

## ***VGRADNJA Li-Ion HRANILNIKA ELEKTRIČNE ENERGIJE V NIZKONAPETOSTNA OMREŽJA Z VELIKO RAZPRŠENE PROIZVODNJE***

Anže Vilman<sup>1</sup>, mag. Marjan Jerele<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Elektro Gorenjska, d.d., Ulica Mirka Vadnova 3a, 4000 Kranj  
anze.vilman@elektro-gorenjska.si, marjan.jerele@elektro-gorenjska.si

**Povzetek** – Direktive, povezane z zmanjševanjem izpustov toplogrednih plinov in obveznih deležev proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov, v distribucijska omrežja (DO) uvajajo nove tehnologije. Že dalj časa smo priča množični gradnji sončnih elektrarn in toplotnih črpalk, v porastu je uporaba električnih avtomobilov, vedno več je govora o hranilnikih električne energije. Skladiščenje električne energije je izziv, s katerim se inženirji ukvarjajo že od samega začetka razvoja elektroenergetskega sistema. Z razvojem električnih avtomobilov in računalniške industrije so se tudi hranilniki razvili do te mere, da so primerni za vgradnjo in obratovanje v DO.

Elektro Gorenjska d.d. kot partner sodeluje v evropskem projektu STORY (Added value of STORAge in distribution sYstems), znotraj katerega zagotavlja demonstracijsko okolje za vgradnjo Li-Ion hranilnika električne energije. Pridobljene izkušnje bodo pomembne za odločitev o vgrajevanju hranilnikov in njihovi koristi za DO v prihodnosti. Vgrajen hranilnik znotraj projekta STORY predstavlja prvi vgrajen hranilnik s tovrstno tehnologijo v slovenskem DO.

**Ključne besede:** distribucijsko omrežje, hranilnik električne energije, razpršeni viri, rezanje konice, terciarna rezerva, harmoniki..

## ***INSTALLATION OF Li-Ion BATTERY STORAGE IN LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK WITH HIGH PENETRATION OF DISTRIBUTED GENERATION***

**Abstract** – Rapid emergence of distributed energy resources, installed mainly in low voltage networks, poses new challenges to distribution system operators. Besides regular voltage quality provision, load balancing solutions are becoming one of the most important future DSO operational concepts. Rapidly developing storage technologies are without no doubt one of the future balancing solutions and already paving its way into distribution low voltage networks.

Elektro Gorenjska d.d. is an active partner of STORY H2020 project titled “Added value of STORAge in distribution sYstem” and strongly contributed to demonstration of a flexible and robust use of a large-scale battery energy storage system. During the project, different storage functionalities will be implemented and tested, compared and evaluated for future large-scale storage implementation. Article summarizes different demonstration outcomes and shares the lessons learned.

