

Slovensko-Japonski raziskovalno-razvojni demonstracijski projekt

BOGOMIL JELENC

Povzetek Spoznavnost in vodljivost sta končni cilj vsakega systemskega operaterja. Večanje števila razpršenih virov v distribucijskem omrežju in trendi po širokem razmahu e- mobilnosti postavljajo koncept distribucijskega omrežja, kot smo ga poznali v povsem novo luč. Pretoki energije se ne bodo samo povečali (enako velja za konične moči) ampak zelo verjetno tudi obrnili. Krepitev omrežja kot odgovor na te izzive je sicer realna vendar draga rešitev, pogosto tudi izvedbeno zamaknjena v prihodnja leta. Večja vodljivost pa prinese možnost nadzora nad pretoki moči, kar omogoča nižanje konične obremenitve, vzdrževanje napetosti znotraj predpisanih mej in zmanjševanju izgub v omrežju.

Ključne besede: • slovensko-japonski projekt • spoznavnost • vodljivost • razpršeni vir • distribucijsko omrežje •

NASLOV AVTORJA: mag. Bogomil Jelenc, koordinator projekta, Elektro Maribor, d. d., Vetrinjska ulica 2, 2000 Maribor, Slovenija, e-pošta: bogomil.jelenc@elektro-maribor.si.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.12>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 Univerzitetna založba Univerze v Mariboru

Dostopno na: <http://press.um.si>.

Slovenian-Japanese Research and Development Demonstration Project

BOGOMIL JELENC

Abstract In control theory, observability is a measure for how well internal states of a system can be inferred by knowledge of its external outputs. The observability and controllability of a system are mathematical duals. Both of them are also final goal of every System operator. The development of the Smart Grid concept is the pathway for assuring flexible, reliable and efficient distribution networks while integrating high shares of Distributed Energy Resources. Within smart grid paradigm the highly flexible and controllable Low Voltage Network is able to decentralize the distribution management and control system while providing additional controllability, observability and improves the security and reliability of the system.

Keywords: • Slovenian-Japanese project • observability • controllability • distributed energy source • distribution network •

CORRESPONDENCE ADDRESS: Bogomil Jelenc, M.S., Project Coordinator, Elektro Maribor, d. d., Vetrinjska ulica 2, 2000 Maribor, Slovenia, e-mail: bogomil.jelenc@elektro-maribor.si.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.12>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 University of Maribor Press

Available at: <http://press.um.si>.

1 Zgodovina sodelovanja

Slovensko-japonsko sodelovanje na področju pametnih skupnosti in pametnih omrežij sega v leto 2012, ko je Slovenska tehnološka agencija (sedaj Javna agencija RS za spodbujanje podjetništva, internacionalizacije, tujih investicij in tehnologije – SPIRIT Slovenija) podpisala sporazum o sodelovanju z japonsko agencijo za nove energetske in industrijske projekte – NEDO. Namen sporazuma je krepitev povezovanja in tehnološkega sodelovanja med slovenskimi in japonskimi podjetji na področju naprednih energetskih in industrijskih tehnologij.

Sklenitev sodelovanja pri izvedbi demonstracijskega projekta oziroma več demonstracijskih projektov na izbranih tehnoloških področjih je bila sprejeta z izborom treh tem potencialnega skupnega demonstracijskega projekta.

Demonstracijski projekt pametne skupnosti in pametna omrežja zajema tri področja, in sicer: razvoj in prikaz delovanja (demonstracija) integriranega sistema upravljanja distribucijskih omrežij (Distribution Management System, DMS) za skupno uporabo v slovenskih distribucijskih podjetjih, ki bo hkrati interoperabilen v sklopu različnih tehnoloških sistemov v uporabi;

razvoj in prikaz delovanja (demonstracija) integriranih rešitev na področju upravljanja s porabo (Demand Side Management / Demand Response, DR), s katerimi bo omogočeno učinkovito prilagajanje odjema distribucijskih omrežij glede na predvideno povečevanje porabe električne energije in proizvodnje iz razpršenih virov, čemur lahko sledi nameščanje pametnih števecv in prikaz delovanja (demonstracija) ustreznega uravnavanja odjema v okviru različnih storitev, ki jih izvajajo distribucijska podjetja;

uvedba in prikaz delovanja (demonstracija) sistema celostnega upravljanja z energijo (Energy Management System –EMS), ki bo omogočal nadzor in vodenje celostne preskrbe z energijo v urbanih območjih.

