

## **KONCEPT IN REŠITVE NADZORA V DISTRIBUCIJSKEM OMREŽJU NA RAVNI TP**

Peter Ceferin<sup>1</sup>, Bojan Likar<sup>2</sup>, Samo Ceferin<sup>2</sup>, dr. Zvonko Toroš<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Smart Com, d.o.o, Brnčičeva ulica 45, Ljubljana

<sup>2</sup> Kolektor Sinabit, d.o.o, Puchova ulica 1, Radomlje

<sup>3</sup> Elektro primorska, d.d., Erjavčeva ulica 22, Nova Gorica

[peter.ceferin@smart-com.si](mailto:peter.ceferin@smart-com.si)<sup>1</sup>, [bojan.likar@kolektorsinabit.si](mailto:bojan.likar@kolektorsinabit.si)<sup>2</sup>, [samo.ceferin@kolektorsinabit.si](mailto:samo.ceferin@kolektorsinabit.si)<sup>2</sup>, [zvonko.toros@elektro-primorska.si](mailto:zvonko.toros@elektro-primorska.si)<sup>3</sup>

**Povzetek** – Obratovanje distribucijskih omrežij se je v tehnološkem smislu pričelo močno spreminjati z uvajanjem distribuiranih elektroenergetskih virov, še večje spremembe pa se bodo dogajale v prihodnosti z uvajanjem novih tehnologij kot so npr. električna vozila. Današnje stanje komunikacijskih in informacijskih tehnologij omogoča celovit in učinkovit nadzor in vodenje sistemov v distribucijskih omrežjih. TP postaje, katere porast aplikacij t.i. pametnih omrežij postavlja kot najbolj primerne točke za vgradnjo tovrstnih sistemov zahtevajo ustrezne rešitve, s katerimi se zagotovi čimbolj učinkovit nadzor obratovalnih parametrov, kot tudi merjenja kakovosti ali drugih parametrov. Članek obravnava tak pristop z uvajanjem treh ključnih elementov: univerzalne točke zajema na TP postaji, koncepta poenotenih komunikacijskih povezav ter agregacijske strežniške platforme za shranjevanje podatkov in povezovanjem z obstoječimi sistemi vodenja elektrodistribucijskega podjetja na osnovi standardnih protokolov.

## **CONCEPT AND SOLUTIONS FOR THE INTEGRATION OF MV/LV SUBSTATIONS INTO DS**

Peter Ceferin<sup>1</sup>, Bojan Likar<sup>2</sup>, Samo Ceferin<sup>2</sup>, dr. Zvonko Toroš<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Smart Com, d.o.o, Brnčičeva ulica 45, Ljubljana

<sup>2</sup> Kolektor Sinabit, d.o.o, Puchova ulica 1, Radomlje

<sup>3</sup> Elektro Primorska, d.d., Erjavčeva ulica 22, Nova Gorica

[peter.ceferin@smart-com.si](mailto:peter.ceferin@smart-com.si)<sup>1</sup>, [bojan.likar@kolektorsinabit.si](mailto:bojan.likar@kolektorsinabit.si)<sup>2</sup>, [samo.ceferin@kolektorsinabit.si](mailto:samo.ceferin@kolektorsinabit.si)<sup>2</sup>, [zvonko.toros@elektro-primorska.si](mailto:zvonko.toros@elektro-primorska.si)<sup>3</sup>

**Abstract** – *The operation of the power distribution networks is experiencing large changes, due to implementation of distributed energy resources along the existing power utility infrastructure, changing the energy flow in such networks from unidirectional to bidirectional. The electrical vehicles will bring even additional requirements to the distribution system operators to develop the smart networks to the further instances like MV/LV transformer substations. The DSO's already operate and maintain a large number and mature technologies to control and measure required parameters on the level of MV substations with developed ICT infrastructure and applications. The article describes the concept and solutions for integration the MV/LV substations with the existing DSO's ICT infrastructure deploying the systematic approach and consisting of three main building blocks: universal MV/LV substation RTU, unified and secure communication infrastructure between MV/LV substation and central site and central aggregation server infrastructure.*