**Keywords:** distribution network, battery storage, distributed generation, peak shaving, tertiary reserve, harmonics.

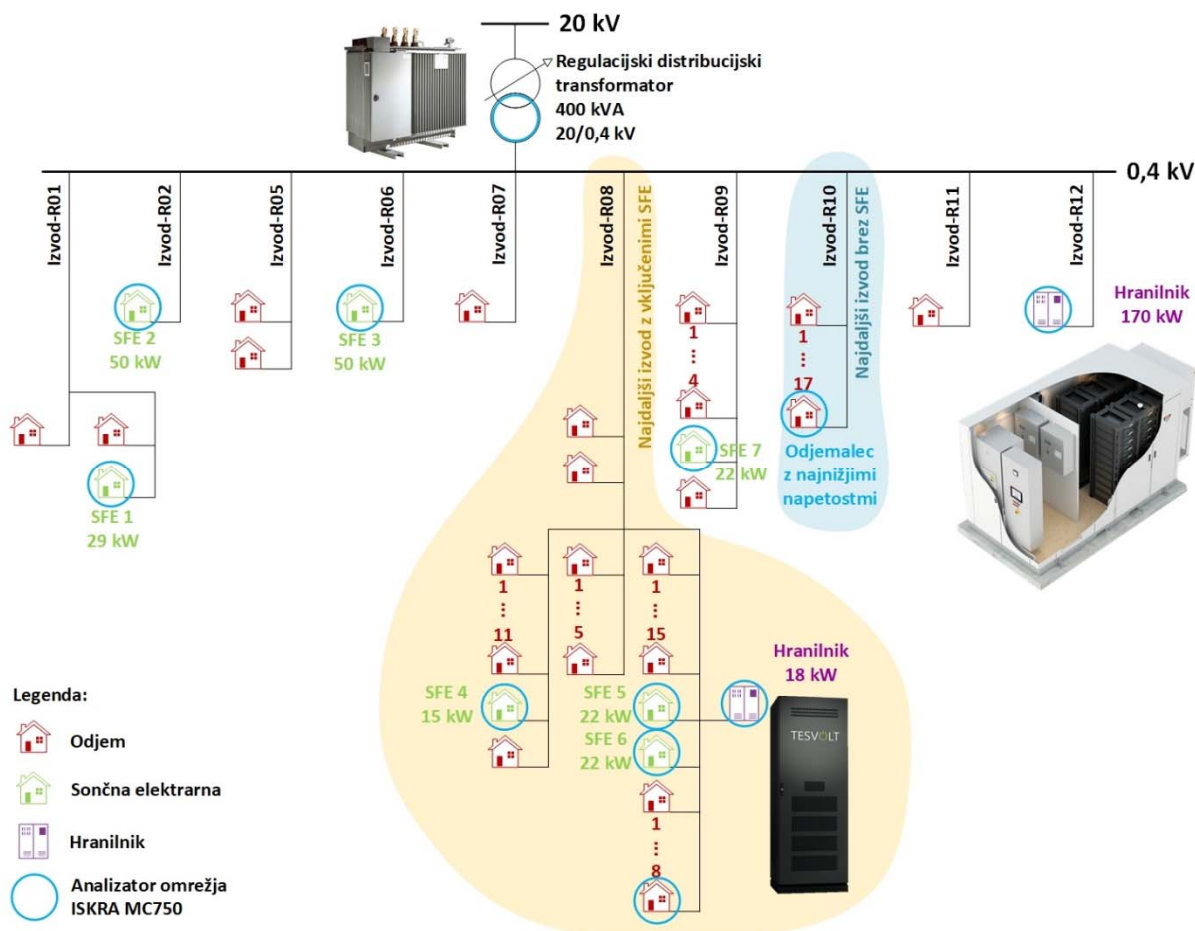
## 1 UVOD

Elektro Gorenjska d.d. kot partner sodeluje v evropskem projektu STORY (Added value of STORAge in distribution sYstems), znotraj katerega zagotavlja demonstracijsko okolje za vgradnjo Li-Ion hranilnika električne energije. Prva demonstracija trenutno poteka v podeželskem tipu nizkonapetostnega omrežja (NNO) v transformatorski postaji (TP) Suha, druga demonstracija pa predvideva testiranje hranilnika v industrijskem tipu NNO na lokaciji podjetja v TP Elektro. Hranilnik je voden z naprednim krmilnim sistemom, ki zagotavlja optimalno delovanje glede na trenutno porabo omrežja in proizvodnjo sončnih elektrarn. V času izvajanja projekta se bodo testirale različne funkcionalnosti kot so rezanje konice, regulacija jalove energije, izvajanje terciarne rezerve ter kompenzacija višjih harmonikov. Pridobljene izkušnje bodo pomembne za odločitev o vgrajevanju hranilnikov in njihovi koristi za DO v prihodnosti. Vgrajen hranilnik znotraj projekta STORY predstavlja prvi vgrajen hranilnik s tovrstno tehnologijo v slovenskem DO.

