenovane navidezne zračne reže. (C & G. d. o. o., 2014)

V nadaljevanju bomo podrobneje predstavili delovanje napetostnega stabilizatorja MVB, saj je z njim podjetje Elektro Primorska, d. d., Distribucijska enota Sežana, izboljšalo kakovost električne energije v dveh zaselkih.

2.3 NAPETOSTNI STABILIZATOR MVB – OPIS

Napetostni stabilizator (angl. Magtech Voltage Booster; v nadaljevanju MVB) je regulator oz. stabilizator napetosti, namenjen vgradnji v tiste točke NN-omrežja, kjer napetostne razmere ne ustrezajo veljavnim predpisom in standardom. MVB lahko vhodno napetost ojači do 15 % tako, da vzdržuje konstantno raven napetosti na izhodnih sponkah. Ojačitev se dinamično prilagaja trenutni moči odjema in posledičnemu padcu napetosti v omrežju. (Altens, d. o. o., 2016)



Slika 1: Shematski prikaz mesta vgradnje MVB
(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 1)

Namen uporabe MVB-ja je odprava asimetrije, upadov in nihanj napetosti zaradi (Altens, d. o. o., 2016):

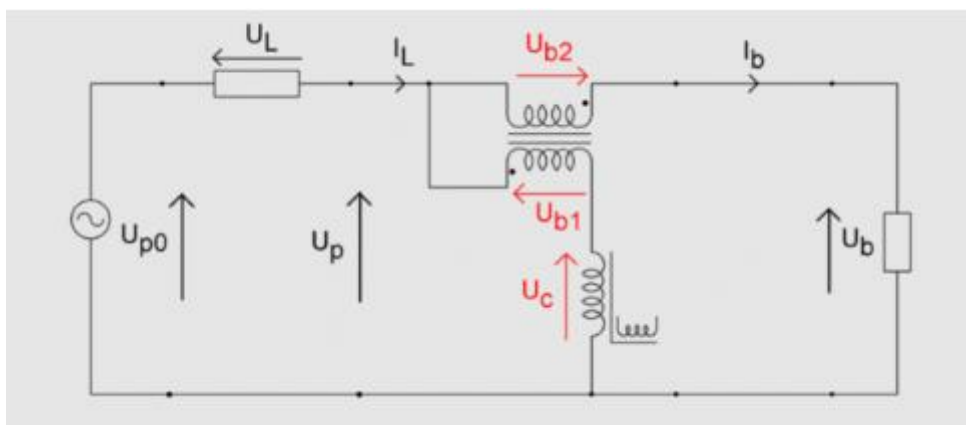
- dolgih in poddimenzioniranih vodov,
- nenadejanega porasta odjema,
- nesimetrične razporeditve odjemalcev,
- zagonov velikih motorjev.

Poleg tega MVB zagotavlja (Altens, d. o. o., 2016):

- vzdrževanje nenehne izhodne napetosti (tovarniško nastavljen na 235 V),
- hiter odziv na spremembe napetosti (<150 ms, zmogljivejši modeli <200 ms),
- odpravo dolgotrajnih odklonov, nihanj in upadov napetosti,
- dinamično prilagajanje ojačenja vsake faze posebej in s tem odpravlja asimetrijo napetosti,
- povečanje enopolnih kratkostičnih tokov do 60 % in posledično povečana varnost odjemalcev.

Princip delovanja MVB

Tok v omrežju I_L zaradi impedance vodnikov povzroči padec napetosti U_L med distribucijskim transformatorjem in končnimi odjemalci. V mnogih primerih je napetost pri oddaljenih odjemalcih nižja od predpisane. MVB postavimo med transformator in odjemalce s prenizko napetostjo. MVB bo vhodni napetosti U_p dodal napetostno komponento U_{b2} . To dosežemo z avtotransformatorsko konfiguracijo, a s pomembno izjemo: izhodna napetost U_b je ne glede na obremenitev konstantna, saj se prek krmiljene variabilne induktivnosti (MCI) ojačenje dinamično prilagaja obremenitvi. S spreminjanjem induktivnosti uravnavamo napetost U_c , posledično pa tudi napetosti na primarju in sekundarju transformatorja (U_{b1} in U_{b2}). (Altens, d. o. o., 2016)



Slika 2: Shematski prikaz principa delovanja MVB

(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 1)

V podjetju Magtech so razvili in s patentom zaščitili tako imenovano krmiljeno

induktivnost (Magtech Controllable Inductance – MCI). Deluje na principu dveh pravokotnih magnetnih polj, pri čemer prvo polje vpliva na karakteristike drugega polja. S spreminjanjem jakosti prvega polja lahko z zelo kratkim odzivnim časom spreminjamo permeabilnost jedra in prek spremenjene induktivnosti delovnega navitja ojačenje MVB-ja. (Altens, d. o. o., 2016)



Slika 3: Avtotransformator z dvema pravokotnima magnetnima poljema
(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 1)

Najpogostejši primer uporabe je namestitev MVB-ja pred oddaljeno gručo hiš. V povezavi z obnovljivimi viri in posledičnimi nihanjem napetosti pa ostaja še obilo drugih možnosti za uporabo. Pred namestitvijo se priporoča pripravo izračunov pričakovanih napetostnih razmer, ki temeljijo na podatkih omrežja, odjema in na meritvah napetosti v različnih točkah. Da bi zagotovili optimalni učinek in korist za čim večje število odjemalcev, je treba točko vgradnje določiti s posebno skrbnostjo. Predhodne izračune je moč opraviti z namenskim simulacijskim programskim paketom. Ob tem se za dodatna pojasnila in pomoč priporoča kontaktiranje pooblaščenega zastopnika Altens, d. o. o. (Altens, d. o. o., 2016)

Prednosti namestitve MVB-ja (Altens, d. o. o., 2016):

- hitra in enostavna vgradnja,
- časovno, cenovno in organizacijsko najučinkovitejša rešitev za slabe napetostne razmere,
- zaščita pred dolgotrajno preobremenitvijo – po delovanju zaščite se delovanje preklopi v način »by-pass«, s čimer je zagotovljeno neprekinjeno napajanje odjemalcev,
- večkratni avtomatski ponovni zagon v primeru varnostnega izklopa,
- dodatno pretokovno varovanje na izhodnih sponkah ni potrebno,
- naprava prenese tudi do 50 % preobremenitve v trajanju šestih ur,
- najvišja kakovost uporabljenih materialov in odsotnost gibljivih delov zagotavlja najmanj 25-letno obratovanje,

- vzdrževanje ni potrebno – regulacija ojačenja je izvedena na elektromagnetnem principu in brez gibljivih elektromehanskih delov.

Norveško podjetje Magtech AS je načrtovalo in izdelalo MVB v skladu s standardi (Altens, d. o. o., 2016):

- EN 50160,
- IEC 61000-3-4,
- IEC 60439-1, IEC 60439-5,
- direktiva 73/23/EEC,
- regulativa EMC.

2.4 NAPETOSTNI STABILIZATOR MVB – VGRADNJA

Naprave MVB so dimenzijsko in konstrukcijsko praktično enake distribucijskim transformatorjem 20/0,4 kV, saj je za osnovno konstrukcijo uporabljen tipski transformatorski kotel. Izjema so električni priključki, saj MVB nima primarnega navitja SN – vhodni in izhodni priključki so nizkonapetostni.

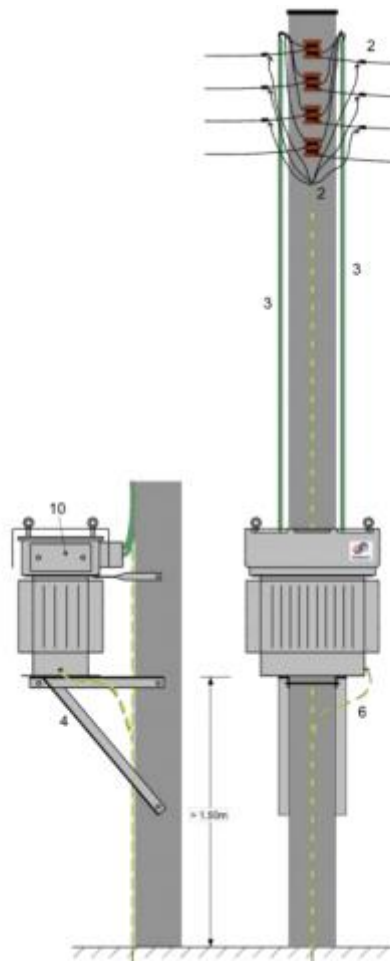
Priključitev je izvedena prek dveh NN-kablov, ki vstopajo v napravo skozi uvodnice ob strani zgornjega dela naprave, v katerem se poleg priključnih sponk nahaja tudi krmilni in upravljaljski del naprave.

Uporabnik mora v skladu s podanimi izmerami in težo posameznega modela MVB opraviti statični izračun in se odločiti za njemu najbolj ugoden način namestitve in pritrditve, ki zagotavlja ustrezno varnost naprav in okolice.

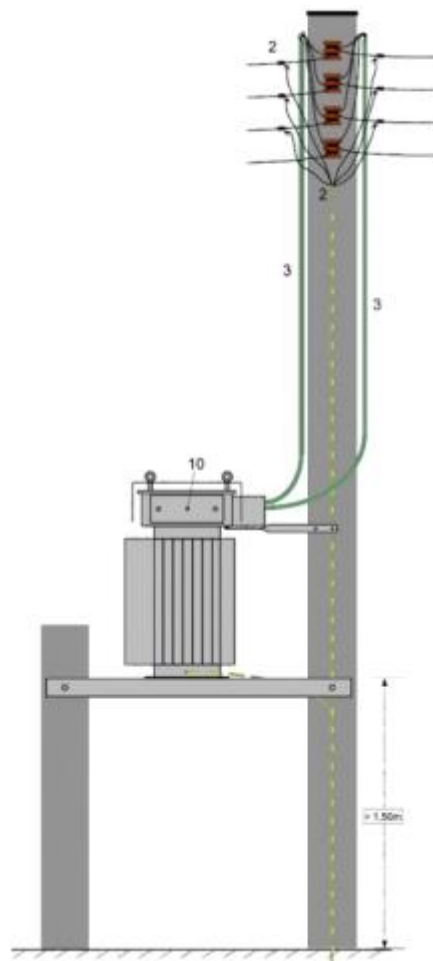
Lahko se odloči za izdelavo namenske nosilne konstrukcije ali pa uporabi tipske elemente za postavitve TP.