## I. UVOD

Razvoj različnih sistemov v elektrodistribucijskih podjetjih, ki jih v zadnjem času zaznamuje oznaka pametna omrežja ima tudi v slovenskih elektrodistribucijskih omrežjih že kar dolgo zgodovino. Srednjenapetostna raven z objekti RTP in RP je opremljena z visoko stopnjo avtomatizacije, vključno z izvajanjem vodenja elektrodistribucijskega omrežja, spremljanja obratovalnih parametrov, števnih meritev, meritev in vrednotenja zanesljivosti oskrbe ter kakovosti električne energije. Temu je sledil tudi razvoj informacijskih in komunikacijskih sistemov, ki omogočajo ustrezno povezljivost oddaljenih objektov do centrov vodenja ter informacijsko podporo z različnimi programskimi rešitvami. Priča pa smo pojavu novih izzivov, ki jih bo potrebno sistematsko reševati pri vključevanju naslednjih dveh pomembnih gradnikov elektrodistribucijskih podjetij – TP postaj na ravni SN/NN omrežja in končnih odjemalcev. Razvoj in uvajanje različnih podsistemov na raven TP postaj – od koncentradorjev AMI/AMM, merilnikov kakovosti električne napetosti, potreb po spremljanju parametrov obratovanja ter vodenju in krmiljenju posameznih sklopov TP postaj odpirajo nove izzive – tako v organizacijskem kot tehnološko-razvojnem smislu. IKT sistemi omogočajo elektrodistribucijskim podjetjem razvoj pametnih omrežij – uvedbo sistemov naprednih merenj AMI/AMM v večjem obsegu, merjenja in upravljanje s kakovostjo električne energije, vključevanje razpršenih virov in usklajevanje proizvodnje ter porabe v DSM sistemih in podporo razvoja električnih vozil z zeleno vlogo porabnikov in razpršenih virov obenem.

Avtorji članka smo ob spremljanju in ugotavljanju učinkov dosedanjega uvajanja inteligentnih sistemov na raven TP postaj zaznali potrebo po sistematski obravnavi vključevanja TP postaj v koncept pametnih omrežij. Izzivi, ki jih prinaša uvajanje novih funkcij, potrebnih za razvoj elektrodistribucijskih omrežij v določeni fazi niso bili več optimalni z enakim načinom razmišljanja kot dosedaj. Preseganje okvira parcialnih pogledov uvajanja in razvoja posameznih podsistemov, ne glede na ostale je bilo posebej izrazito z vidika na ravni zajema, telekomunikacij, agregacije, obdelave podatkov iz različnih inteligentnih podsistemov ter vključevanja v obstoječe sisteme v elektrodistribucijskih podjetjih. Potreben je bil razmislek ter zastaviti koncept, ki bo dolgoročno omogočal vključevanje novih funkcij na eni strani ter obvladovanje večjega števila TP-jev. Le-to je po elektrodistribucijskih podjetjih različno, vendar je v splošnem potrebno upoštevati faktor množičnosti, ki presega dosedanje zajemanje podatkov iz omejenega števila TP postaj. V perspektivi je potrebno upoštevati število obstoječih TP postaj v elektrodistribucijskem podjetju, z razvojem elektrodistribucijskega omrežja pa tudi vse nove TP postaje.

Poseben poudarek pri snovanju konceptov in posledično rešitev vključevanja TP postaj v sisteme elektrodistribucijskega podjetja je spričo množičnosti potrebno posvetiti obvladovanju stroškov tako v fazi investicije, kot kasneje v fazi obratovanja sistemov. Zato morajo rešitve že v sami zasnovi upoštevati čimbolj optimalno izrabo rešitev, tehnologij in integracije le-teh v celovito sliko.

## II. KONCEPT POVEZOVANJA TP POSTAJ

Potrebe po obvladovanju elektrodistribucijskega omrežja do ravni TP postaj so vodile do vgradnje različnih inteligentnih naprav, ki opravljajo različne funkcije v elektrodistribucijskem omrežju: koncentradorjev AMI/AMM, analizatorjev za merjenje parametrov kakovosti električne napetosti, naprave in tipala za zajem parametrov, ki dajejo podatke za vrednotenje zanesljivosti oskrbe. Priča smo tudi čedalje večjim potrebam po spremljanju obratovalnih parametrov in potrebam po vključevanju TP postaj v sisteme vodenja elektrodistribucijskih podjetij. Rast števila razpršenih virov postavlja pred vsako elektrodistribucijsko podjetje izziv glede obvladovanja le-teh in njihovega vključevanja v elektrodistribucijsko omrežje, za kar bodo poskrbeli ustrezni sistemi DSM, ki pa bodo morali zopet izmenjevati podatke z merilnimi sistemi na TP postajah.