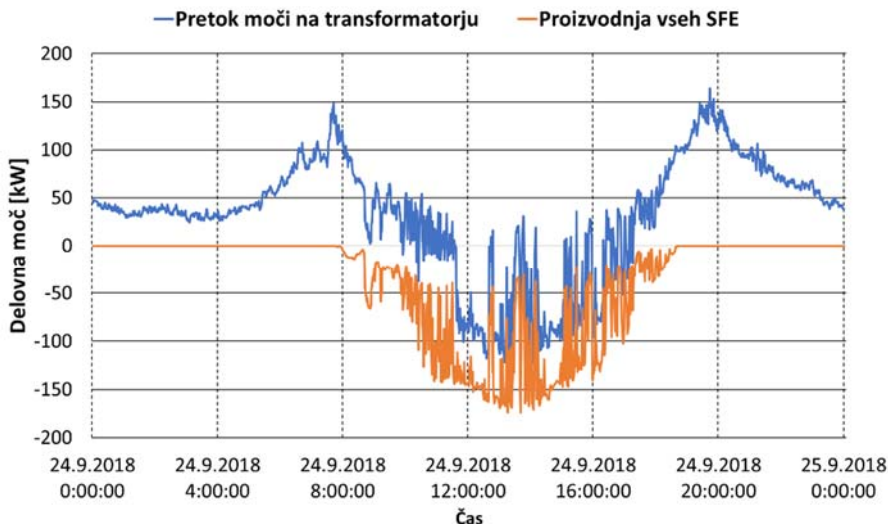
## 2 DEMONSTRACIJSKI POLIGON

Severozahodno od Kranja leži vas Suha pri Predosljah. Lega in orientiranost objektov v vasi izpolnjujeta idealne pogoje za postavitve sončnih elektrarn (SFE). V času visokih spodbud za izgradnjo razpršenih virov (RV), predvsem SFE se je sedem lastnikov odločilo za postavitev SFE, katerih skupna inštalirana moč znaša 210 kW. Vas se napaja preko kableske TP v kateri je vgrajen regulacijski distribucijski transformator (TR) moči 400 kVA. Povprečna konična poraba v vasi znaša 150 kW in se pojavlja v času jutranje in večerne konice. Časovno ne sovпада s konično proizvodnjo SFE, zato so se pred vgradnjo hranilnika obrnjeni pretoki moči dogajali vsak sončen dan (slika 2).

Porabniki se iz TP napajajo preko devetih NN izvodov, preko desetega je priključen hranilnik proizvajalca ABB. V sodelovanju s slovenskim podjetjem N•GEN je na konec NNO priključen tudi manjši hranilnik proizvajalca TESVOLT (slika 1).



