

PRAKTIČNA SPOZNAVANJA IN UGOTOVITVE O NAČRTOVANJU VGRADNJE IN REZULTATIH DELOVANJA NN STABILIZATORJA MVB NA TEMELJU DEVETLETNIH IZKUŠENJ

TOMAŽ REZAR^{1*}

¹Altens d.o.o., Metelkova 15, Ljubljana

*E-pošta: tomaz.rezar@altens.si

Povzetek: V prispevku so predstavljene nekatere izkušnje in opažanja glede načrtovanja vgradnje ter obratovanja nizkonapetostnega stabilizatorja MVB v distribucijskem omrežju z vidika izpolnjevanja zahtev standarda SIST EN 50160 na eni, ter zaznavanja slabih napetostnih razmer pri končnem odjemalcu na drugi strani. Na dosedanjih izkušnjah se kaže, da z uporabo napetostnega stabilizatorja MVB ni vedno moč popolnoma zadostiti vsem zahtevam standarda SIST EN 50160, v praktično vseh primerih pa se da izboljšati vsaj tiste parametre kakovosti električne energije, ki najbolj negativno vplivajo na odjemalčevo percepcijo vidnih učinkov slabih napetostnih razmer in predvsem na delovanje strojev in naprav. Rešitev z uporabo napetostnega stabilizatorja Magtech MVB lahko predstavlja trajno rešitev slabih napetostnih razmer v NN omrežju, ali pa kot zgolj prehodna rešitev najmanj časovno odloži iskanje in realizacijo končne rešitve.

Ključne besede: nizkonapetostni stabilizator, MVB, zvezna regulacija napetosti, načrtovanje vgradnje MVB, izkušnje z obratovanjem MVB, kakovost električne energije, slabe napetostne razmere.

PRACTICAL INSIGHTS AND OBSERVATIONS ABOUT PLANNING THE INSTALLATION AND RESULTS OF THE OPERATION OF LOW- VOLTAGE STABILIZER MVB ON THE BASIS OF NINE-YEAR EXPERIENCE

Abstract: This paper presents some experience and observations on planning the installation and operation of the low-voltage stabilizer Magtech MVB in distribution network. It highlights the difference between fulfilling the requirements of the standard SIST EN 50160 on one hand and the perception of low voltage conditions for the final customer on the other hand. Past experience show that using the voltage stabilizer MVB does not always entirely fulfill all the requirements of SIST EN 50160, but mostly in all cases, at least in those that improve the quality parameters of electricity, the most negative impact on the client's perception of the visible effects of low voltage conditions and operation of machinery and equipment. The usage of the voltage stabilizer Magtech MVB may represent a permanent solution of the low voltage conditions in the LV network, or merely a temporary solution to defer finding and implementation of final solution.

Keywords: low-voltage stabilizer, MVB, stepless voltage regulation, planning the installation of MVB, operating experience with MVB, power quality, low voltage conditions.

1 UVOD

V zadnjih letih se elektrodistribucijska podjetja srečujejo s porastom odjema električne energije, istočasno pa se na strani odjemalcev povečujejo tudi zahteve po kakovosti dobavljene električne energije, kjer lahko parametri kakovosti odstopajo od predpisanih vrednosti le znotraj določenih meja odstopanja. Za doseganje minimalnih standardov kakovosti po SIST EN 50160 tudi na redkoposeljenih in odročnih območjih (npr. visokogorske in odmaknjene kmetije, posamezne hiše izven večjih zaselkov ipd.) se elektrodistribucije poslužujejo različnih možnosti, da zagotovijo ustrezno napetost odjemalcem. Ena od možnosti, ki je v zadnjih devetih letih v uporabi v slovenskem energetske prostoru, je tudi reševanje slabih napetostnih razmer NN omrežij s pomočjo napetostnega stabilizatorja Magtech MVB, ki zvezno dvigne nivo napetosti, zmanjša nihanje napetosti, ki v nekaterih najbolj kritičnih primerih povzročata izklapljanje električnih aparatov, utripanje ali ugašanje luminiscenčnih luči, ali celo okvare občutljivih elektronskih naprav, ter občutno zmanjša število upadov.