MVB pogosto predstavlja hitro rešitev za neugodne napetostne razmere, ki bodo sčasoma predvidoma dokončno rešene z izgradnjo nove TP SN/NN. V tem primeru je smiselno, da uporabnik prouči to možnost ter pripravi stojno mesto in ozemljilni sistem, ki je primeren za TP SN/NN. Na mesto transformatorja pa sedaj namesti MVB. Ob bodoči izgradnji nove TP bo lahko učinkovito uporabil večji del sedaj pripravljenih gradbeno-montažnih elementov in izvedeni ozemljilni sistem. Tako bo celotna investicija nižja. (Altens, d. o. o., 2016)

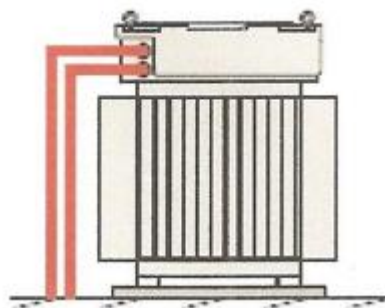
Napetostni stabilizator MVB je treba namestiti vsaj 1,5 m od tal. Skladno z navodili proizvajalca se napetostni stabilizator lahko namesti na tri načine. To so: namestitev na enojni drog, namestitev s pomožnim drogom ali namestitev na tla, na betonski podstavek.



Slika 4: Namestitev MVB na enojni drog
(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 5)



Slika 5: Namestitev MVB s pomožnim drogom
(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 5)



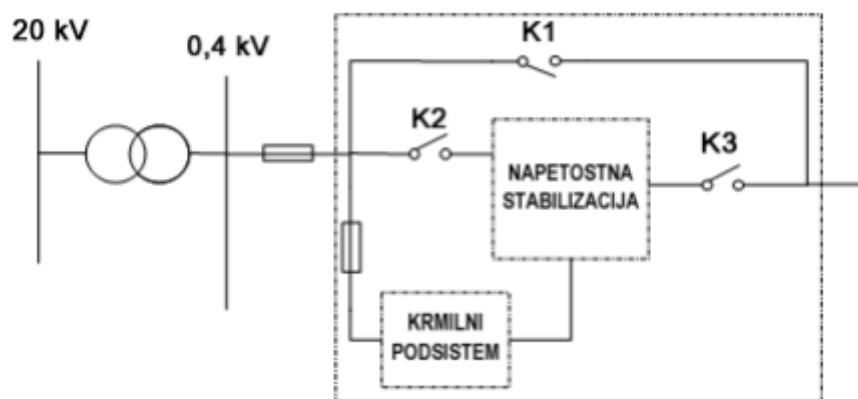
Slika 6: Namestitev MVB na betonski podstavek na tleh
(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 5)

2.5 ZAGON IN POSLUŽEVANJE MVB-JA

Ko je naprava izklopljena, so vhodne in izhodne sponke posamezne faze sklenjene, kar predstavlja bypass. Kontakt K1 je sklenjen, ostala dva pa razklenjena. To pomeni, da bodo odjemalci imeli nespremenjeno napetost, kakršna je prisotna na vhodnih sponkah, in tega ne bodo čutili kot izpad napajanja. V tem stanju MVB vhodne napetosti ne ojačuje.

Ko je stikalo v položaju 1, so vhodne sponke ločene od izhodnih. Kontakt K1 je razklenjen, K2 in K3 pa sklenjena. Izhodna napetost je v normalnih obratovalnih razmerah enaka tovarniško prednastavljeni napetosti 235 V oz. 15 % višja od vhodne. 15 % je maksimalen dvig vhodne napetosti, ki ga naprava zmore. (Altens, d. o. o., 2016)

Slika 7 prikazuje delovanje napetostnega stabilizatorja.



Slika 7: Blokovna shema napetostnega stabilizatorja
(Vir: Altens, d. o. o., 2016, str. 10)

3 ODPRAVLJANJE SLABIH NAPETOSTNIH RAZMER Z UPORABO NAPETOSTNEGA STABILIZATORJA

Na podlagi pritožb odjemalcev in posledično opravljenih meritev kakovosti električne napetosti je bilo ugotovljeno, da na NN-omrežju Planina Grad in NN-omrežju v naselju Šilentabor prihaja do upadov napetosti, ki niso v skladu s standardom SIST EN 50160.

3.1 NIZKONAPETOSTNO OMREŽJE PLANINA GRAD

NN-omrežje Planina Grad se napaja iz NN-izvoda Mlin – Grad, napajanega iz TP Gornja Planina, na katerem je bilo z meritvami kakovosti električne energije ugotovljeno, da kakovost električne napetosti ne ustreza zahtevam iz standarda SIST EN 50160.

Z meritvami kakovosti električne napetosti je bilo ugotovljeno, da se pojavljajo upadi napetosti do 170 V, kar je posledica dolžine omrežja, kjer je razdalja od TP do najbolj oddaljenega odjemalca 1200 m.

Najbolj učinkovita možnost za ureditev napetostnih razmer bi bila z izgradnjo TP 20/0,4 kV. To območje, ki ga napaja NN-izvod, se nahaja na Planinskem polju, s strožjim naravovarstvenim režimom. To otežuje umestitev SN-omrežja in izgradnjo TP, hkrati pa je ta možnost finančno nevzdržna oziroma neracionalna, saj bi bila investicija za ureditev napajanja le treh odjemalcev izjemno visoka. Obravnavani izvod namreč z električno energijo napaja odjemna mesta objektov Planina 181, Planina 182 in Planina 184.

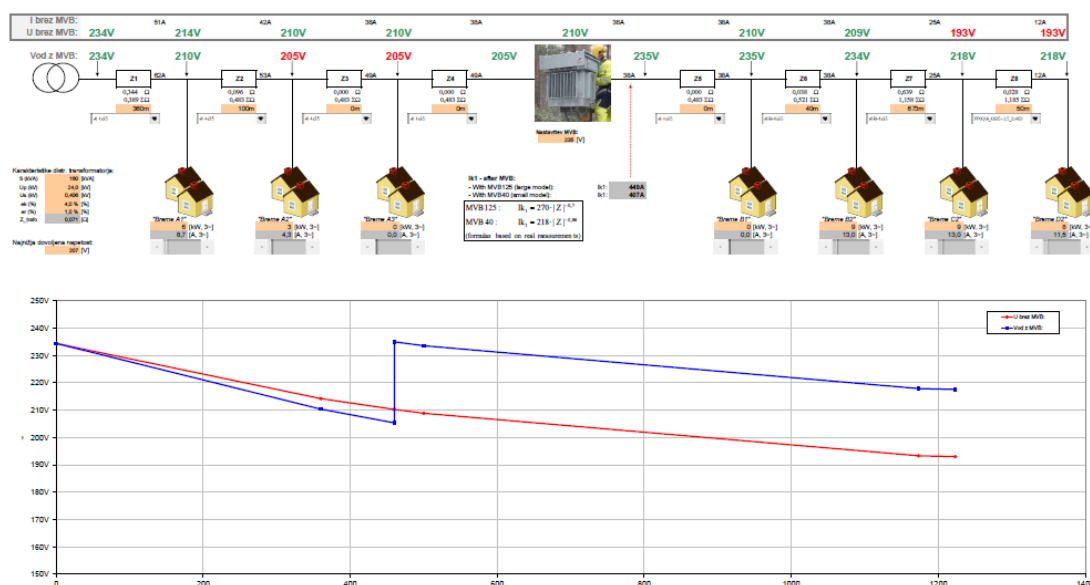


*Slika 8: Lokacija postavitve napetostnega stabilizatorja in lokacije odjemalcev, kjer se je izvajalo meritve kakovosti električne napetosti – Planina Grad
(Vir: GIS Elektro Primorska, d. d., 2019)*

Glede na ugotovitve je bila sprejeta odločitev, da se bo za najhitrejšo ureditev napetostnih razmer na NN-izvodu Mlin – Grad, ki je napajan iz TP Gornja Planina, vgradilo napetostni stabilizator. S pomočjo programskega orodja Magtech se je poiskalo najbolj primerno lokacijo za namestitev napetostnega stabilizatorja. Program Magtech na podlagi osnovnih podatkov omrežja, kot so parametri obstoječe transformatorske postaje, preseki in vrsta vodnikov, dolžine posameznih odsekov, število odjemalcev in njihovih moči in faktor prekrivanja, prikaže, kakšne bodo napetostne razmere po vgradnji napetostnega stabilizatorja. Tako je bilo na podlagi več možnosti postavitve napetostnega stabilizatorja ugotovljeno, da je najbolj primerna lokacija na razdalji približno 400 m od TP. Vgrajen je bil napetostni stabilizator MVB 70-400, ki napaja pet odjemnih mest, od tega so štiri z močjo 14 kW in eno z močjo 17 kW.



*Slika 9: Napetostni stabilizator Planina Grad
(Lastni vir)*



Slika 10: Predstavitev izračuna kontrole padcev napetosti s programskim orodjem Magtech v zaselku Planina Grad
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2013)

3.2 NIZKONAPETOSTNO OMREŽJE ŠILENTABOR

Nizkonapetostno omrežje za zaselek Šilentabor se napaja iz NN-izvoda TP NS Šilentabor, napajanega iz TP Zagorje. Z meritvami kakovosti električne energije je bilo ugotovljeno, da kakovost električne napetosti v zaselku ne ustreza zahtevam iz standarda SIST EN 50160.