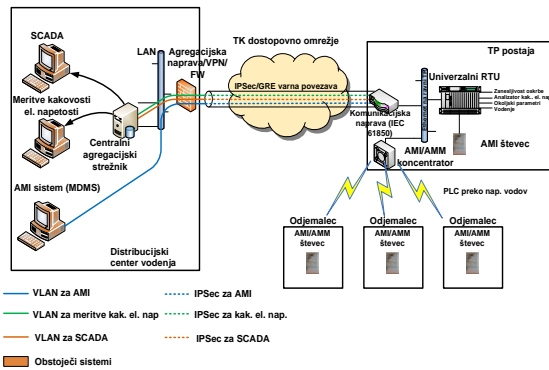
Vgrajevanje različnih podsistemov običajno poteka medsebojno neodvisno, kar vodi v določene neoptimalnosti, predvsem z vidika uporabe IKT virov, medtem, ko sami podsistemi služijo različnim oddelkom ali sektorjem v elektrodistribucijskem podjetju. Potrebno je zasnovati koncept, ki bo omogočil odprto, prilagodljivo, zanesljivo, varno in skalabilno rešitev vključevanja TP postaj v infrastrukturo pametnih omrežij elektrodistribucijskih podjetij.

Slika 1 prikazuje zasnovano koncepta, ki daje odgovore na predhodno zaznana in našeta vprašanja, ki se porajajo pri vključevanju TP postaj v informacijsko-komunikacijske sisteme v elektrodistribucijskih podjetjih. Ključni segmenti predstavljenega koncepta, ki ga lahko označimo kot koncept integriranega vključevanja uporabnikov na ravni TP postaj v začetni fazi (zaradi univerzalne zasnove sistema je omogočen razvoj sistema, ki bo prepuščen prihodnjim fazam) so tako:

- univerzalna RTU naprava, prilagojena za vgradnjo in zbiranje podatkov na ravni TP postaje
- telekomunikacijski podsistem, katerega ključna naloga je poenotenje vseh komunikacijskih potreb TP postaje ter zanesljiva in varna izmenjava podatkov s sistemi v centru, kjer se podatki razdružijo in predajajo ustreznim

uporabnikom (npr. merilnemu centru, distribucijskemu centru vodenja, itd).

- centralni agregacijski strežnik za zbiranje podatkov s strani TP postaj ter ustreznimi vmesniki za povezovanje z obstoječimi sistemi (npr. DCV) ali posredovanje podatkov novim sistemom.



Slika 1: Koncept vključevanja TP postaj v elektrodistribucijskem podjetju

### III. UNIVERZALNI RTU

Na ravni VN/SN RTP postaj elektrodistribucijskega omrežja so že izvedene ustrezne funkcije in rešitve daljinskega nadzora in vodenja, spremljanja obratovalnih parametrov omrežja in meritev ter vrednotenja kakovosti električne energije - zanesljivost oskrbe (SAIDI, SAIFI parametri), kakovosti napetosti (skladno s standardom SIST EN 50160) in komercialne kakovosti, medtem ko so na ravni SN/NN TP postaj pretežno implementirane segmentne rešitve, ki zagotavljajo delno funkcionalno pokritost za določeno področje (AMI/AMR, vodenje, spremljanje kakovosti električne napetosti, ipd). Komunikacijska povezljivost in informacijska podpora posameznim funkcijam ter rešitvam sta različni, od samostojno delujočih naprav brez komunikacijske povezljivosti z opsijskimi lokalnimi uporabniškimi vmesniki, preko naprav z digitalnimi in analognimi lokalnimi električnimi signalnimi vmesniki in/ali komunikacijskimi vmesniki (serijski, Ethernet, ipd), do rešitev z namenskimi komunikacijskimi rešitvami in povezljivostjo do centralne lokacije in namenskimi informacijskimi rešitvami. Uporaba slednjih, ki jih zagotavljajo različni proizvajalci pogosto vodi k podvajanju ali celo večjemu številu vzporednih komunikacijskih povezav do centralne lokacije in posledično do neoptimalnih investicijskih in obratovalnih stroškov vzpostavljene infrastrukture na številčno obsežni ravni SN/NN TP postaj. Rešitev univerzalne RTU enote presega naštetje pomanjkljivosti s konceptom modularne izvedbe signalnega zajema in vodenja različnih naprav (stikalna, zaščitna, merilna oprema,