V prispevku so zbrane večletne praktične izkušnje s področja načrtovanja vgradnje in tudi analiz po izvedenih vgradnjah: kateri so pozitivni aspekti vgradnje MVB in česa se z MVB preprosto ne da (zadovoljivo) izboljšati. Članek želi osvetliti razliko med zahtevo po zadostitvi minimalnim parametrom kakovosti, kot jih določa standard SIST EN 50160, in dejanskim izboljšanjem napajalne napetosti, kot ga zaznava in občuti končni odjemalec.

2 PRINCIP DELOVANJA IN NAČRTOVANJE VGRADNJE MVB

Napetostni stabilizator Magtech MVB je trifazna naprava za NN omrežje, ki vhodno napetost zvezno ojačuje za do 15% in s tem vzdržuje konstantno napetost izhoda ne glede na spremenljive napetostne razmere na vhodni strani, izenačuje medsebojno nesimetrične fazne napetosti in za do 60% povečuje tok enofaznega kratkega stika v trifaznem TN ali TT sistemu. Deluje na osnovi elektromagnetnega principa, brez gibljivih mehanskih delov ali aktivnih elektronskih elementov v primarnem tokokrogu.

Za načrtovanje vgradnje stabilizatorja ni enotnega pravila ali šablone, pač pa se obravnava vsak primer NN omrežja posebej. Na podlagi parametrov omrežja (podatki o transformatorju v TP, presek, tip in dolžine vodnikov, količina in razpršenost odjema) se izdelata simulacija napetostnega profila vzdolž celotnega izvoda, ki zajema tako trenutno stanje, kot tudi napoved predvidenega stanja po načrtovani vgradnji napetostnega stabilizatorja v omrežje. Tako se lahko izdelata več različnih variant za posamezni primer, kjer se na podlagi izračunanih napetostnih profilov določi najbolj optimalno točko vgradnje stabilizatorja v omrežje.

V procesu preučevanja možnosti vgradnje napetostnega stabilizatorja v konkretno NN omrežje se najpogosteje osredotočimo zgolj na tiste parametre kakovosti električne energije (KEE), na katere ima stabilizator največji vpliv – bodisi pozitiven, bodisi negativen. Ti parametri so:

- nivo napajalne napetosti
- odkloni od nazivne vrednosti napetosti
- hitre napetostne spremembe (flikler)
- upadi napetosti
- neravnotežje napajalne napetosti
- povečanje kratkostičnega toka

3 PRAKTIČNA SPOZNANJA

3.1 Trajna ali začasna rešitev?

Kot ena od opcij za reševanje slabih napetostnih razmer je vgradnja napetostnega stabilizatorja navadno izbrana na podlagi primerjave z alternativnimi možnostmi po tehnični in ekonomski plati. Če se rešitev izkaže kot ustrežna in upravičena tehnično, ekonomsko in tudi organizacijsko-upravno, se izvede vgradnja, ki lahko predstavlja začasno ali trajno rešitev. Kot začasno rešitev je možno napetostni stabilizator uporabiti predvsem v primerih, kjer je dolgoročno sicer predvidena trajnejša rešitev (npr. nova TP, na novo dimenzionirano omrežje z večjim presekom vodnikov,...) ali kot prehodna rešitev v omrežjih, kjer se dolgoročno predvideva porast odjema. Izkušnje kažejo, da vgrajeni napetostni stabilizator MVB v praktično vseh primerih predstavlja trajno rešitev problema slabih napetostnih razmer. Delež tistih primerov, kjer je bil MVB zaradi druge ekvivalentne rešitve NN omrežja demontiran in prestavljen na drugo lokacijo, znaša manj kot 10% vseh vgrajenih naprav.