Z meritvami je bilo ugotovljeno, da se pojavljajo upadi napetosti do 178 V. To je posledica dolžine omrežja, kjer je razdalja od TP do predvidene lokacije napetostnega stabilizatorja 1300 m in dodatno še do najbolj oddaljenega odjemalca 200 m. To je oddajnik RTV Slovenija.

Tudi v tem primeru bi bila najboljša rešitev za ureditev napetostnih razmer izgradnja TP 20/0,4 kV. Območje, po katerem poteka trasa NN-voda in bi ga nadomestili s sredjenapetostnim vodom, poteka po območju zaščitene območja Natura 2000 in hkrati po zemljiščih agrarne skupnosti.

Zaradi tega bi bilo zelo težko pridobiti gradbeno dovoljenje za potrebe izgradnje sredjenapetostnega daljnovoda in transformatorske postaje. Zaradi omenjenih omejitev in visoke investicije v sredjenapetostni vod in transformatorsko postajo je bila sprejeta odločitev za izgradnjo napetostnega stabilizatorja na začetku zaselka, pred vsemi odjemalci.

Odločitev za izgradnjo napetostnega stabilizatorja je bistveno cenejša. Niskonapetostni izvod TP NS Šilentabor namreč napaja šest gospodinjstevskih odjemalcev in že omenjeni oddajnik RTV Slovenija.



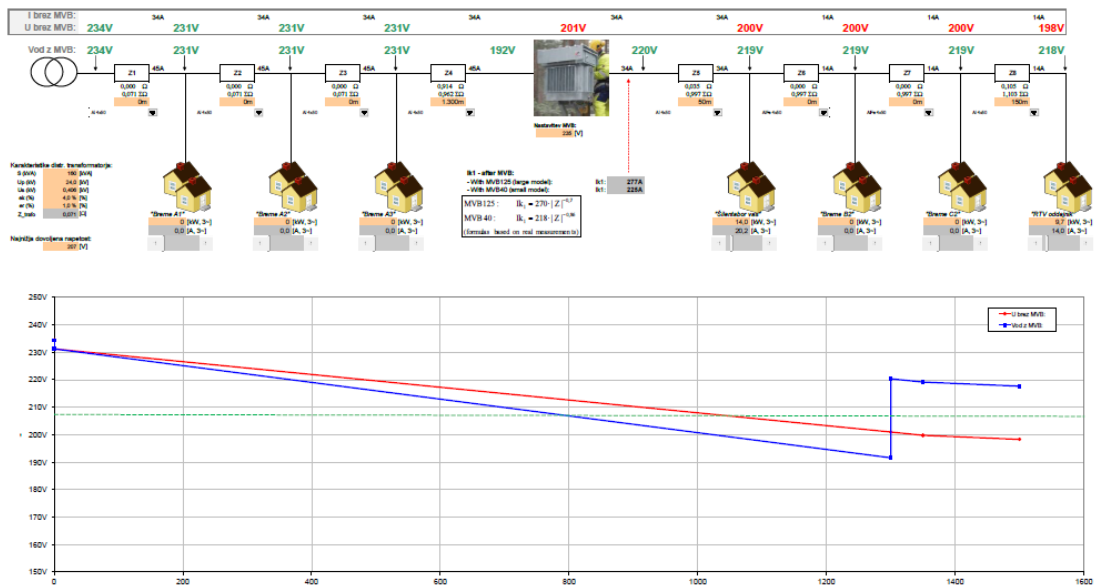
Slika 11: Lokacija postavitve napetostnega stabilizatorja – Šilentabor
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2015)

Glede na smiselno izgradnjo napetostnega stabilizatorja na začetku zaselka je bilo s programskim orodjem Magtech prikazano, kakšne so pričakovane napetostne razmere pri posameznem odjemalcu. Kot že omenjeno, program Magtech prikaže, kakšne bodo napetostne razmere po vgradnji napetostnega stabilizatorja, pri čemer upošteva podatke omrežja, kot so preseki in vrsta vodnikov, dolžine posameznih odsekov, število odjemalcev in moči ter faktor prekrivanja.

Napetostni stabilizator MVB 70-400 je bil vgrajen na razdalji 1300 m, pred vsemi odjemalci. Napetostni stabilizator napaja osem odjemnih mest. Od tega je šest trifaznih, dve odjemni mesti z močjo 14 kW in štiri odjemna mesta z močjo 17 kW. Preostali dve odjemni mesti sta enofazni z močjo 4 kW oziroma 6 kW.



Slika 12: Napetostni stabilizator Šilentabor
(Lastni vir)



Slika 13: Predstavitev izračuna kontrole padcev napetosti s programskim orodjem Magtech v zaselku Šilentabor
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2015)

4 MERITVE KAKOVOSTI ELEKTRIČNE ENERGIJE PRED VGRADNJO NAPETOSTNEGA STABILIZATORJA V NIZKONAPETOSTNEM OMREŽJU IN PO NJEJ

Za potrebo analize kakovosti električne energije v nizkonapetostnem omrežju pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja in po njej so bile izvedene meritve na istih odjemnih mestih v zaselkih Planina Grad in Šilentabor. Meritve so se opravljale na istem odjemnem mestu, z istim merilnikom kakovosti električne napetosti FLUKE 1744 Power Quality Logger. S tem načinom smo se izognili morebitnim napakam oz. odstopanjem med različnimi inštrumenti. Meritve na posameznem merilnem mestu so se pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja in po njej izvajale po en teden.

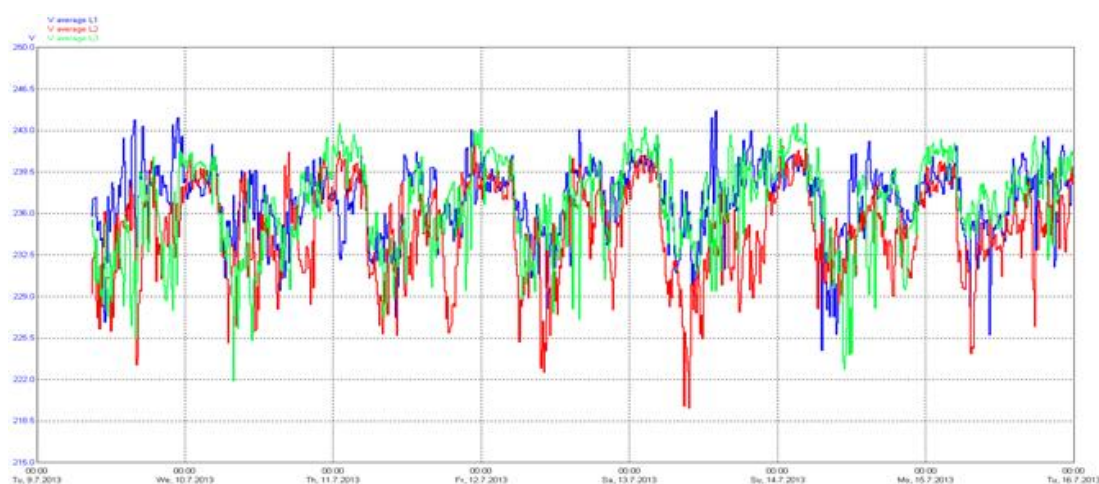
4.1 MERITVE KAKOVOSTI ELEKTRIČNE ENERGIJE PLANINA GRAD

Meritve kakovosti električne energije v zaselku Planina Grad so se izvajale na merilnih mestih Planina 181, Planina 182 in Planina 184. V nadaljevanju bomo predstavili rezultate meritev na dveh merilnih mestih, in sicer Planina 181, ki se nahaja na prvem od dveh daljših vodov, napajanih iz napetostnega stabilizatorja, in odjemnem mestu Planina 182, ki se nahaja na drugem vodu, napajanem iz istega napetostnega stabilizatorja. Iz merilnega mesta Planina 182 so prišle prve pritožbe glede kakovosti električne energije.

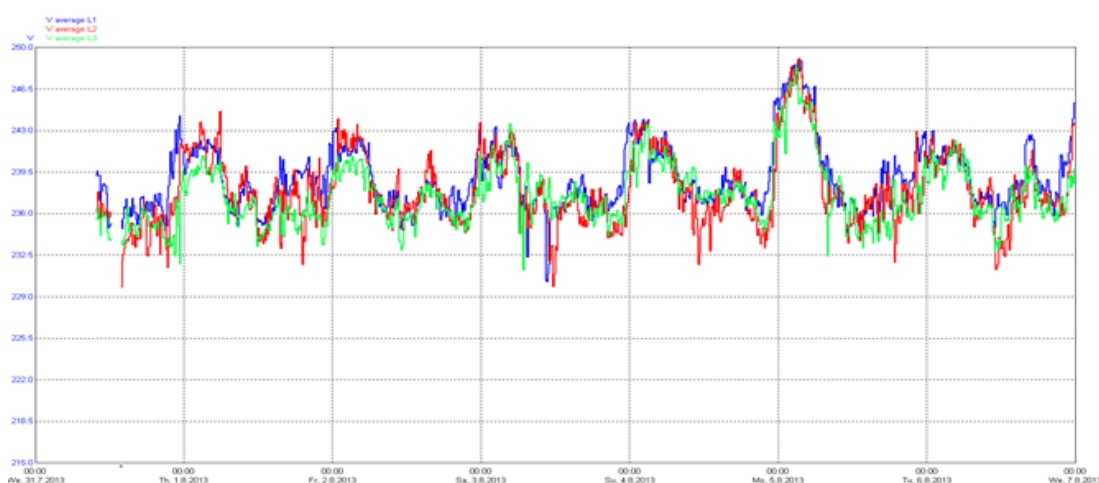
4.1.1 Prikaz meritev na merilnem mestu Planina 181

Merilno mesto Planina 181 se nahaja 370 m od vgrajenega napetostnega stabilizatorja. To merilno mesto ima zakupljeno moč 1 x 14 kW in glavne varovalke 3 x 20 A. Na tem merilnem mestu gre za tipični gospodinjski odjem, ki nima večjih porabnikov električne energije.