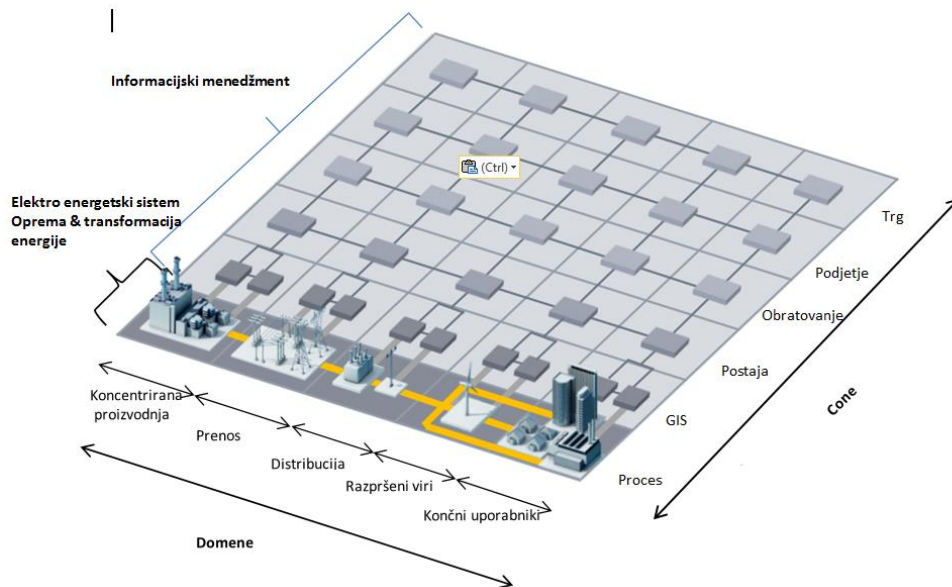
V dogovore za izvedbo demonstracijskega projekta pametnih omrežij in pametnih skupnosti se je konec leta 2015 vključil sistemski operater prenosnega elektroenergetskega omrežja ELES, ki od SPIRIT Slovenija prevzema koordinacijo projekta in sodelovanje z NEDO. ELES je 3. februarja 2016 podpisal pismo o nameri sodelovanja z japonsko agencijo NEDO. ELES je z japonsko stranjo pripravil končni vsebinski obseg partnerstva, izvedbeni načrt in izbor izvajalcev.

ELES tako s svojim delovanjem podpira uporabo študije izvedljivosti za identifikacijo in izvedbo skupnega slovensko-japonskega demonstracijskega projekta na področju pametnih skupnosti in pametnih omrežij v Sloveniji [1], ki jo je na podlagi javnega naročila ter izsledkov terenskih analiz, ki so jih v preteklih letih izvajali japonski partnerji, izdelala Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Na podlagi ugotovitev teh aktivnosti je bila natančno določena oblika partnerstva in sklenjen je bil sporazum o sodelovanju med slovenskimi in japonskimi predstavniki.




Japonsko-slovensko sodelovanje ima tudi cilj spodbujanja novih pristopov za zagotavljanje sistemskih storitev v elektroenergetskem sistemu, uporabo izdelkov v sistemskih aplikacijah, ki še niso na tržišču, ustrezno uporabo prostorskih in demografskih značilnosti Slovenije ter omogočanje dolgoročnih strateških partnerstev med slovenskimi in japonskimi podjetji.