ipd.) na posamezni TP postaji. S takšnim načinom lahko v skladu s potrebami in zahtevami prilagajamo in poenotimo zbiranje podatkov preko različnih električnih signalnih oziroma komunikacijskih vmesnikov, izvedemo lokalno agregacijo in preko poenotene prenosa podatkov z različnih naprav do centralnega agregacijskega strežnika na centralni lokaciji vzpostavimo zahtevane funkcije nadzora posamezne TP postaje. Obratno, z enakim načinom omogočimo posredovanje ukazov sistemov centralne lokacije do TP postaj preko enovite komunikacijske rešitve posameznim podsistemom na TP postaji. Rešitev omogoča potrebam in zahtevam prilagojeno, enovito in nadgradljivo implementacijo različnih funkcij potrebnih za vključevanje TP postaj v elektrodistribucijskih omrežjih v pametna omrežja.

### IV. TELEKOMUNIKACIJSKI PODSISTEM

Elektrodistribucijska podjetja so z vzpostavitvijo optičnih ter deloma radijskih prenosnih sistemov do ravni RTP in RP postaj razvila lastna telekomunikacijska omrežja, ki zagotavljajo visoko zanesljive in varne TK storitve. Tako so na tej ravni vzpostavljene različne tehnološke rešitve telekomunikacijskih sistemov, ki so zagotovile vključevanje RTP in RP postaj v sisteme vodenja - DCV, različne merilne podsisteme ter uvajanja naprednih funkcionalnosti, podprtih z ustreznimi aplikativnimi rešitvami. Situacija glede povezljivosti preko telekomunikacijskih medijev ter omrežij na ravni TP postaj pa je popolnoma drugačna, saj je le majhen delež TP postaj povezan preko optičnih povezav, kar zahteva uvajanje drugačnih principov glede njihovega povezovanja.

TP postaje so bile seveda predmet vgradnje različnih sistemov, ki so zahtevali povezljivost do centralnih aplikacij že v preteklosti, pri čemer so glavne ugotovitve, ki kažejo na potrebo po uvedbi sistematskega pristopa in poenotenja komunikacijskih povezav naslednje:

- Pri povezovanju TP postaj večinoma prihaja do izrabe povezav preko mobilnih telekomunikacijskih omrežij ponudnikov storitev z izrabo GPRS/EDGE tehnologij, v nekaterih primerih pa še vedno modemske komunikacije bodisi preko GSM omrežja ali javnega telefonskega omrežja z analognimi ali ISDN linijami.
- Upravljanje z nekaterimi parametri, kot je npr. IP naslovni prostor je v dosedanjem stanju oteženo, vsaka inteligentna naprava pa za vključevanje v IKT sistem potrebuje unikatni naslov IP. Najpogosteje pride do težav pri usklajevanju IP naslovnega prostora in ponudnikovih (npr.

- GPRS) zahtev glede naslavljanja IP, ki ni nujno najoptimalnejši za elektrodistribucijsko podjetje.
- Potek uvajanja različnih sistemov na raven TP postaj dosedaj z vidika telekomunikacijskih storitev ni upošteval optimalne vloge TK sistemov v tem procesu. V elektrodistribucijskih omrežjih v praksi to pomeni, da različni sistemi na ravni TP postaj (npr. AMI/AMM, meritve kakovosti, vodenje) uporabljajo ločene komunikacijske poti (npr. več GPRS enot oz. SIM kartic na eno TP postajo). Dodatno ni vzpostavljenih jasnih meril, katera komunikacijska tehnološka rešitev je najprimernejša, da se zagotovijo parametri, ki jih narekujejo uporabniki TK storitev.
  - Varnost komunikacijskih povezav v pametnih omrežjih predstavlja enega od pomembnejših segmentov, saj informacije, ki se pretakajo med TP postajami in aplikacijami v centru (npr. za DCV ali AMI) ne smejo biti dosegljive komurkoli, pri tem pa ostaja dejstvo, da so in bodo uporabljana tudi telekomunikacijska omrežja, ki niso v lasti elektrodistribucijskih podjetij. V takem primeru ob neustreznem varovanju podatkov obstaja nevarnost varnostnih incidentov, kar pa je potrebno preprečiti v največji možni meri in že v fazi snovanja rešitev.
  - Nizka stopnja izrabe in integracije z obstoječimi elektrodistribucijskimi TK omrežji za potrebe povezovanja TP postaj odpira možnosti izboljšav in s tem prihranke pri uvajanju infrastrukture pametnih omrežij.