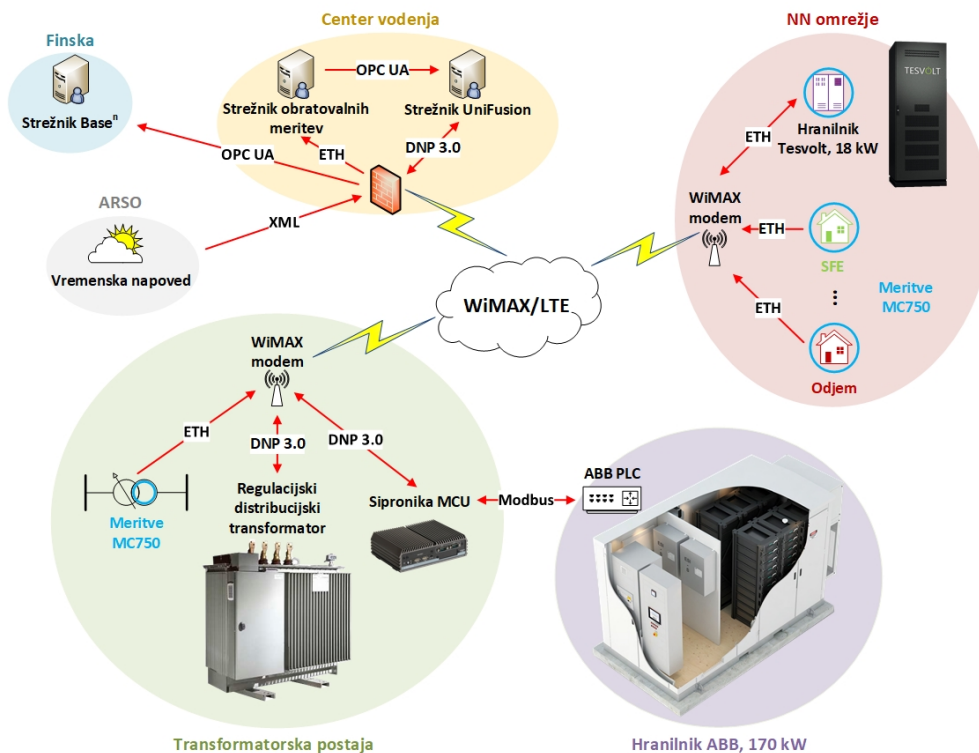
Slika 1: Enopolna shema NNO napajane preko TP Suha.



Slika 2: Dnevni pretok moči na TR (jutranja in večerna konica) in proizvodnja vseh SFE.

Slika 3 prikazuje shemo komunikacij, ki temelji na lastni komunikacijski infrastrukturi WiMAX, katero bo v prihodnosti zamenjalo privatno omrežje LTE. Za potrebe predhodnih analiz, vhodnih podatkov regulacijskega algoritma, ter za delovanje hranilnika so na dvanajstih lokacijah z najbolj neugodnimi napetostnimi razmerami vgrajeni analizatorji omrežja Iskra MC750 (modri krogi na sliki 1). Meritve vseh parametrov se z 1 minutnim intervalom preko priključenih WiMAX modemov prenašajo v podatkovno bazo strežnika obratovalnih meritev. Za nadzor in vodenje TP, regulacijskega distribucijskega TR in hranilnika je uporabljena SCADA na osnovi platforme UniFusion. Le ta poleg osnovnih SCADA funkcionalnosti zagotavlja tudi povezave med bazo obratovalnih meritev in strežnikom na Finskem, preko katerega so podatki dostopni ostalim partnerjem, ki so vključeni v projekt STORY.

Kontrolni algoritem hranilnika ABB na podlagi vremenske napovedi, katero pridobi iz naslova Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), izbere primerno krivuljo dnevnega pretoka moči čez TR in izračuna meje polnjenja in praznjenja hranilnika. Za prenos podatkov in izvajanje funkcij daljinskega nadzora in vodenja je uporabljeno omrežje WiMAX.



Slika 3: Komunikacijska shema.

Hranilnik za potrebe projekta STORY je bil razvit in izdelan s strani podjetja ABB in ima naslednje karakteristike:

Tabela 1: Karakteristike hranilnika.

<b>Inštalirana moč</b>	170 kVA @ 400 Vac
<b>Faktor moči</b>	100% P (kW) ali Q (kVAr), induktivno ali kapacitivno
<b>Kapaciteta (4 žilni priklop)</b>	450 kWh @ začetek življenjske dobe
<b>Izkoristek (začetek življenjske dobe)</b>	87% (ob polni moči polnjenja/praznjenja)
<b>Število vgrajenih baterijskih modulov</b>	84