3.2 Parametri kakovosti električne energije

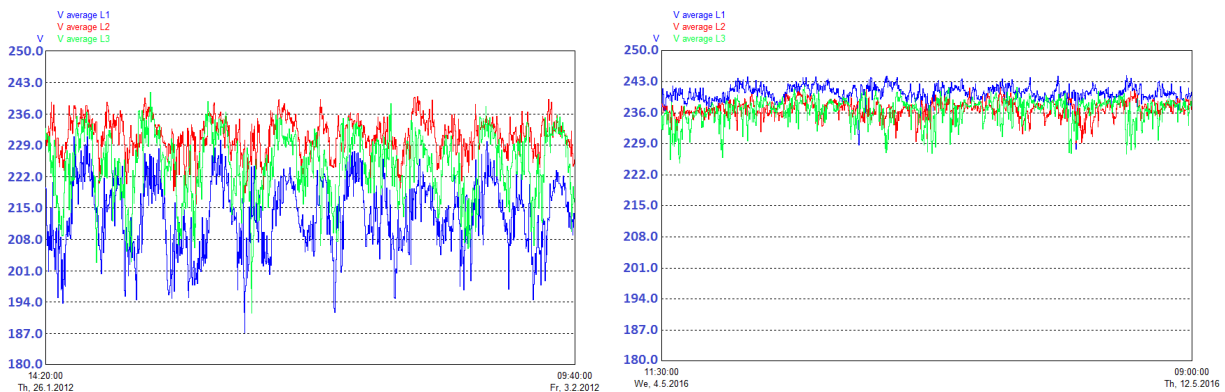
Ko rešujemo slabe napetostne razmere v NN omrežju, se je potrebno zavedati, da napetostni stabilizator v nobenem od praktičnih primerov ni idealiziral parametrov KEE, niti v nobenem primeru stabilizator ne popravi odstopanja vseh 13 merljivih parametrov KEE po standardu SIST EN 50160, temveč v največ primerih izboljša najbolj izrazite med njimi: zvezno dvigne nivo napetosti za do +15%, zmanjša nihanje napetosti, odpravi napetostne upade ter izravnava fazno nesimetrijo od -7% do +28%.

V nekaterih primerih vgradnje se zaradi hitrega odziva na napetostno spremembo – upad nekoliko poveča fliker, občasno je po vgradnji zaznati tudi nekoliko povečano vsebnost 7. in 15. harmonske komponente napetosti.

3.2.1 Nivo in odklon napajalne napetosti U

Nazivna vrednost napetosti, ki jo elektrodistribucijsko podjetje mora zagotavljati končnemu odjemalcu, znaša 230 V, obenem pa odkloni napetosti ne smejo presegati $\pm 10\%$. V primerih, kjer je napetost pri najbolj oddaljenem odjemalcu na izvodu zaradi padca napetosti nižja od dovoljene, je potrebno poiskati rešitev za zvišanje napetosti. Ena od mogočih rešitev je MVB, ki vgrajen med TP in odjemalca/-e s (pre)nizko napetostjo na izhodni strani konstantno zagotavlja za do +15% višjo napetost od vhodne. Ob tem je potrebno izpostaviti, da MVB zagotavlja zvezno regulacijo napetosti, in ne stopenjske, kot je to v uporabi pri nekaterih funkcijsko podobnih, a tehnološko neprimerljivih napravah.