Našeta dejstva so pri povezovanju TP postaj sprejemljiva le do določene mere, ko pa se potrebe po različnih sistemih na ravni TP postaj na eni strani in število TP postaj na raven nekaj sto ali celo nekaj tisoč na drugi strani povečujejo je potrebno zasnovati in uvesti drugačen koncept telekomunikacijskih povezav. Osnovne zahteve so tako:

- Informacijske tokove na TP-jih je potrebno združiti v enotno komunikacijsko pot. OSI model opredeljuje sedem slojno arhitekturo IKT sistemov, pri čemer se štejejo spodnji trije sloji (fizični, povezovalni in omrežni sloj) kot popolnoma komunikacijski sloji, medtem, ko višji sloji, vključno s sedmim sodijo v IT segment. Pri tem komunikacijski sloji opravljajo vlogo integratorja različnim aplikativnim rešitvam, zato je v telekomunikacijski industriji vedno težnja k poenotenju oz. konvergenci na komunikacijski ravni, kar omogoča optimalno arhitekturo, ob uporabi tehnoloških rešitev, ki se najbolje prilagajajo zahtevam uporabnikov in različnih aplikacij.
- Osnovna protokola zaradi narave uporabniških sistemov v pametnih omrežjih sta Ethernet, kot fizični vmesnik (v ustreznih variantah) in kot

protokol sloja 2 ter IP kot protokol pri vključevanju uporabnikov in aplikacij v komunikacijsko infrastrukturo.

- Zagotavljanje primernih pogojev za različne podsisteme na TP-jih, ki zahtevajo izmenjavo podatkovnih tokov s centralno aplikacijo opišemo z opredelitvijo ustreznih vrednosti naslednjih parametrov v komunikacijskih omrežjih:
    - pasovna širina;
    - razpoložljivost TK storitve;
    - zakasnitve in stresanje zakasnitev (jitter);
    - prioritizacija posameznih informacijskih pretokov;
- Našeti parametri so pomembni zaradi zagotavljanja ustreznih pogojev pri povezovanju. Njihove vrednosti so odraz zahtev posameznih aplikacij, ki zahtevajo povezljivost med centralno lokacijo in oddaljeno TP postajo. Pri tem je potrebno na podlagi potreb na TP postaji analizirati ter ustrezno opredeliti parametre, ki bodo omogočili optimalne pogoje za zagotavljanje vseh storitev, ki so zahtevane za TP postajo.
- Zagotoviti je potrebno mehanizme za upravljanje s komunikacijsko infrastrukturo, saj le to vpliva na obvladovanje sistema in razpoložljivost TK storitev.
  - Uporaba standardiziranih protokolov in tehnologij je potrebna zaradi zagotavljanja medsebojne skladnosti med različnimi podsistemi, poleg tega pa elektrodistribucijskemu podjetju omogoča odprtost pri razvoju infrastrukture pametnih omrežij.
  - Zagotovitev mehanizmov varnosti TK storitev od izvora do ponora informacijskega pretoka je ključnega pomena, saj le na tak način zagotovimo celovito varovanje informacijskih pretokov med TP postajami in centrom.