### 3 FUNKCIONALNOSTI HRANILNIKA

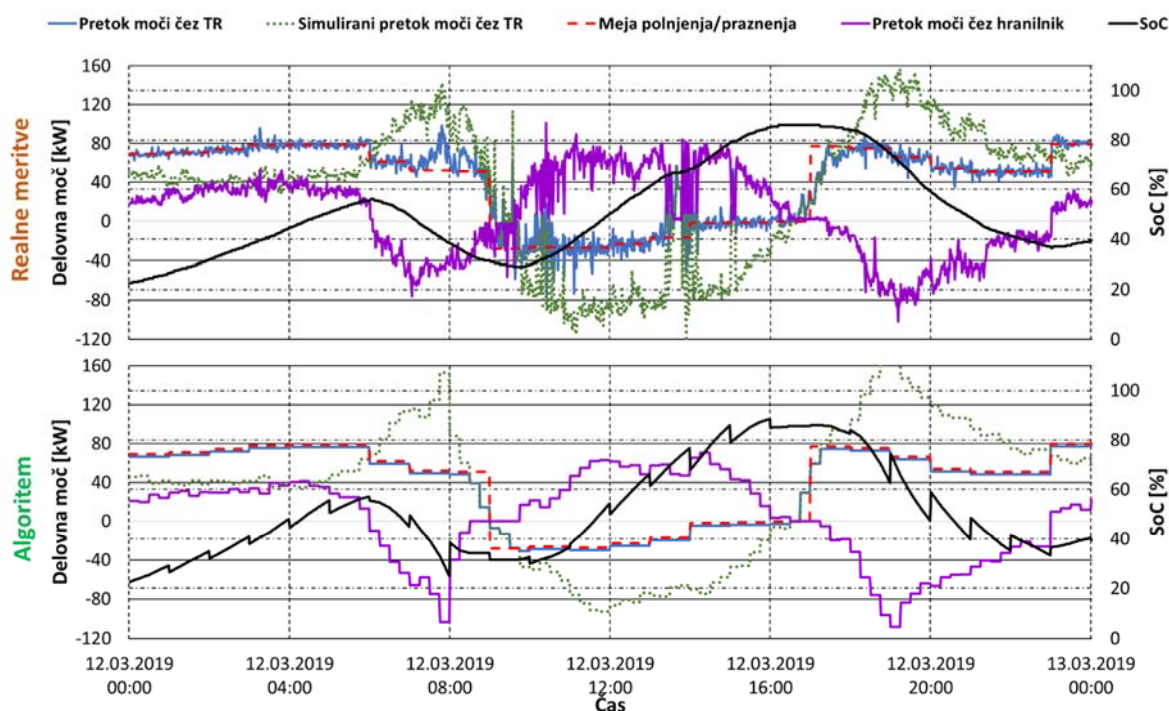
Glede na definicije projekta in potrebe DO hranilnik zagotavlja naslednje funkcionalnosti:

- rezanje konice,
- kompenzacija jalove moči,
- kompenzacija harmonikov,
- zagotavljanje terciarne rezerve in
- simulacija otočnega obratovanja.