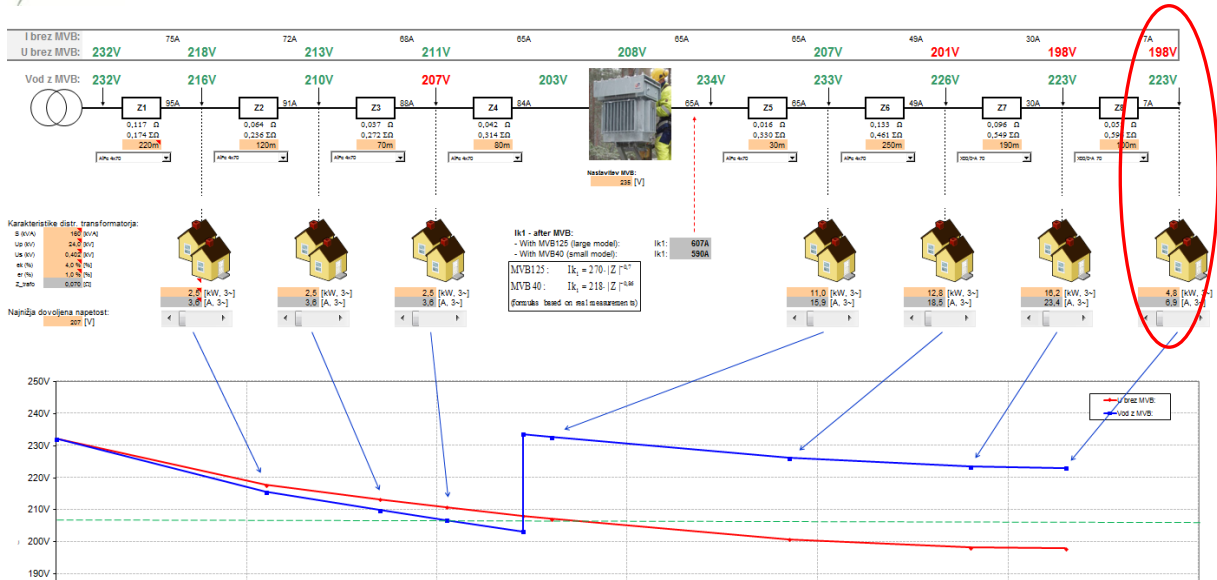
Na sliki 1 je prikazan časovni potek tedenske meritve srednjih vrednosti napetosti U_{avg} pri najbolj oddaljenem odjemalcu na NN izvodu, kjer so na levem grafu prikazane napetosti, ko napetostni stabilizator MVB še ni bil vgrajen v omrežje, na desnem pa po vgradnji stabilizatorja. Iz primerjave grafov je razvidno, da se nivo napetosti z vgradnjo stabilizatorja MVB dvigne za do +15%, odvisno od dejanskega odstopanja napetosti.



Slika 1: Tedenska meritve 10-minutnih srednjih vrednosti napetosti U_{avg} pred (levo) in po vgradnji napetostnega stabilizatorja MVB (desno).

Simulacijsko orodje, ki je namenjeno oceni napetostnega profila vzdolž voda, nam da dokaj natančen rezultat pričakovanih napetosti v posameznih opazovanih merilnih točkah po predvideni vgradnji stabilizatorja MVB. V največ primerih je tista napetost, ki jo dobimo v simulaciji pri posamezni računski skupini odjemalcev, skoraj enaka najnižji vrednosti izmerjene povprečne vrednosti U_{avg} . Na sliki 2 je prikazan rezultat simulacije, ki prikazuje napetostni profil vzdolž voda za primer brez vgrajenega stabilizatorja MVB (rdeča krivulja) in za primer z vgrajenim stabilizatorjem (modra črta).

Dejanska meritve 10-minutnih srednjih vrednosti napetosti U_{avg} pri odjemalcu na koncu izvoda pred vgradnjo MVB, ki je prikazana na levi polovici slike 1, se dokaj natančno ujema z v simulaciji izračunano napetostjo pri istem odjemalcu (tj. 198 V), kot jo prikazuje slika 2. Prav tako od izmerjene bistveno ne odstopa niti izračunana napetost po vgradnji MVB (izračunana 223 V, dejansko izmerjena U_{avg} ni nižja od 225 V). Pri tem je potrebno dodati opombo, da se v simulaciji vedno namenoma upošteva nekoliko višje obremenitev od dejanske, tako da je zaradi tega tudi dobljen napetostni profil nekoliko slabši od dejanskih izmerjenih vrednosti napetosti.



Slika 2: Napetostni profil vzdolž voda brez vgrajenega MVB (rdeča krivulja) in z vgrajenim MVB (modra krivulja).