Našeta izhodišča in usmeritve se odražajo na arhitekturnem modelu telekomunikacijskega omrežja, ki upošteva vključevanje TP postaj preko t.i. dostopovnih omrežij in ga prikazuje slika 2. TK omrežje je zgrajeno iz treh hierarhičnih slojev:

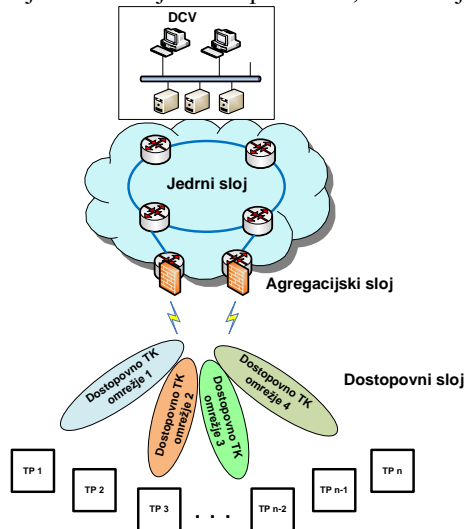
- Jedrni sloj;
- Agregacijski sloj;
- Dostopovni sloj.

1) Jedrni sloj predstavlja že zgrajena TK infrastruktura elektrodistribucijskega omrežja pri čemer obstajajo različne tehnološke rešitve.

Večinoma so se v jedrnih omrežjih elektrodistribucijskih podjetij uveljavila TK omrežja na osnovi Ethernet/IP tehnologij:

Omrežja Ethernet, ki vsebujejo večslojna stikala, medsebojno povezana preko Gigabitnih Ethernet

optičnih spojnih vodov. Osnovna oblika TK storitev v tovrstnih omrežjih je VLAN, preko katerega se prenašajo informacije med uporabniki, ki so vključeni



Slika 2: Arhitekturni model telekomunikacijskega omrežja z vključevanjem TP postaj

v to obliko virtualnega omrežja. Zaradi večje skalabilnosti so v nekaterih primerih uporabljeni VMAN mehanizmi (na osnovi IEEE 802.1ad standarda, znanega tudi pod imenom QinQ), kar je potrebno v kolikor uporabniki sami določajo parametre oznak VLAN-ov, saj se s tem ukine pogostokrat zamudno usklajevanje oznak med upravljavcem TK omrežja in uporabnikom

- Omrežja na osnovi IP/MPLS tehnologije, ki vsebujejo usmerjevalnike in stikala, povezana preko Gigabitnih Ethernet optičnih spojnih vodov. Osnovna oblika TK storitev v tovrstnih omrežjih se razširi na tri oblike povezovanja uporabnikov: VLL (virtualna povezava točka-točka), VPLS (virtualna povezava točka – več točk) in VPRS (virtualna povezava usmerjevalnega sloja). Gre za tehnologijo, ki je bolj fleksibilna, kot običajna struktura na osnovi stikal, vendar na drugi strani tudi dražja.

Poleg teh dveh vrst omrežij so v uporabi tudi omrežja TDM, kjer je možno z izrabo tehnologije NG SDH zagotoviti povezljivost Gigabit Ethernet in posledično uvajanje obeh vrst Ethernet/IP jedrnih omrežij, naštetih predhodno. NG SDH omrežja se sicer z razvojem optičnih transportnih sistemov umikajo učinkovitejšim in cenejšim tehnologijam OTN preko xWDM.

- 2) Agregacijski sloj je namenjen vključevanju končnih točk – TP postaj v jedrno omrežje, preko katerega se prometni tokovi zaključijo v centru, kjer so nameščeni aplikacijski sistemi, ki izmenjujejo informacije s podsistemi na TP postajah. Ključna naloga agregacijskega sloja je

izvedena v smislu VPN konceptorjev, kjer se zaključujejo komunikacijski kanali (tuneli) iz TP postaj. VPN konceptor hkrati opravlja vlogo požarne pregrade, kjer se izvedejo vsi potrebni in z varnostno politiko podjetja predpisani postopki, ki omogočajo varen prehod in izmenjavo informacijskih tokov med izvorom in ponorom informacij (aplikacija in naprava na TP postaji). Med požarno pregrado (VPN konceptorjem) in komunikacijsko napravo na TP postaji je vzpostavljena varna povezava, ki je realizirana s standardiziranim varnostnim mehanizmom IPSec (obstajajo tudi drugi protokoli, kot npr. GRE). IPSec tunel predstavlja nekakšen varnostni oklep, v katerega so oviti vsi podatki, ki se izmenjujejo med VPN konceptorjem in TP postajo, ne glede na vrsto dostopnega omrežja, ki je uporabljeno. Na ta način je zagotovljena celovita varnost prometnih tokov, tudi v primeru, ko se za povezovanje TP postaj uporabi TK omrežje ali del omrežja, ki je v tuji lasti.