2 Cilji in izzivi projekta NEDO

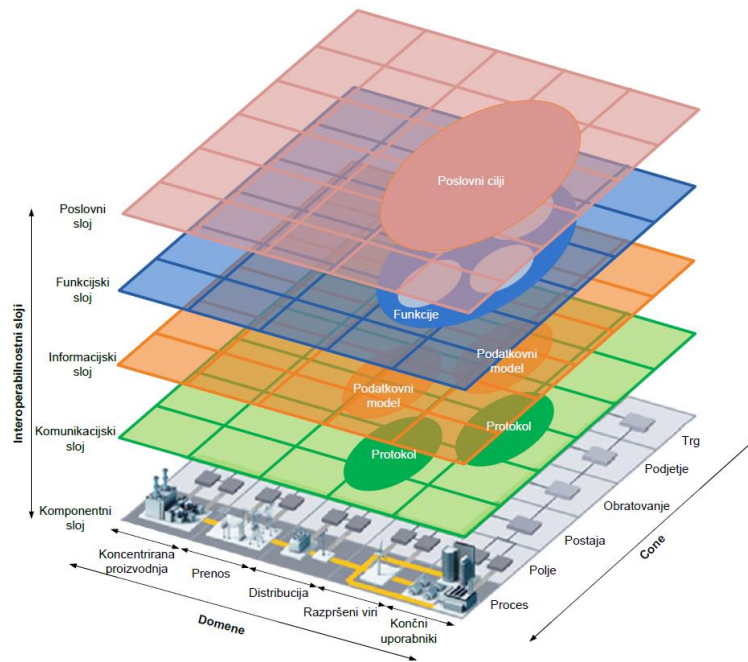
Projekt NEDO zajema praktično vse domene arhitekturnega modela evropskih pametnih omrežij CEN-CENELC-ETSI [2].



Slika 12.1 Arhitekturni model evropskih pametnih omrežij

<p>Cilji</p> <p>Informacije iz omrežja in stanje topologije uporabiti v realnem času za izboljšanje kvalitete napajanja</p>		<p>DMS-rešitve</p> <p>FDIR</p> <p>Lociranje okvare in ponovna vzpostavitev napajanja</p>	<p>Avtomatska ponovna vzpostavitev napajanja po lociranju in izolaciji mesta okvare z daljinsko vodenimi progovnimi stikali</p>
<p>Optimizacija omrežja za vključevanje in obratovanje razpršenih obnovljivih virov</p>		<p>VVO</p> <p>Optimizacija napetostni in jalove moči</p>	<p>Napredno vodenje in optimizacija omrežja za maksimalno penetracijo obnovljivih virov</p>
<p>Optimizacija konične moči</p>		<p>EMS+ z vključitvijo AEMS</p>	<p>Z vključitvijo AEMS doseči naslednje cilje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • področna (bilančna) optimizacija W_{el} • strateško planiranje • krmiljenje bremen (tudi kot poslovna priložnost)}}

Podroben pregled DMS-rešitev pokaže večplastno interoperabilnostno povezovanje različnih slojev arhitekturnega modela evropskih pametnih omrežij.



Slika 12.2 Interoperabilnostno povezovanje različnih slojev arhitekturnega modela evropskih pametnih omrežij