3.2.2 Hitre napetostne spremembe in fliker

Do hitrih napetostnih sprememb v omrežju navadno pride zaradi vklopa večjih bremen v omrežju ali zaradi preklpov v omrežju. Kot posledica hitrih napetostnih sprememb v omrežju pride do pojava flikerja, ki se odraža kot nestalnost zaznavanja oziroma utripanje svetlobe klasične žarnice z žarilno nitko v perifernem človeškem vidu. Zaradi vedno manjše uporabe žarnic z žarilno nitko posledično fliker izgublja pomen.

Fliker ni neposredno merljiva električna veličina, ki bi povzročala motnje v delovanju električnih porabnikov, pač pa število sprememb napetosti z amplitudo zgolj ~0,5% in frekvenco 5-15 sprememb na sekundo. Povišan fliker je še posebej pogosto zaznat v meritvah parametrov KEE tam, kjer se v omrežju pogosto periodično vklopljajo in izklaplajo električne naprave (npr. kompresor hladilnika, elektromotorji, varilni aparati, žage, itd.). Povišan fliker ne vpliva na delovanje elektronskih naprav (naprimer izklop aparatov, računalnikov, televizorjev), marveč povzroča zgolj potencialno moteče vidne učinke hitrih napetostnih sprememb.

Zaradi hitrosti regulacijske zanke stabilizatorja MVB, ki (odvisno od velikosti modela) znaša 150 oziroma 200ms, se lahko fliker po vgradnji včasih nekoliko poveča, ni pa nujno. Na podlagi zbranih podatkov vgrajenih stabilizatorjev v zadnjih nekaj letih izhaja, da se vrednost flikerja poslabša v približno 45% vseh primerov, medtem ko v vseh ostalih primerih fliker ostane na približno enakem nivoju ali se celo nekoliko izboljša.

Pri pregledni analizi meritev flikerja pred in po vgradnji MVB-ja se izkaže, da ni moč izluščiti nikakršnega jasnega vzorca ali povezave med višino in spremembo (-porastom ali upadom) flikerja. Potrebno je poudariti, da so lahko meritve pred in po vgradnji stabilizatorja velikokrat medsebojno časovno dislocirane tudi za obdobje nekaj mesecev ali celo let, zaradi česar ni nujno, da se v obojnih meritvah vedno odraža enaka situacija v omrežju oziroma enak problem. Za detajlnejšo analizo flikerja in posledično bolj verodostojne zaključke bi bilo potrebno namensko izvesti meritve brez in z vgrajenim stabilizatorjem v čimbolj enakih pogojih (enak letni čas, približno enaka vrsta in količina obremenitve,...), predvsem pa na dovolj velikem vzorcu.

3.2.3 Napetostni upadi

Kadar napetost v omrežju pade za od -10% do -99% glede na nominalno vrednost, govorimo o napetostnem upadu. Ta ima lahko različne amplitude in tudi različno dolge čase trajanja. Običajno se število upadov, zabeleženih v NN omrežju, podaja v obliki UNIPeDE tabele, kjer so upadi različno razvrščeni glede na amplitudo in čas trajanja.

V praksi se pokaže, da se dejanska vsebina pritožbe na kakovost električne energije, ki jo poda odjemalec, ne nanaša na fliker, temveč največkrat na prenizek nivo napetosti ter napetostne upade. V rezultatih izvedenih meritev, kjer so odjemalci podali pritožbo, je bilo v UNIPeDE tabelah zabeleženih po več tisoč upadov na

posameznem odjemnem mestu, v najslabših primerih tudi preko 10000, z različnimi amplitudami in različnim časom trajanja.

Z določenega vidika bi lahko sklepali, da so od vseh do sedaj omenjenih parametrov kakovosti električne energije za odjemalca poleg nizkega nivoja napetosti najbolj pomembni prav napetostni upadi: prav to dvoje je tisto, ki vpliva na delovanje (občutljivih) električnih porabnikov.