Sliki 14 in 15 prikazujeta napetostne razmere na tem merilnem mestu. S slik je razvidno, da so se napetostne razmere izboljšale, manj je napetostnih upadov in boljša je fazna simetrija napetosti.

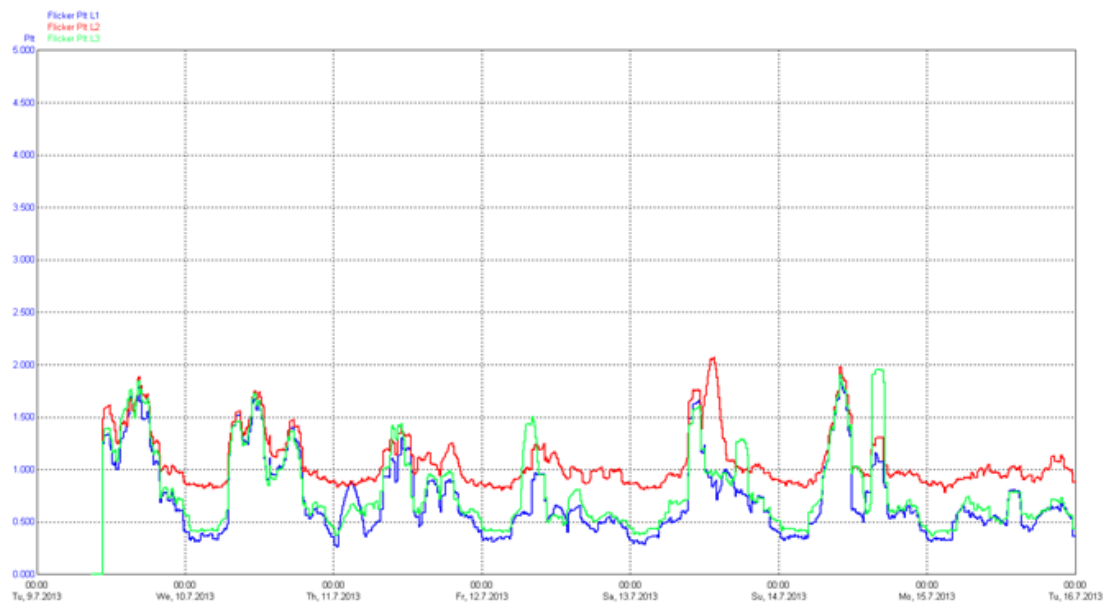


*Slika 14: Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 181
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)*

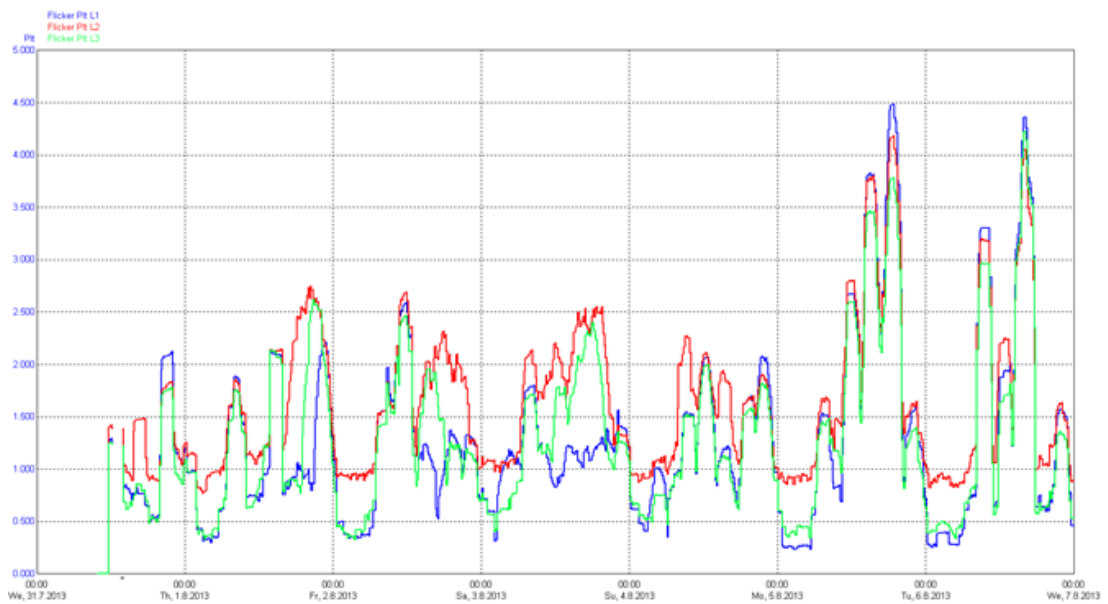


*Slika 15: Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 181
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)*

Sliki 16 in 17 prikazujeta stanje flikerjev pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja in po njej. Vrednost flikerja se je že pred vgradnjo gibala od 0,5 do 2, kar pa je že presežena mejna vrednost po standardu SIST EN 50160, ki znaša do 1. Po vgradnji napetostnega stabilizatorja so se vrednosti flikerja povečale, občasno tudi do 4,5.



Slika 16: Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 181
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)



Slika 17: Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 181
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Število kratkotrajnih upadov (<20 ms) na merilnem mestu Planina 181 se je po namestitvi napetostnega stabilizatorja nekoliko povečalo, vsi ostali upadi pa so se zmanjšali, kar je razvidno iz tabel 2 in 3.

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20 - < 100 ms | 100 - < 500 ms | 0.5 - < 1 s | 1 - < 3 s | 3 - < 20 s | 20 - < 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|
| Swell > 10.00% | 6 | | | | | | 2 | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10 - < 15 % | 36 | 46 | 6 | 2 | | | | |
| 15 - < 30 % | 8 | 2 | 4 | | | | 1 | |
| 30 - < 60 % | | | | | | | | |
| 60 - < 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | | | 3 | | | 3 |

Recording as events from -10.00% +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNEFEEC measurement guide

Number of swells: 8
 Number of Dips: 105
 Number of short interruptions (<3 min): 6
 Number of long interruptions (≥3 min): 0
 Number of interruptions: 6
 Total events and interruptions: 119
 Total number of allowed events: 100
 Total number of allowed interruptions: 100

Tabela 2: Število upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, Planina 181
 (Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20 - < 100 ms | 100 - < 500 ms | 0.5 - < 1 s | 1 - < 3 s | 3 - < 20 s | 20 - < 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|
| Swell > 10.00% | 8 | 3 | 4 | | | | | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10 - < 15 % | 110 | 36 | | | | | | |
| 15 - < 30 % | 25 | 25 | 1 | | | | | |
| 30 - < 60 % | | | | | | | | |
| 60 - < 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | | | | | 3 | 6 |

Recording as events from -10.00% +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNEFEEC measurement guide

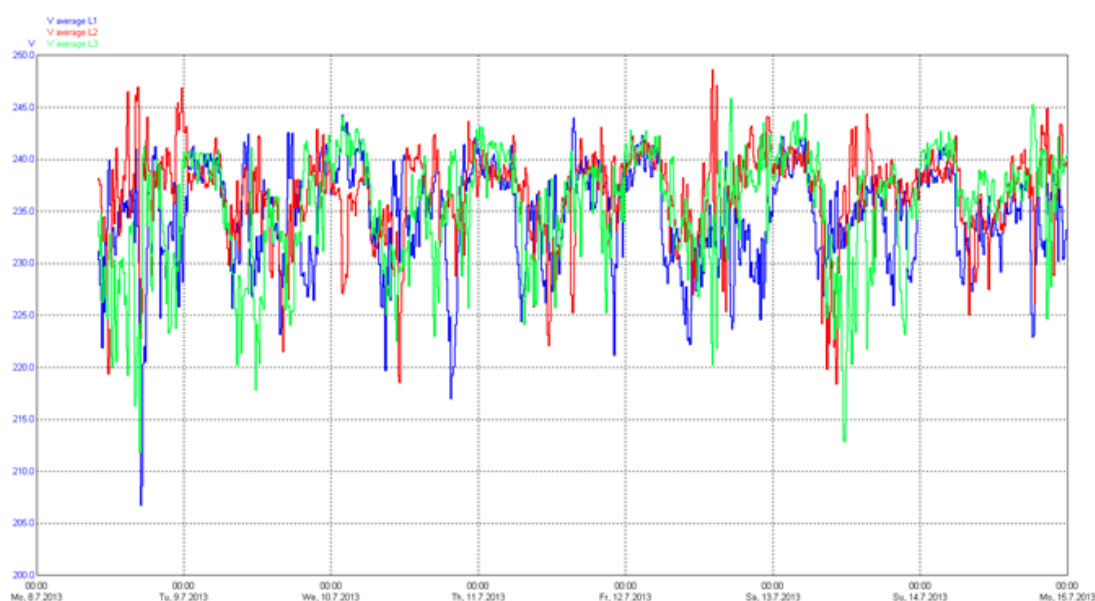
Number of swells: 15
 Number of Dips: 137
 Number of short interruptions (<3 min): 6
 Number of long interruptions (≥3 min): 3
 Number of interruptions: 9
 Total events and interruptions: 221
 Total number of allowed events: 100
 Total number of allowed interruptions: 100

Tabela 3: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, Planina 181
 (Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