3 Spoznavnost in vodljivost

Z večanjem deleža razpršenih virov (RV) se razmere v omrežju spreminjajo do te mere, da so v določenih primerih obratovalna stanja zelo blizu predpisanih mejnih vrednosti ali jih celo presežejo. Omrežje je namreč bilo načrtovano in grajeno za prenos električne energije iz VN-nivoja v SN- in NN-omrežje. Za obratovanje omrežij z visokim deležem razpršenih virov znotraj predpisanih standardov je tako potrebno poznavanje spremenljivk stanja omrežja (fazne napetosti vozlišč in fazni toki vej), ki so temeljni pogoj za analizo sistema. To imenujemo spoznavnost (observabilnost) sistema in brez tega ni mogoče zagotoviti vodljivosti (kontrolabilnosti) sistema, ki je končni cilj vsakega systemskega operaterja. Večji nadzor nad elementi omrežja ne omogoča zgolj usklajeno delovanja le-teh, ampak tudi boljše izrabo infrastrukture in s tem tehnično in ekonomsko optimalno obratovanje omrežja. V splošnem večja vodljivost prinese zmožnost nadzora nad pretoki moči, kar omogoča nižanje konične obremenitve, vzdrževanje napetosti znotraj predpisanih mej in zmanjševanje izgub v omrežju. Z ustreznim merilnim sistemom in primarno opremo (odklopniki) je mogoče izvesti tudi sistem za določanje mesta okvare v omrežju in ponovno vzpostavitev napajanja po okvari, kar lahko pomembno zmanjša čas trajanja prekinitve napajanja porabnikov.

Aktivnosti, ki so osnova za spoznavnost, tako obsegajo:

- vzpostavitev naprednega merilnega sistema za trajno spremljanje stanja SN- in NN-omrežja,
- ocenjevalnik stanja (state estimator) za oceno stanja omrežja v točkah, kjer meritve niso na voljo,
- vzpostavitev naprednega merilnega sistema za trajno spremljanje kakovosti električne energije v SN- in NN-omrežjih,
- napredna vizualizacija napetostnih profilov in obremenitev,
- določanje lokacije mesta okvar.

Ena izmed prvih težav, ki se pojavljajo z večanjem deleža RV v omrežjih, so prav gotovo neustrezne napetostne razmere. Rešitev tega problema je sicer mogoča s krepitvijo (ojačanjem) omrežja, vendar pa to zahteva visoke investicije v omrežje, praviloma pa tudi podaljšan čas do izvedbe. Druga možna rešitev je uporaba sodobnih pristopov vodenja omrežja, ki temeljijo predvsem na uporabi informacijsko-komunikacijskih tehnologij, vključevanju virov in porabnikov v vodenje omrežja ter na sodobnih algoritmih za regulacijo napetosti. To pa so aktivnosti s področja vodljivosti:

regulacija napetosti s pomočjo VN/SN in SN/NN regulacijskih transformatorjev ter vodenje razpršenih virov,

vodenje omrežja ob visokem deležu razpršenih virov, ki vključuje tudi optimizacijo delovanja omrežja in kompenzacijske naprave.

Posledično je glavni cilj spoznavnosti in vodljivosti povečanje spoznavnosti, ki je osnova za izvedbo ustrezne vodljivosti. Izvedba naprednih sistemov regulacije napetosti v distribucijskem omrežju z zagotovitvijo dovolj meritev napetosti v različnih točkah omrežja in ustrezne primarne opreme (odklopnikov) je tako jedro projekta NEDO.