V praktično vseh dosedanjih primerih uporabe nizkonapetostnega stabilizatorja MVB se je izkazalo, da je bilo število upadov po vgradnji vsaj drastično zmanjšano, če že ne popolnoma odpravljeno. Eden tipičnih primerov, kjer je MVB odpravil preko 11000 upadov, je prikazan na sliki 3 (na levi strani je prikazana UNIPeDE tabela upadov pred vgradnjo stabilizatorja MVB, na desni pa UNIPeDE tabela potem, ki je v omrežje bil vključen MVB).

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%	11	1						
Dip > 10.00%								
10...< 15 %	6761	2643	1691	124	104	75	13	9
15...< 30 %		12	2			1	3	5
30...< 60 %		3	2					
60...< 99 %								
Interruption			2	4			3	3

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

Number of swells	12
Number of Dips	11448
Number of short interruptions (<3 min)	9
Number of long interruptions (>=3 min)	3
Number of interruptions	12
Total events and interruptions	11472
Total number of allowed events	100
Total number of allowed interruptions	100

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 %		1						
15...< 30 %								
30...< 60 %			1					
60...< 99 %								
Interruption								

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	2
Number of short interruptions (<3 min)	0
Number of long interruptions (>=3 min)	0
Number of interruptions	0
Total events and interruptions	2
Total number of allowed events	100
Total number of allowed interruptions	100

Slika 3: UNIPeDE tabela upadov pred vgradnjo stabilizatorja MVB (levo) in po vgradnji MVB (desno).

V vseh primerih, kjer je bila izdelana predhodna simulacija pričakovanih učinkov vgradnje stabilizatorja MVB, in so bile tudi po izvedeni vgradnji izdelane ponovne meritve KEE, smo občutno zmanjšali število upadov, oziroma bistveno skrajšali čas njihovega trajanja. Številčni prikaz števila upadov zgolj za nekaj vgrajenih stabilizatorjev MVB je prikazan v tabeli 1.

Tabela 1: Primerjava števila upadov pred in po vgradnji MVB.

Št.	Število upadov pred vgradnjo MVB	Število upadov po vgradnji MVB
Primer 1	9749	170
Primer 2	11448	1
Primer 3	12273	197
Primer 4	13106	84
Primer 5	1574	97
Primer 6	8806	113
Primer 7	2881	34

3.2.4 Neravnotežje napajalne napetosti

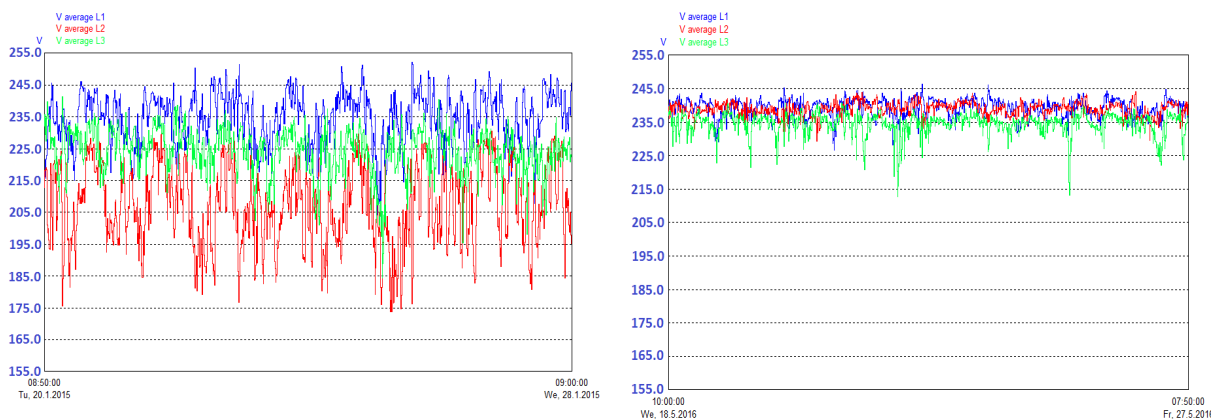
Napetostni stabilizator Magtech MVB za razliko od nekaterih podobnih rešitev izravnava nesimetrijo med fazami s pomočjo terciarnega delta navitja in lahko zaradi tega obratuje tudi v omrežju s popolnoma nesimetričnim bremenom. Pri nesimetrični obremenitvi stabilizator izravnava napetosti posamezne faze od -7% do +28% tako pred kot tudi za točko vgradnje stabilizatorja. Poleg tega je MVB sposoben varno obratovati tudi v primeru, da v omrežju pride do prekinitve nevtralnega vodnika, kar bi sicer brez stabilizatorja lahko predstavljalo veliko nevarnost tako za električne porabnike kot tudi za ljudi.