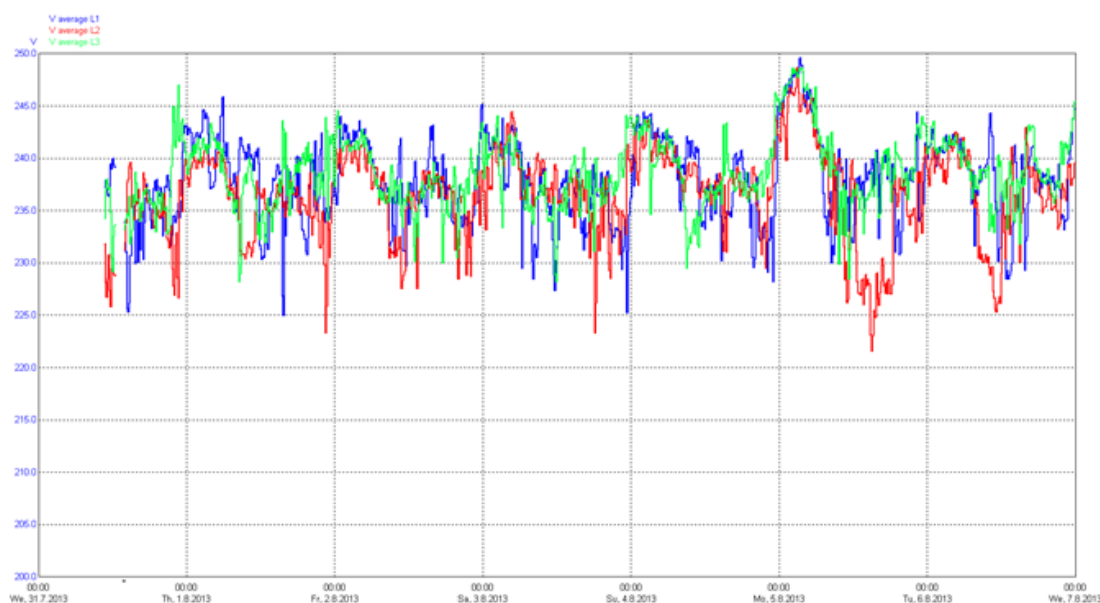
4.1.2 Prikaz meritev na merilnem mestu Planina 182

Merilno mesto Planina 182 se nahaja 780 m od vgrajenega napetostnega stabilizatorja. To merilno mesto ima zakupljeno moč 1 x 17 kW in glavne varovalke 3 x 25 A. Iz tega merilnega mesta se napajata dve gospodinjstvi, hkrati pa imajo lastniki delavnico za lastne potrebe. V delavnici se nahaja več velikih porabnikov električne energije, med katerimi izstopa varilni aparat z večjo močjo.

Sliki 18 in 19 prikazujeta napetostne razmere na merilnem mestu Planina 182. S sliko je razvidno, da so se napetostne razmere izboljšale. Velikost električne napetosti po namestitvi stabilizatorja ne upada več pod 222 V. Fazna simetrija napetosti je boljša, vendar še vedno izstopa faza L2.

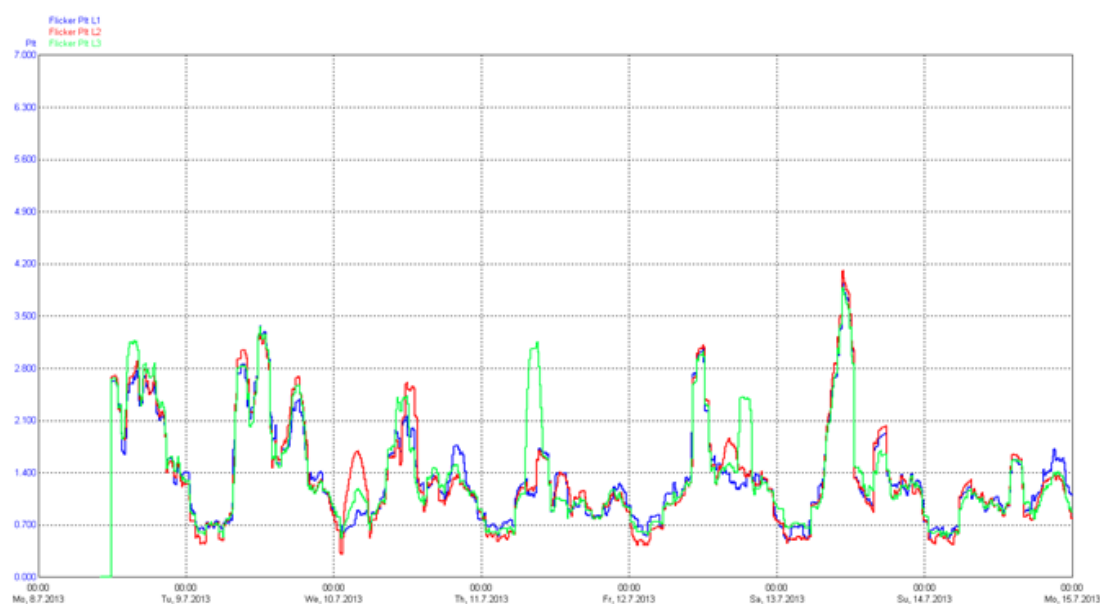


Slika 18: Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 182
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

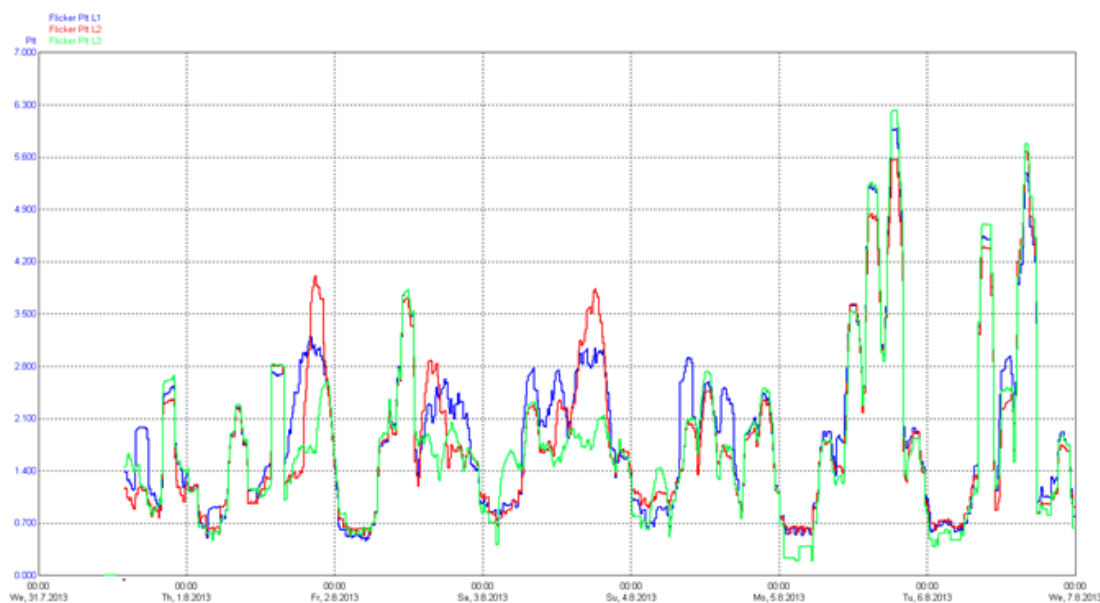


Slika 19: Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 182
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Sliki 20 in 21 prikazujeta stanje flikerjev pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja in po njej. Vrednost flikerja se je že pred vgradnjo gibala od 0,6 do 4. Po vgradnji napetostnega stabilizatorja so se vrednosti flikerja povečale, občasno tudi do 6,3.



Slika 20: Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Planina 182
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)



Slika 21: Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Planina 182
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Število upadov na merilnem mestu Planina 182 se je po namestitvi napetostnega stabilizatorja bistveno zmanjšalo, kar je razvidno iz tabel 4 in 5.

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20 -< 100 ms | 100 -< 500 ms | 0.5 -< 1 s | 1 -< 3 s | 3 -< 20 s | 20 -< 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|-----------------|------------------|---------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| Swell > 10.00% | 16 | | | | 1 | | 2 | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10 -< 15 % | 66 | 410 | 294 | 63 | 151 | 45 | 1 | |
| 15 -< 30 % | 15 | 52 | 108 | 16 | 48 | 30 | 11 | 5 |
| 30 -< 60 % | 10 | 9 | 13 | 3 | | 2 | | |
| 60 -< 99 % | | | | | | 1 | 1 | |
| Interruption | | | | | 4 | | | 3 |

Recording all events from -10.00% +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to IEC 61000-4-11 measurement guide

Number of swells 19
 Number of Dips 1344
 Number of short interruptions (<3 min) 7
 Number of long interruptions (≥3 min) 0
 Number of interruptions 7
 Total events and interruptions 1370
 Total number of allowed events 100
 Total number of allowed interruptions 100

Tabela 4: Število enotedenskih upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, Planina 182

(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20 -< 100 ms | 100 -< 500 ms | 0.5 -< 1 s | 1 -< 3 s | 3 -< 20 s | 20 -< 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|-----------------|------------------|---------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| Swell > 10.00% | | | 2 | | | | | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10 -< 15 % | 42 | 60 | 2 | | | | | |
| 15 -< 30 % | | | 11 | | | | | |
| 30 -< 60 % | | | | | | | | |
| 60 -< 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | | | | | | 6 |

Recording all events from -10.00% +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to IEC 61000-4-11 measurement guide

Number of swells 2
 Number of Dips 115
 Number of short interruptions (<3 min) 3
 Number of long interruptions (≥3 min) 3
 Number of interruptions 6
 Total events and interruptions 123
 Total number of allowed events 100
 Total number of allowed interruptions 100

Tabela 5: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, Planina 182

(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

4.2 MERITVE KAKOVOSTI ELEKTRIČNE ENERGIJE ŠILENTABOR

Meritve kakovosti električne energije v zaselku Šilentabor so se izvajale na merilnih mestih stanovanjske hiše Šilentabor 3 in na oddajniku RTV Slovenija. Stanovanjska hiša Šilentabor 3 je bila izbrana za izvedbo meritev zato, ker se nahaja najbližje napetostnemu stabilizatorju in je odjemno mesto ves čas dostopno ter z dovolj prostora za namestitev merilnika kakovosti električne napetosti. Odjemno mesto pretvornika RTV Slovenija pa je bilo izbrano, ker je najbolj oddaljeno od mesta vgradnje napetostnega stabilizatorja.