#### 3.1 Rezanje konice

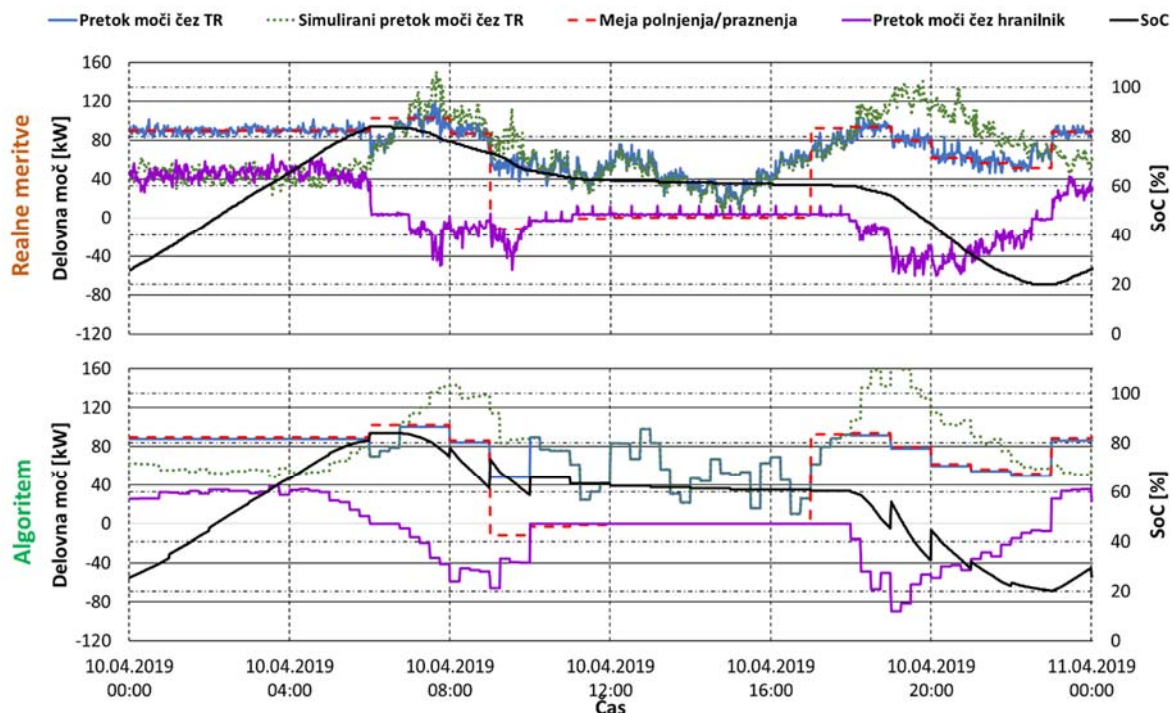
Za DO je najbolj pomembna funkcionalnost rezanje konice, katere namen je zmanjšanje pretoka moči čez TR, ki ga povzroča lokalna poraba na eni strani in proizvodnja SFE na drugi (slika 2). Algoritem za rezanje konice je bil znotraj projekta STORY razvit na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani. Za samo delovanje algoritma je zelo pomembna napoved vremena, podrobneje napoved sončnega obsevanja v  $W/m^2$  na lokaciji vasi Suha pri Predosljah. Za ta namen Agencija Republike Slovenije za okolje, vsakih 6 ur posreduje napoved obsevanja za naslednjih 36 ur v naprej.

Iz arhiva meritev pretoka moči čez TR in sončnega obsevanja za zadnja tri leta je bilo na Fakulteti izdelanih 360 različnih tipskih profilov pretoka moči čez TR. Algoritem iz prejete napovedi sončnega obsevanja izračuna predvideno proizvedeno energijo iz SFE, izbere tipski profil pretoka moči čez TR in ob upoštevanju stanja napolnjenosti (SoC) določi meje polnjenja in praznjenja hranilnika (slika 4 in 5 – spodnji graf). Na slikah je vidno, da se realne meritve (slika 4 in 5 – zgornji graf) zelo dobro ujemajo z izračunom algoritma.



Slika 4: Delovanje algoritma za rezanje konice – sončen dan.





Slika 5: Delovanje algoritma za rezanje konice - oblačen dan.

### 3.2 Kompenzacija jalove moči

Hranilnik je zmožen zagotavljati 100% induktivno ali kapacitivno polnjenje/praznjenje, kar je uporabljeno za kompenzacijo jalove moči TR. Z nastavitvijo največje oz. najmanjše dovoljene jalove moči TR, algoritem na osnovi real-time meritev izračunava optimalne nastavitvene točke hranilnika in jih pošilja nadzornemu sistemu hranilnika.

### 3.3 Kompenzacija harmonikov

Naslednja funkcionalnost je kompenzacija harmonikov. Na hranilniku je možno nastaviti kompenzacijo 20 tokovnih in 20 napetostnih harmonikov. Glede na meritve harmonikov na lokaciji TR, se nastavi zgornja meja toka ali napetosti, nad katero hranilnik kompenzira harmonike.