Kot takšen se je stabilizator dobro izkazal v primerih, kjer je v NN omrežju priključenih več enofaznih odjemalcev in le-ti niso najbolj optimalno razporejeni po posameznih fazah, oziroma je pri posameznem odjemalcu v omrežje priključenih več enofaznih porabnikov.

Pri pregledu meritev konkretnih instalacij v omrežje se pokaže, da je bilo v vsaj 85% primerih fazno neravnovesje z uporabo stabilizatorja MVB bistveno zmanjšano, in sicer neodvisno od stopnje neravnovesja.

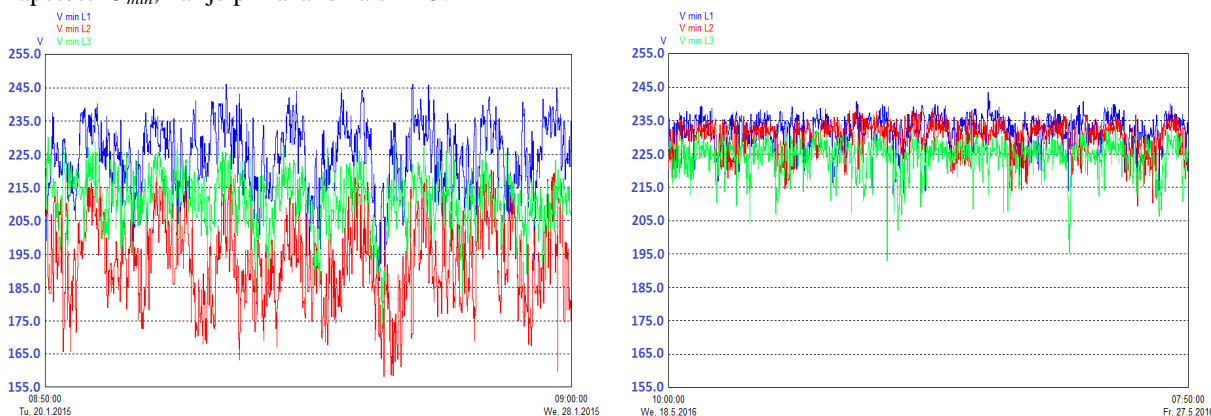
Tipičen primer učinka stabilizatorja MVB na fazno neravnovesje je viden na slikah 4 in 5. Slika 4 kaže izrazito nesimetrijo faz pred vgradnjo MVB-ja, kar je vidno na časovnem poteku 10-minutnih srednjih vrednosti

napetosti U_{avg} (levo), po vgradnji stabilizatorja pa je situacija bistveno izboljšana: 10-minutne vrednosti napetosti U_{avg} vseh treh faz so med seboj bolj simetrične ob istočasnem dvigu nivoja napetosti (graf desno).



Slika 4: Tedenski diagram 10-minutnih vrednosti napetosti U_{avg} pred (levo) in po vgradnji stabilizatorja MVB (desno).

Nezanemarljivo je dejstvo, da se v tem primeru enak trend izboljšanja pokaže tudi pri meritvi 10ms vrednosti napetosti U_{min} , kar je prikazano na sliki 5.



Slika 5: Tedenski diagram 10-milisekundnih vrednosti napetosti U_{min} pred (levo) in po vgradnji stabilizatorja MVB (desno).