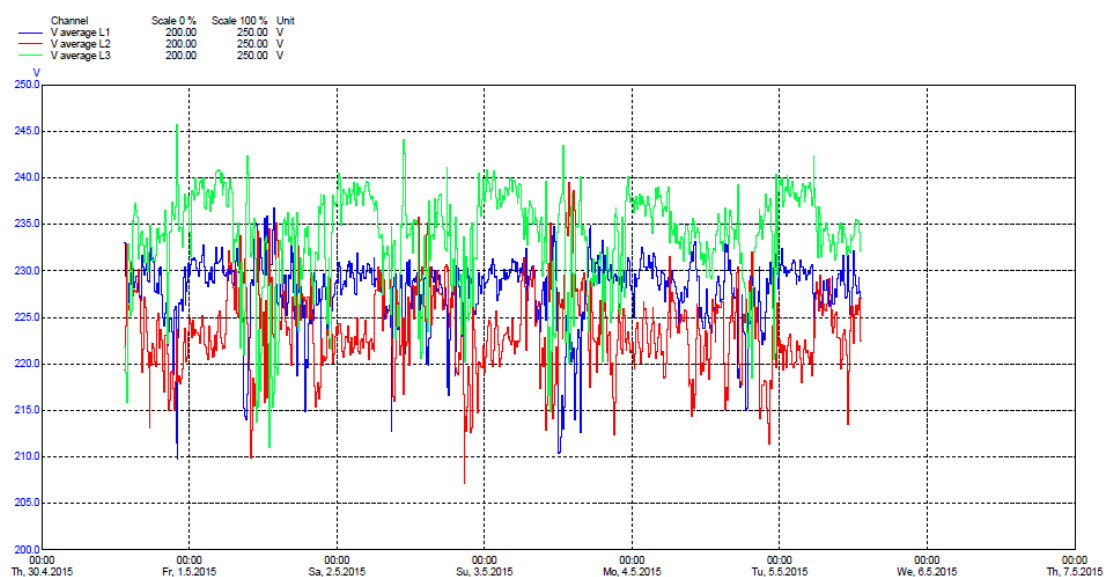


Slika 22: Prikaz lokacij merilnih mest, na katerih so se izvajale meritve
(Vir: GIS Elektro Primorska, d. d., 2019)

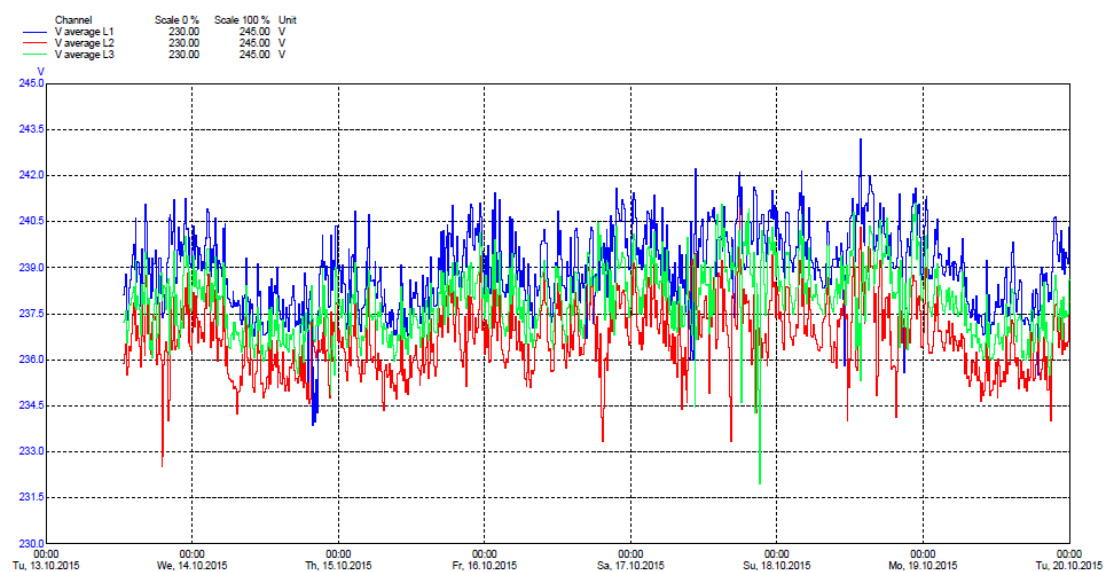
4.2.1 Prikaz meritev na merilnem mestu Šilentabor 3

Merilno mesto Šilentabor 3 se nahaja 80 m od vgrajenega napetostnega stabilizatorja. To merilno mesto ima zakupljeno moč 1 x 14 kW in glavne varovalke 3 x 20 A. Iz tega merilnega mesta se napaja eno gospodinjstvo, ki ima vgrajeno toplotno črpalko za ogrevanje.

Sliki 23 in 24 prikazujeta napetostne razmere na merilnem mestu Šilentabor 3. S sliko je razvidno, da so se napetostne razmere izboljšale. Velikost električne napetosti po namestitvi stabilizatorja ne upada več pod 230 V. To je veliko boljše kot pred namestitvijo napetostnega stabilizatorja, ko je napetost večkrat upadala pod 210 V. Fazna simetrija napetosti je boljša, vendar še vedno izstopa faza L2.

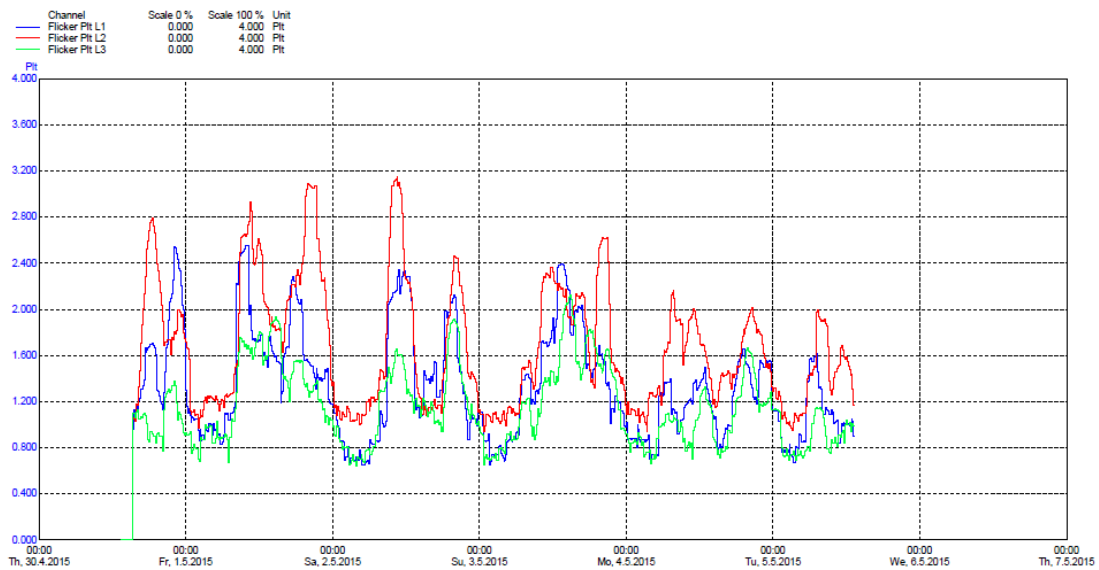


Slika 23: Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

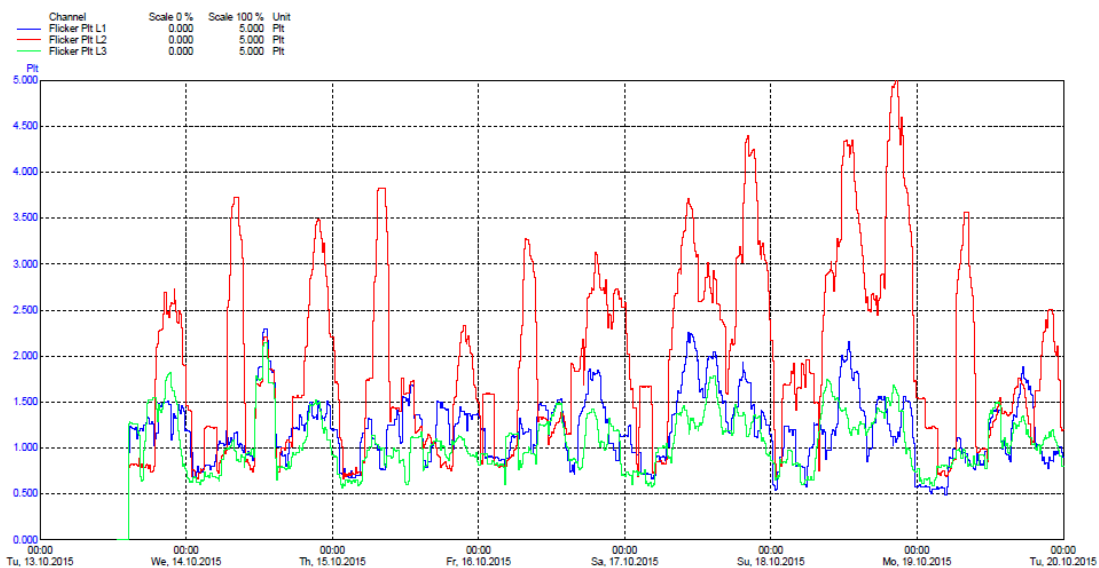


Slika 24: Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Sliki 25 in 26 prikazujeta stanje flikerjev pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja in po njej. Vrednost flikerja se je že pred vgradnjo gibala od 0,6 do 3,2. Po vgradnji napetostnega stabilizatorja so se vrednosti flikerja povečale, tudi do 4,5, enkrat celo do 5.