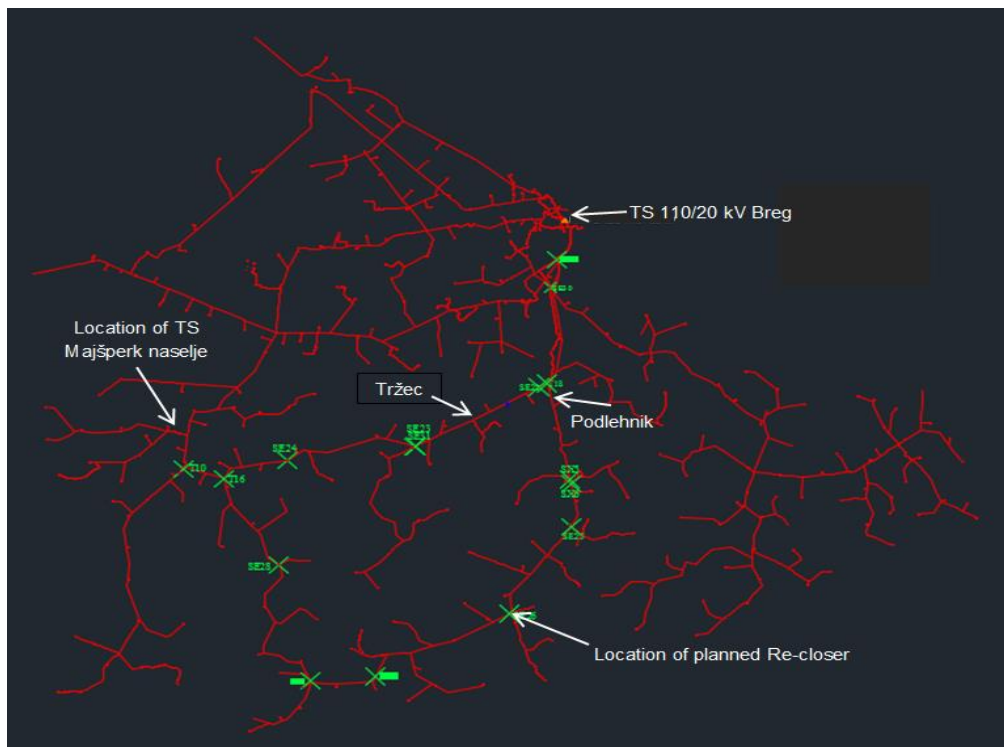
Implementacija v realnem omrežju bo prinesla nujne izkušnje, potrebne za optimizacijo delovanja in razvoja omrežja. Podredni cilj pa je prikaz funkcionalnosti FDIR (lociranje in izolacija okvare ter ponovna vzpostavitev napajanja), ki lahko znatno poveča neprekinjenost oskrbe z električno energijo. Vse omenjeno je združeno v del projekta NEDO pod kratico DMS. Projekt NEDO pa se s tem še ne konča. Za optimizacijo konične moči (tudi kot novo poslovno priložnost) projekt NEDO vključuje tudi segment aktivnega vključevanja bremen oziroma izravnavo konic oziroma prilagajanje odjema (Demand Response). [1]

Širši cilj v okviru segmenta aktivnega vključevanja odjema je vzpostaviti platformo za fleksibilen odjem, ki bo omogočala pregledno in nediskriminatorno aktivno vključevanje odjemalcev v sistem. Platforma bo povezana z ostalimi distribucijskimi sistemi (merilni center, DMS itd.) in s prenosnimi sistemi (napoved porabe, SCADA, EMS), s čimer se bo zagotovilo, da si posamezni ukrepi v omrežju ne bodo nasprotujoči in ne bodo imeli medsebojnih kolizij. Celotno platformo za aktivno vključevanje odjema sestavlja vrsta sistemov, ki so medsebojno povezani s standardiziranimi protokoli izmenjave podatkov. Pilotni projekt, v okviru katerega se bo preizkusil mehanizem kritične konične tarife, pokriva eno izmed možnosti vključevanja aktivnega odjema, ki je osredotočena na distribucijsko omrežje. Ključna je sinergija z ostalimi sistemi vključevanja aktivnega odjema, ki bodo vzpostavljeni v okviru projekta NEDO s ciljem optimizacije stroškov vključevanja aktivnega odjema v delovanje elektroenergetskega sistema.

4 DMS –avtomatsko lociranje in izolacija okvare in ponovna vzpostavitev napajanja

Kot je že bilo omenjeno, FDIR pomeni avtomatsko lociranje okvare, njeno izolacijo in vzpostavitev napajanja neokvarjenih delov (sektorjev) omrežja.

Na območju Elektra Maribor bo v okviru segmenta DMS nameščenih 16 daljinsko vodenih stikal na trasi dveh 20 kV daljnovodov, ki imata stično točko. S takšno konfiguracijo bo na obeh daljnovodih ustvarjenih 17 sektorjev, ki se jih bo lahko v primeru okvare osamilo (izoliralo). Tako bo hkrati omogočena izvedba ponovnega napajanja vseh neokvarjenih sektorjev.