3.2.5 Povečanje kratkostičnega toka

Eden pomembnejših pozitivnih vplivov stabilizatorja MVB je tudi povečanje toka enofaznega kratkega stika v omrežju za do 60%. To se še kot posebej dobrodošlo izkaže v primerih, kjer se zaradi sorazmerno dolgih NN izvodov upravljalci omrežij soočajo s problemom (pre)majhnega kratkostičnega toka na koncu veje. Zaradi tega ni mogoče ustrezno dimenzionirati varovalk oziroma zagotoviti, da v primeru okvare na vodu varovalka pregori v dovolj kratkem času.

V potrditev te funkcionalnosti stabilizatorja govori dokaj svež primer vgradnje na več kot 1,6 km dolgem NN izvodu, na katerem je bil kljub izvedbi vmesnega varovanja izračunan kratkostični tok na koncu izvoda tako nizek, da je čas delovanja varovalke v primeru okvare daljši od predpisanega. Ko pa je bil v fazi načrtovanja obnove NN omrežja z umestitvijo napetostnega stabilizatorja upoštevan za 50% višji tok kratkega stika kot brez MVB-ja, se je izkazalo, da je predvideno varovanje ustrezno in je čas delovanja varovalk tudi za primer okvare na koncu izvoda ustrezno kratek.

4 ZAKLJUČKI

Napetostni stabilizator Magtech MVB praktično v vseh primerih dvigne nivo napetosti, zmanjša nihanje, odpravi napetostne upade in izravna asimetrijo med fazami, poleg tega pa občutno poveča tudi tok enofaznega kratkega stika v omrežju. Njegova prednost v primerjavi z drugimi podobnimi tehnološkimi rešitvami je zvezna oziroma

brezstopenjska regulacija napetosti, tako da odjemalec pravzaprav sploh ne občuti, kdaj in za koliko je naprava ojačala prenizko vhodno napetost omrežja. Ni pa nujno, da so ob vseh omenjenih pozitivnih učinkih popolnoma izpolnjene zahteve standarda SIST EN 50160, saj določenih parametrov KEE na žalost ne uspemo izboljšati (naprimer fliker, višje harmonske komponente, THD).

Vsak odjemalec je, ne glede na lokacijo odjemnega mesta, po načelu poštna znamke enako upravičen do neprekinjene dobave električne energije znotraj meja kakovosti, kot jih določa standard SIST EN 50160. S pomočjo stabilizatorja Magtech MVB elektrodistribucijskim podjetjem pomagamo uspešno odpraviti čimveč primerov slabih napetostnih razmer, čeprav se zavedamo, da ima podobno kot ostale tehnološko primerljive rešitve tudi Magtechov MVB nekatere manj pozitivne učinke na omrežje.

Praktične izkušnje pa v marsikaterem primeru pokažejo, da je povprečen odjemalec, posebej še na ruralnih območjih, neprimerno bolj zadovoljen z bistveno popravljanim nivojem napetosti in skoraj v celoti odpravljenimi napetostnimi upadi, pa čeprav s še vedno prisotnim flikerjem in nekaterimi višjimi harmonskimi komponentami.

Z napetostnim stabilizatorjem ne idealiziramo razmer, pač pa rešujemo največkrat tiste najbolj pereče parametre, ki v vsakdanjem življenju odjemalca najbolj občutno vplivajo na delovanje električnih porabnikov in naprav.

REFERENCE

- [1] Rezultati tedenskih meritev kakovosti električne energije podjetij za distribucijo električne energije (Elektro Ljubljana d. d., Elektro Maribor d. d., Elektro Celje d. d., Elektro Gorenjska d. d., Elektro Primorska d. d.).
- [2] Arhiv projektov izvedenih simulacij in izračunov NN omrežij s slabimi napetostnimi razmerami podjetja Altens d. o. o..
- [3] Interna tehnična dokumentacija proizvajalca Magtech AS, Norveška.