Slika 25: Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3 (Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)



Slika 26: Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3 (Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Število upadov z namestitvijo napetostnega stabilizatorja na merilnem mestu Šilentabor 3 se je skoraj izničilo, kar je razvidno iz tabel 6 in 7.

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20...< 100 ms | 100...< 500 ms | 0.5...< 1 s | 1...< 3 s | 3...< 20 s | 20...< 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|
| Swells > 10.00% | | | | | | 2 | | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10...< 15 % | 18 | 99 | 335 | 159 | 189 | 407 | 49 | 13 |
| 15...< 30 % | | 11 | 208 | 12 | 7 | 43 | 16 | 8 |
| 30...< 60 % | | | | | | | | |
| 60...< 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | | | | | | |

Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNIPED measurement guide

Number of swells 2
 Number of Dips 1574
 Number of short interruptions (<3 min) 0
 Number of long interruptions (≥3 min) 0
 Number of interruptions 0
 Total events and interruptions 1576
 Total number of allowed events 100
 Total number of allowed interruptions 100

Tabela 6: Število enotedenskih upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3

(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20...< 100 ms | 100...< 500 ms | 0.5...< 1 s | 1...< 3 s | 3...< 20 s | 20...< 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|
| Swells > 10.00% | | | | | | | | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10...< 15 % | 4 | 22 | 34 | | | | | |
| 15...< 30 % | | 10 | 27 | | | | | |
| 30...< 60 % | | | | | | | | |
| 60...< 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | 3 | | | | | |

Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNIPED measurement guide

Number of swells 0
 Number of Dips 97
 Number of short interruptions (<3 min) 3
 Number of long interruptions (≥3 min) 0
 Number of interruptions 3
 Total events and interruptions 100
 Total number of allowed events 100
 Total number of allowed interruptions 100

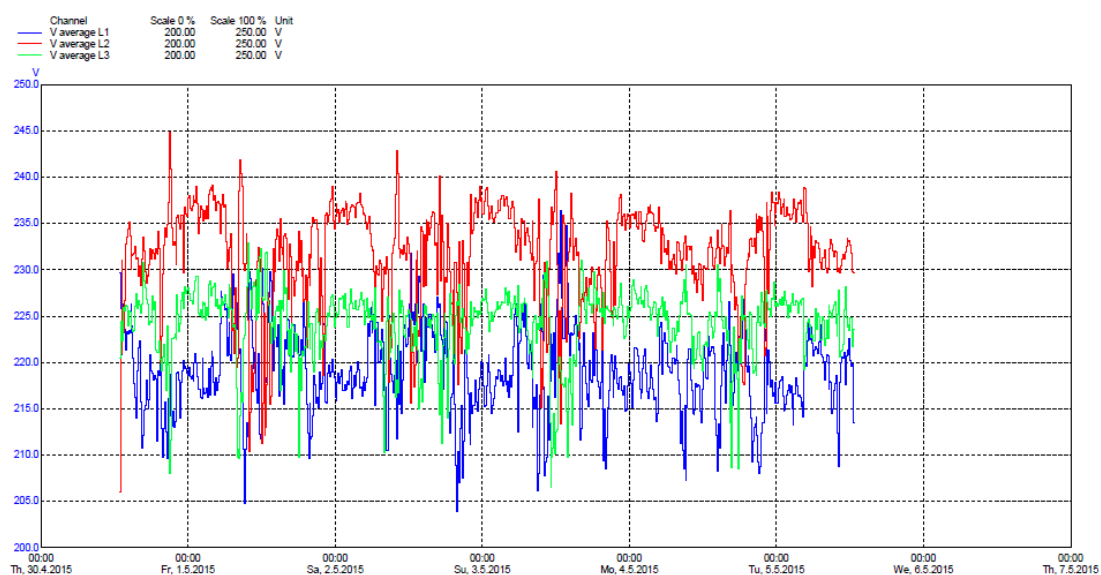
Tabela 7: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, Šilentabor 3

(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

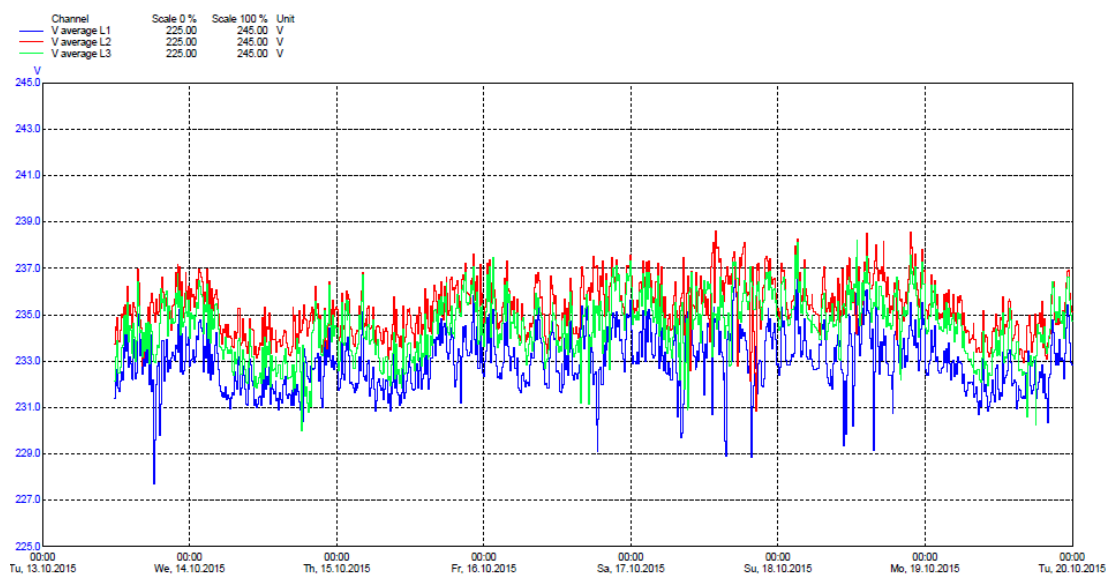
4.2.2 Prikaz meritev na merilnem mestu oddajnik RTV Slovenija

Merilno mesto za oddajnik RTV Slovenija na Šilentaboru se nahaja 200 m od vgrajenega napetostnega stabilizatorja. To merilno mesto ima zakupljeno moč 1 x 17 kW in glavne varovalke 3 x 25 A. Iz tega merilnega mesta se napaja vsa oprema za nemoteno delovanje oddajnika RTV Slovenija, hkrati pa imajo za zagotavljanje primerne temperature za delovanje teh naprav vgrajeno trifazno klima napravo.

Sliki 27 in 28 prikazujeta napetostne razmere na merilnem mestu oddajnik RTV Slovenija Šilentabor. S slik je razvidno, da so se napetostne razmere bistveno izboljšale. Velikost električne napetosti po namestitvi stabilizatorja ne upada več pod 227 V, pred namestitvijo pa so bili prisotni upadi tudi pod 205 V. Fazna simetrija napetosti je boljša, vendar je še vedno nekoliko nižja faza L1.

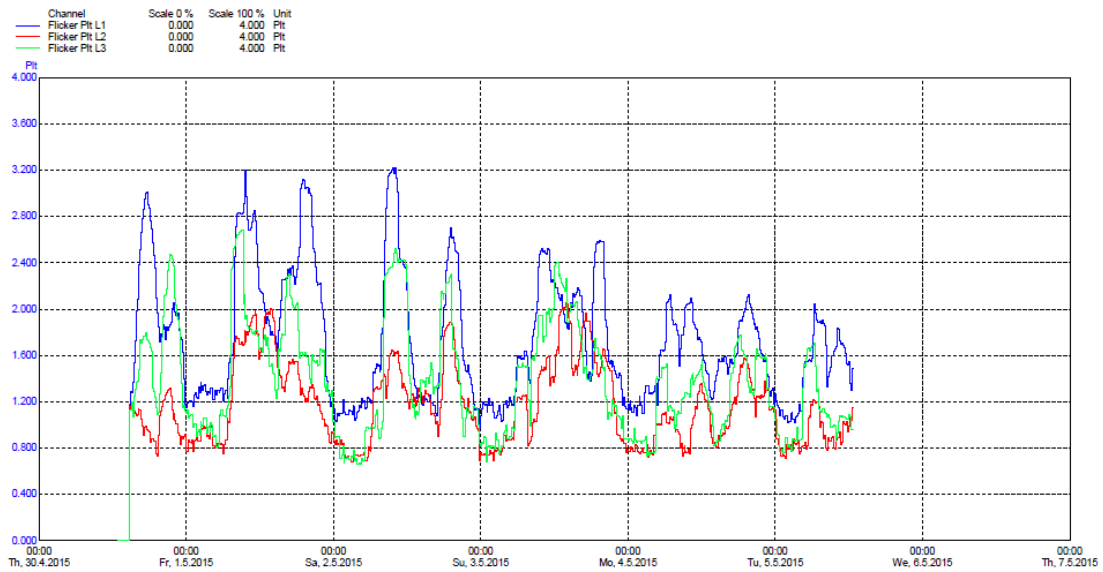


Slika 27: Vrednosti napetosti pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