- 3) Dostopni sloj TK omrežja predstavlja infrastrukturo, ki je potrebna za neposredno vključevanje TP postaj v TK sistem. V zatečenem stanju je v nasprotju z jedrnim slojem in agregacijskim ravno dostopni sloj tisti, ki v elektrodistribucijskih omrežjih še ni sistematsko opredeljen in realiziran. Če naj končni cilj ostane povezljivost večjega dela TP postaj zaradi potreb po realizaciji različnih funkcij pametnih omrežij (kot prva bo uvedba AMI/AMM) je nujno potrebno poiskati ustrezne rešitve, ki bodo omogočile povezljivost TP postaj. Z vidika tehnologije jih je že sedaj nekaj na voljo, predvsem pa je potrebno poiskati nove rešitve, ki jih na drugi strani naglo razvijajoče področje komunikacij pametnih omrežij ponuja in razvija. Glede na razpoložljivost komunikacijskega medija oz. TK omrežij dostopnega sloja se izkaže, da je smiselno uvesti t.i. hibridni model dostopnega sloja, kjer veljajo naslednja pravila:
  - Povezljivost TP postaje realiziramo preko telekomunikacijskega omrežja ali medija, ki je na konkretni TP postaji na voljo;
  - Z vidika aplikacij zahtevanih na TP postaji opredelimo parametre komunikacijskih povezav (pasovna širina, razpoložljivost, zakasnitve, prioritizacija) in preverimo izvedljivost preko TK omrežja, ki je na voljo. Vkolikor ni možno zagotoviti zahtevanih parametrov opredelimo alternativno rešitev.
  - Na TP postaji uvedemo enotno komunikacijsko napravo, ki mora biti namenska za vgradnjo v elektroenergetske objekte, skladna s standardom IEC 61850, ki najbolje definira zahteve komunikacijske opreme za tovrstna okolja. Komunikacijska

naprava opravlja vlogo združevanja podatkovnih tokov iz posameznih podsistemov (AMI/AMM koncentrador, univerzalni RTU) ter informacijske tokove posreduje preko varovane IPSec povezave do VPN konceptorja v agregacijskem sloju. Komunikacijska naprava (ang. gateway) mora zagotoviti univerzalnost, ne glede na TK omrežje dostopovnega sloja, ki je na voljo. Večina TK dostopovnih omrežij že ponuja Ethernet kot univerzalni vmesnik. Na strani komunikacijske naprave proti napravam na TP postaji mora biti omogočena uporaba različnih protokolov in vmesnikov, težnja pa je k uvedbi Etherneta v čimvečji meri. Univerzalni RTU zagotavlja poenotenje komunikacijskih povezav do omrežne naprave na ravni Etherneta, zaradi prilagodljivosti in zaščite investicij pa je potrebno omogočiti različne vmesnike in protokole na relaciji RTU – inteligentna naprava (npr. analizator kakovosti električne napetosti). Takšna zasnova dopušča visoko stopnjo fleksibilnosti, saj v določene sisteme, razen komunikacijske povezljivosti ni potrebno posegati. Primer je koncentrador AMI/AMM, ki ima tako vedno Ethernet vmesnik, ne glede na vrsto TK dostopovnega omrežja. Za prometne tokove na relaciji koncentrador – MDMS (merilni center) tako dosežemo ustrezne parametre glede varnosti, povezljivosti (ne glede na periodo izmenjave podatkov za AMI/AMM), poleg tega pa še en pomemben učinek - dolgoročno zaščito investicije na sistemu AMI/AMM. Vkolikor se namreč koncentrador povezuje neposredno v TK dostopovno omrežje (npr. preko GPRS) je le-ta izpostavljen spremembam in potencialni menjavi (to velja sicer za katerokoli napravo na ravni TP) – nadgradnjam glede na spremembe v TK dostopovnih omrežjih. Pričakovana življenjska doba sistema AMI je najmanj 15 let. Ker so spremembe v telekomunikacijski industriji precej hitreje je tudi pričakovati, da bo npr. GPRS v tem času bodisi nadgrajen ali zamenjan z neko drugo tehnologijo. Predstavljen model v takem primeru ne povzroča poseganja na sistem AMI/AMM, saj je z Ethernet povezavo med konceptorjem in komunikacijsko napravo zagotovljena neodvisnost od dostopovnega TK omrežja. Spremembe, ki bodo potencialno potrebne pa se izvajajo samo na eni točki v TP postaji – komunikacijski napravi. Tak način predstavlja bistveno poenostavitev in obvladovanje v fazi obratovanja vseh sistemov vključenih na TP postaji.