Slika 12.3 Geografski prikaz lokacij daljinsko vodenih stikal

Vsako stikalo bo imelo meritev napetosti na obeh straneh, standardni nabor zaščit in avtomatski ponovni vklop. V povezavi s programskim orodjem DMS bo tako omogočena izvedba in testiranje funkcionalnosti Lociranja okvare in ponovne vzpostavitve napajanja (FDIR), ki samodejno določi sektor, na katerem je okvara. V nadaljevanju ta sektor izolira in nato samodejno izvede stikalne manipulacije za ponovno vzpostavitev napajanja ostalih sektorjev.

5 DMS – koordinirana regulacija napetosti

Po vsem svetu skokovito narašča število inštaliranih razpršenih proizvodnih virov (RV). Priključujejo se tako v srednje napetostno (SN) kot nizko napetostno (NN) omrežje. V Evropi in Sloveniji je ta skokovit narast povezan tudi s podpornimi shemami in subvencijami za t. i. zeleno energijo ozir. obnovljive vire kot je npr. fotovoltaični sistem.

Nizko napetostno omrežje v splošnem ni (bilo) grajeno za masovno vključevanje razpršenih virov. V veliki večini primerov je bilo le to projektirano in grajeno za distribucijo energije do končnih uporabnikov. Omenjeno pomeni, da je maksimalen padec napetosti v vseh priključnih točkah uporabnikov izračunan in predviden v naprej kar posledično pomeni, da je najvišji v najbolj oddaljenih točkah omrežja. Z vključitvijo razpršenih virov se vse to lahko spremeni in v skrajnih primerih privede do zrcalne slike napetostnih razmer v omrežju brez inštaliranega razpršenega vira torej, da napetost narašča od začetka izvoda proti koncu (RV). Razpršeni vir z injektiranjem delovne moči v omrežje namreč dviguje napetost v točki priklopa.

Kvaliteto električne napetosti predpisuje standard EN 50160. Če se omejimo zgolj na amplitudo napetosti mora le ta biti v pasu $\pm 10\%$ nazivne napetosti, ki znaša 400 V medfazno in 230 V med fazo in nevtralno točko. [6]

Porabniki v omrežju za svoje delovanje potrebujejo delovno energijo, nekateri pa za delovanje potrebujejo tudi jalovo energijo. Električna energija za porabnike se generira in prenaša preko

visokonapetostnega in srednje napetostnega omrežja, generira pa se tudi v nizkonapetostnem omrežju samem. Pretok energije teče preko različnih elementov elektro energetskega omrežja. Daljša kot je ta pot več elementov je v tem toku, posledično so višje izgube. Idealno bi bilo, če se električna generira kar najbližje porabnika. To je torej glavni vzrok, da so razpršeni viri zaželeni v NN omrežju.

Pri obratovanju razpršenih virov pa se pojavlja problem upravljanja jalove energije razpršenih virov. Razpršeni vir namreč lahko proizvaja ravno dovolj delovne energije za bremena v NN omrežju vendar pri svojem obratovanju zase potrebuje jalovo energijo, ki se pretaka k njemu iz višjih napetostnih nivojev. Lahko tudi proizvaja dovolj delovne energije za bremena, jalove pa ne proizvaja in se posledično le ta do bremen prenaša iz višjih napetostnih nivojev. Lahko pa proizvaja ravno dovolj delovne in jalove energije za bremena v NN omrežju, kar je iz vidika izgub idealno stanje. Z upoštevanjem dejstva, da so izgube zaradi pretoka delovne energije v NN omrežju za faktor cca. 2 višje kot v SN omrežju po drugi strani pa so izgube zaradi pretoka jalove energije v SN omrežju za faktor cca.15 višje kot v NN omrežju je logičen zaključek, da bi se morala jalova energija generirati v NN omrežju. Omenjena razmerja so posledica razmerja X/R , ki je v SN omrežju mnogo višji kot v NN omrežju. [5]

Proizvodnja jalove energije razpršenih virov v NN omrežju (poleg delovne), v NN omrežju tudi zmanjša izgube zaradi pretoka delovne moči in posledično povzroči dvig napetosti v omrežju. Pri previsoki proizvodnji jalove energije pa bi lahko napetost v NN omrežju narasla izven dovoljenih mej.