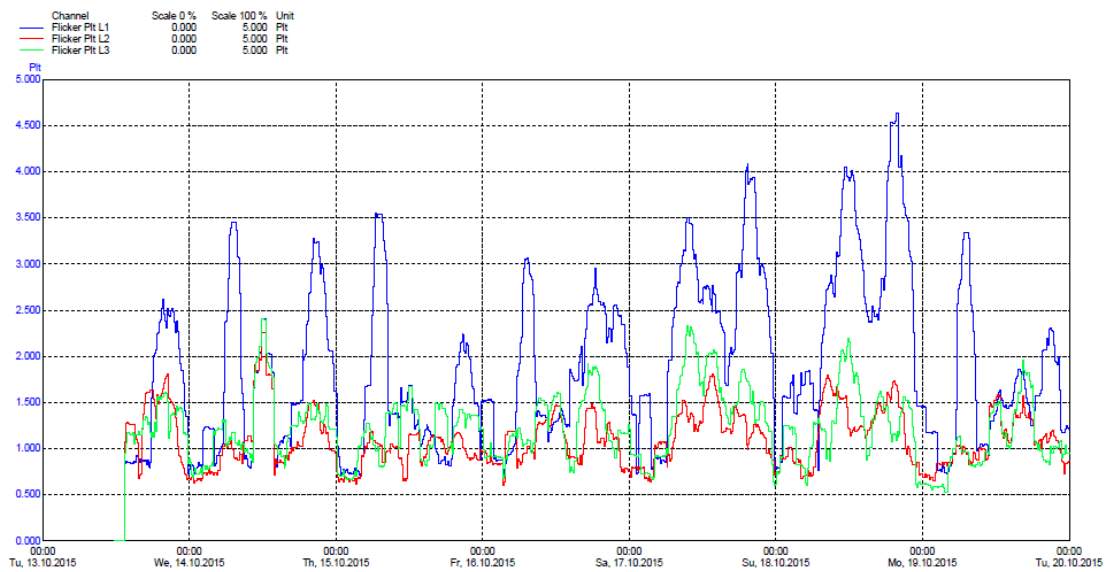


Slika 28: Vrednosti napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Sliki 29 in 30 prikazujeta stanje flikerjev pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja in po njej na odjemnem mestu oddajnik RTV Slovenija. Vrednosti flikerja so se pred vgradnjo gibale od 0,7 do 3,2. Po vgradnji napetostnega stabilizatorja so se vrednosti flikerja gibale tudi do 4,5. Izstopa faza L1.



Slika 29: Vrednost flikerja pred vgradnjo napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)



Slika 30: Vrednost flikerja po vgradnji napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija
(Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

Število upadov z namestitvijo napetostnega stabilizatorja na merilnem mestu oddajnik RTV Slovenija Šilentabor se je zelo zmanjšalo, kar je razvidno iz tabel 8 in 9.

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20...< 100 ms | 100...< 500 ms | 0.5...< 1 s | 1...< 3 s | 3...< 20 s | 20...< 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|
| Surge > 10.00% | | | | | | 1 | | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10...< 15 % | 22 | 143 | 201 | 402 | 200 | 927 | 140 | 65 |
| 15...< 30 % | | 12 | 200 | 9 | 13 | 100 | 20 | 37 |
| 30...< 60 % | | | | | | | | |
| 60...< 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | | | | | | |

Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNIPEDE measurement guide

Number of surges: 1
 Number of Dips: 2884
 Number of short interruptions (<3 min): 0
 Number of long interruptions (≥3 min): 0
 Number of interruptions: 0
 Total events and interruptions: 2885
 Total number of allowed events: 100
 Total number of allowed interruptions: 100

Tabela 8: Število enotedenskih upadov pred montažo napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija
 (Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

| Phase L1, L2, L3 | < 20 ms | 20...< 100 ms | 100...< 500 ms | 0.5...< 1 s | 1...< 3 s | 3...< 20 s | 20...< 60 s | ≥ 1 min |
|---------------------|------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|
| Swell > 10.00% | | | | | | | | |
| Dip > 10.00% | | | | | | | | |
| 10...< 15 % | 6 | 202 | 73 | 1 | | | | |
| 15...< 30 % | | 9 | 23 | | 1 | | | |
| 30...< 60 % | | 2 | 7 | | | | | |
| 60...< 99 % | | | | | | | | |
| Interruption | | | 3 | | | | | |

Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to UNIPEDE measurement guide

Number of swells: 0
 Number of Dips: 324
 Number of short interruptions (<3 min): 3
 Number of long interruptions (≥3 min): 0
 Number of interruptions: 3
 Total events and interruptions: 327
 Total number of allowed events: 100
 Total number of allowed interruptions: 100

Tabela 9: Število enotedenskih upadov po montaži napetostnega stabilizatorja, oddajnik RTV Slovenija
 (Vir: Elektro Primorska, d. d., 2019)

5 ZAKLJUČKI

Sanacija napetostnih razmer v nizkonapetostnem omrežju je nujen korak k zagotavljanju zadovoljive ravni kakovosti električne energije pri vseh odjemalcih v skladu z veljavnimi predpisi in standardi.

Iz analize meritev je razvidno, da se je kakovost električne napetosti po vgradnji napetostnega stabilizatorja izboljšala. Velikost napetosti je po vgradnji vedno v okviru standarda, število upadov napetosti se je zelo zmanjšalo. Za ceno izboljšanja predhodnih parametrov se je dodatno povečala velikost flikerja, kar je posledica hitre regulacije napetosti, ki odpravi večino upadov napetosti. Iz tega lahko sklepamo, da je bolj primerna vgradnja napetostnega stabilizatorja v omrežjih, kjer že v osnovi vrednost flikerja ne presega s standardom določene vrednosti. Glede na veliko zmanjšanje upadov po namestitvi napetostnega stabilizatorja bodo uporabniki zaznali izboljšanje razmer, saj se večina pritožb nanaša na upade in ne na flikerje. Fliker se odraža le kot vidna zaznava, ne vpliva pa na delovanje naprav.

V prihodnje bi bilo treba z dodatnimi meritvami ugotoviti, kateri odjemalec/-i električne energije povzročajo flikerje, in ga oz. jih pozvati k ureditvi porabnikov električne energije na svojem odjemnem mestu v skladu s Splošnimi pogoji za dobavo in odjem

električne energije. Na ta način bi bilo mogoče znižati tudi vrednost flikerjev na raven, kot jo zahteva standard SIST EN 50160.

Z namestitvijo napetostnega stabilizatorja se je dodatno povečala varnost odjemalcev v zaselkih Planina Grad in Šilentabor, saj napetostni stabilizator dvigne tok enopolnega kratkega stika tudi za 60 %. Glede na veliko dolžino nizkonapetostnega omrežja v obeh zaselkih je bil tok enopolnega kratkega stika pred namestitvijo zelo nizek in dejansko nevaren, saj je bil posledično čas delovanja NN-varovalk precej daljši.

Območje, po katerem poteka trasa NN-voda v obeh zaselkih, poteka po zaščitenem območju Natura 2000. Tako je izgradnja SN-daljinovoda in TP otežena in dolgotrajna zaradi zapletenega pridobivanja gradbenih dovoljenj. Odločitev za vgradnjo napetostnega stabilizatorja je bila pravilna z vidika hitrosti odpravljanja težav s kakovostjo električne napetosti. Hkrati je investicija ekonomsko najugodnejša. Poleg tega ima napetostni stabilizator dolgo življenjsko dobo in bi ga lahko v primeru izgradnje nove TP v teh dveh zaselkih premestili na novo lokacijo za reševanje podobnih težav.

6 LITERATURA IN VIRI

Altens, d. o. o. (2016). *Tehnični priročnik MVB. Napetostni stabilizator za NN omrežja, verzija: 3.6*. Ljubljana: Altens, d. o. o.

Altens, d. o. o. (b. l.). Kriteriji kakovosti napetosti v nizkonapetostnem omrežju in vpliv stabilizatorja nanje. Ljubljana: Altens, d. o. o.

C & G. d. o. o. (2014). *Tehnične rešitve 133/BU/14, Rev. 2: tehnične rešitve za regulacijo napetosti za izboljšanje napetostnih razmer v omrežju*. Ljubljana: C & G, d. o. o.

Dimnjaković, R. (2014). Analiza možnosti sanacije naponskih prilika s naglaskom na uvođenje naponske razine 0,95kV. Trogir / Seget Donji, Hrvaška: HO CIRED SO 5 - 12.

Elektro Primorska, d. d. (2013). *Tehnična rešitev NNO Planina Grad*. Nova Gorica: Elektro Primorska, d. d.

Elektro Primorska, d. d. (2015). *Tehnična rešitev TP NS Šilentabor*. Nova Gorica: Elektro Primorska, d. d.

Elektro Primorska, d. d. (b. l.). *Arhiv meritev*. Nova Gorica: Elektro Primorska, d. d.
GIS Elektro Primorska, d. d. (2019). Intranet stran Elektro Primorska, d. d.

Lestan, D. et al. (2009). Napetostni stabilizator za NN omrežja - delovanje in rezultati. Kranjska Gora, Slovenija: CIGRE ali CIGRED ŠK 2 - PT 3.

Ropoša, S. et al. (2009). Primerjava stanja kakovosti električne energije v nizkonapetostnem omrežju pred in po vgradnji napetostnega stabilizatorja za nizkonapetostna omrežja. Kranjska Gora, Slovenija: CIGRE ali CIGRED ŠK 1 - PT 4.

Ropoša, S. et al. (2010). Analiza delovanja napetostnega stabilizatorja MVB z uporabo enofaznih ortogonalnih razstavitev toka. Ljubljana, Slovenija: Elektrotehniški vestnik 77 (5).

Slovenski standard SIST EN 50160: značilnosti napetosti v javnih razdelilnih omrežjih (istoveten SIST EN 50160). Ljubljana: Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje.

Višić, A. et al. (maj 2018). Uvidenje uređaja za poboljšanje naponskih prilika u nisonaponskim mrežama. Opatija, Hrvaška: HO CIRED SO1 - 09.