### 3.4 Zagotavljanje terciarne rezerve

Hranilnik je pripravljen za zagotavljanje sistemskih storitev, namenjenih zagotavljanju varnega in neprekinjenega obratovanja elektroenergetskega sistema. V primeru terciarne rezerve – vzpostavitev normalnega stanja rezerv pri regulaciji frekvence, lahko zagotavlja določen del rezerve in je pripravljen na vključitev v virtualno elektrarno.



### 3.5 Simulacija otočnega obratovanja

Glede na visoko proizvodnjo energije iz SFE je bil izdelan algoritem za simulacijo otočnega obratovanja. Sistem ni pripravljen na otočno obratovanje, ampak ima razvit algoritem za tako imenovani »Zero Load Provision«. Algoritem ves čas spremlja pretok moči čez TR in upravlja hranilnik v smeri ničnega pretoka moči čez TR. Algoritem nalogo dobro opravlja in je v času testiranja vozil pretok čez TR v mejah  $\pm 10$  kW.

## 4 IZKUŠNJE IZ PROJEKTA

Sistem je v obratovanju pol leta, v tem času pa smo si nabrali kar nekaj izkušenj. Tako, kot pri preizkušanju vsake nove tehnologije ima tudi opisan sistem pozitivne in negativne strani. Vse so zbrane v tabeli 2:

Tabela 2: Pozitivne in negativne strani hranilnika.

	
Zagotavljanje vseh predvidenih funkcionalnosti.	Veliko število napak v delovanju hranilnika.
Zmanjšanje koničnih obremenitev TR.	Trenutna visoka cena.
Zanesljivo delovanje privatnega brezžičnega omrežja.	Generiranje visokofrekvenčnih motenj – posledica nedelovanje daljinskega čitanja števecov.
Zanesljivo delovanje sistema obratovalnih meritev.	Omejena življenjska doba rešitve.
Zanesljivo delovanje razvitega nadzornega sistema.	Kompleksnost sistema
	Stalen nadzor delovanja sistema in razpoložljivost za odpravo okvar.

Glede na opisane izkušnje, ostaja izziv projekta povečanje zanesljivosti obratovanja hranilnika. Potrebno bo rešiti tudi generiranje visokofrekvenčnih motenj. Kot možni rešitvi se ponujata izgradnja ločenega ozemljitvenega sistema za hranilnik in vgradnja ustreznih filtrov.

## 5 ZAKLJUČKI

Elektro Gorenjska s sodelovanjem v različnih razvojnih projektih želi pridobiti znanje in izkušnje z vgradnjo novih tehnologij in se s tem pripraviti na razne izzive prihodnosti. Novih tehnologij ne vgrajujemo zaradi odpravljanja dejanskih težav, saj glede na doseganje visokih kazalcev kakovosti in zanesljivosti podjetje dokazuje, da je trenutno distribucijsko omrežje grajeno strokovno in tehnično ustrezno. Na osnovi izkušenj ugotavljamo visoko zanesljivost delovanja obstoječih tehnoloških sistemov s področja zajema in prenosa podatkov ter vodenja, kar pa trenutno še ne velja v celoti za opremo, ki naj bi v prihodnosti blažila vplive obratovanja RV in povečanega odjema v NNO. Ob visoki ceni, kompleksnosti predstavljene rešitve in relativno kratki življenjski dobi, se namreč upravičeno zastavlja vprašanje, v kakšni meri lahko s sodobnimi tehnologijami ublažimo potrebo po bistvenem ojačenju obstoječih omrežij. Ne glede na vse je naša osnovna naloga še vedno zanesljivo in kakovostno napajanje vseh uporabnikov z nadstandardno uporabniško izkušnjo. Posledično lahko zaključimo, da bo v prihodnosti še vedno potrebno graditi močno omrežje, kateremu bodo v pomoč moderne tehnologije.

## REFERENCE

- [1] <http://horizon2020-story.eu/>