V Evropski uniji je edini standard (EN 507438), ki predpisuje priključevanje mikro generatorjev (do 16 A po fazi) v NN omrežje, ki dovoljuje obratovanje v območju faktorja moči generatorja med 0,95 (prevzbujan) in 0,95 (podvzbujan, tudi -0,95). Za vire, ki so močnejši skupnega predpisa ni. Različni nacionalni predpisi kot npr.: Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn inštalirane električne moči do 10 MW", SODO d.o.o., 2010; [7] standardu v različni meri sledijo, pri čemer pa že predpisujejo proizvodnjo jalove energije tudi za najmanjše enote.

Omenjeno privede do zaključka, da je dobro razpršenim virom "dovoliti" poleg proizvodnje delovne energije v NN omrežje injektirati tudi nekaj jalove energije. Omenjeno namreč močno zniža izgube, zaradi prevladujočega ohmskega značaja NN omrežja ($R \gg X$) pa je vpliv na dvig napetosti relativno majhen. Edina omejitev je število takšnih naprav. Zaradi tega se v nekaterih evropskih državah že pojavljajo težnje, da bi razpršeni vir pri polni proizvodnji delovne energije porabil še več jalove energije in s tem omogočil vključitev večjega števila razpršenih virov.

Koordinirana regulacija napetosti se bo v projektu Nedo testirala v distribucijskem omrežju, napajanjem iz ene RTP. V omrežje se bo vgradilo dodatne aktivne elemente – SN/NN regulacijske transformatorje. Cilj je izboljšati regulacijo napetosti na NN-nivoju z upoštevanjem prispevka SN/NN regulacijskega transformatorja. Pomemben cilj projekta je tudi oceniti potencialne težave pri interakciji med VN/SN regulacijskim transformatorjem in SN/NN regulacijskim transformatorjem.

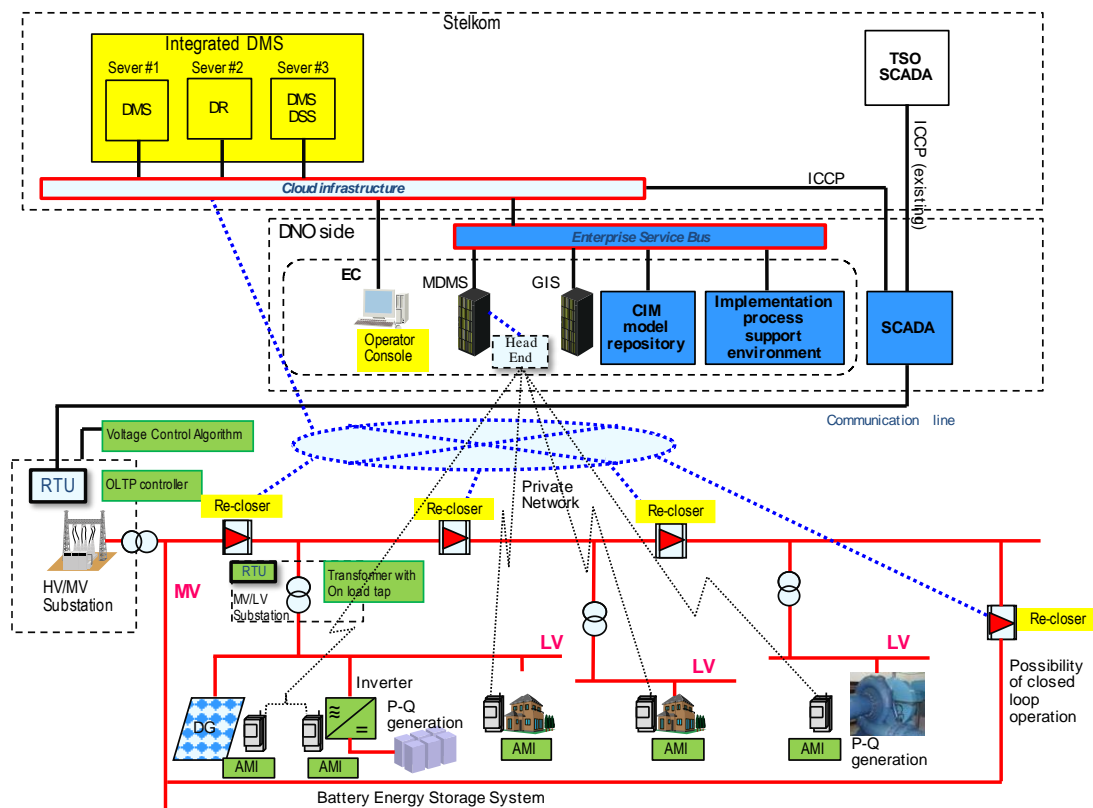
V okviru aktivnosti se bo analiziralo in primerjalo naslednje principe regulacije napetosti:

- Klasičen pristop: regulacija napetosti s pomočjo VN/SN regulacijskega transformatorja (meritve napetosti v eni točki).

- Regulacija napetosti v NN-omrežju s pomočjo SN/NN regulacijskega transformatorja: regulacija napetosti v NN-omrežju s pomočjo regulacijskega transformatorja (več merjenih točk v omrežju).
- Koordinirana regulacija napetosti: koordinirano vodenje VN/SN regulacijskega transformatorja in SN/NN regulacijskih transformatorjev.

Sistem regulacije napetosti bo implementiran na dveh nivojih:

- Hitachijev sistem Integrated DMS ponuja pregled nad celotnim distribucijskim omrežjem in omogoča optimizacijo delovanja omrežja.
- Lokalni sistem regulacije napetosti na SN-nivoju se uporablja v razmerah, ko je prekinjena komunikacija z integriranim DMS-sistemom.
- Za potrebe meritev napetosti bo v SN- in NN-omrežju na različnih točkah nameščenih 70 meritev napetosti, ki se bodo prenašale v DMS.



Slika 12.4 Shema projekta NEDO

6 Glavni izziv projekta

Glavni izziv projekta bo dodatno predvsem integrirati različne informacijske sisteme v skladu z arhitekturnim modelom evropskih pametnih omrežij.

Razviti in raziskati bo treba napredne pristope systemske integracije in semantičnih mrež, ki bodo omogočale integracijo obstoječih (MDMS, SCADA, CIM) z v projektu vpeljanimi (integriran DMS, DRCS) z uporabo oblčne storitve, kot je nakazano na zgornji sliki. S takšnimi pristopi pa so podani temelji in stične točke tudi za ostale storitve kot npr. EMS (Energy management system), Peak Shaving (upravljanje konic), DR (aktivno vodenje bremen) in aktivno vključevanje ter vodenje proizvodnje iz obnovljivih virov.

Literatura

- [1] Pametne skupnosti in pametna omrežja, študija izvedljivosti, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, junij 2015
- [2] https://www.researchgate.net/figure/271266299_fig3_Fig-4-CENCENELECETSI-Smart-Grid-Architecture-Model-43
- [3] Master document; EM Scope of Activities; Hitachi / Elektro Maribor, d. d., marec 2017
- [4] Master document, EM Specification, Hitachi/Elektro Maribor, d. d., marec 2017
- [5] Comparison of Reactive Power Regulation Concepts od Distributed Generators in the Low Voltage Network, D Matvoz, M. Maksić, EIMV, 2011
- [6] EN 50160 Standard, Voltage characteristic in public distribution networks
- [7] Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn inštalirane električne moči do 10MW, SODO d.o.o., 2011