Razvoj dostopovnih omrežij ponuja kar nekaj možnosti za vzpostavitev komunikacijskih povezav do TP postaj. Tehnologije, primerne za uporabo v obstoječem stanju so naslednje:

- GPRS/EDGE z uporabo virtualnih omrežij na ravni mobilnega ponudnika storitev (APN);
- xDSL dostop preko bakrene parice in povezovanjem preko VPN omrežij fiksnih ponudnikov storitev;
- Dostop preko optični vlaken, v lasti elektrodistribucijskega podjetja;
- Širokopasovni brezžični dostop (BWA), ki je v lasti elektrodistribucijskega podjetja ali ponudnika storitev. Na voljo so različne rešitve brezžičnega dostopa, tako na licenčnem frekvenčnem pasu (kot npr. WiMax) ali nelicenčnem frekvenčnem pasu (kot npr. WiFi).

Za določanje primerne tehnološke rešitve za vključevanje TP postaj je potrebno naštetih tehnologij vrednotiti glede na njihove lastnosti in zahteve pri povezovanju TP postaj. Potrebno se je namreč zavedati prednosti in slabosti vsake od njih in se na njihovi podlagi ter zahtev konkretne TP postaje odločiti za uporabo optimalne rešitve. Tabela 1 prikazuje lastnosti naštetih tehnologij.

Dostopno omrežje	Razširjenost/potencial	Razpoložljivost	Pasovna širina	Zakasnitve	Varnost	Prioritizacija (QoS)	Standardizacija	Stroški
GPRS/EDGE	Široka, več ponudnikov	Nizka do srednja	nizka, <348 kbit/s	Visoke	Srednja	Nizka	Visoka	Nizki
xDSL	Široka v naseljih, več ponudnikov	Nizka do srednja	Visoka, do 10 Mbit/s	Srednje	Srednja	Srednja	Visoka	Nizki
Optični dostop	Omejena, v naseljih	Srednja do visoka	Zelo visoka, več 10 Gbit/s	Nizke	Visoka	Visoka	Visoka	Visoki
Brezžični širokopas. Dostop	Omejena, vendar hitro vzpostavljena	Srednja do visoka	Srednja do 1 Mbit/s	Nizke do srednje	Srednja	Srednja do visoka	Srednja	Srednji do visoki

Tabela 1: Lastnosti različnih dostopovnih tehnologij

## V. CENTRALNI AGREGACIJSKI STREŽNIK

Centralni agregacijski strežnik, ki je postavljen za agregacijskim slojem (VPN konceptorjem) zagotavlja funkcionalnosti prenosa in shranjevanja podatkov v centralno podatkovno bazo iz oddaljenih RTU enot na TP postajah, posredovanje ukazov za stanja naprav in podsistemov na TP postajah na oddaljene RTU enote in povezavo z obstoječimi sistemi elektrodistribucijskega podjetja. Zbrani podatki so preko ustreznih vmesnikov lahko distribuirani različnim službam in aplikacijam (npr. v distribucijski center vodenja, merilnim centrom za kakovost električne napetosti). Povezava agregacijskega strežnika s SCADA aplikacijo distribucijskega centra vodenja, kot eno izmed ključnih aplikacij elektrodistribucijskega podjetja je izvedena preko standardnega protokola IEC 60870-5-104, povezava je modularna in omogoča prenos zajetih podatkov s TP postaj o zanesljivosti oskrbe in obratovalnih parametroh v realnem času in v obratni

smeri posredovanje ukazov SCADA aplikacije do podsistemov na TP postaji.

## VI. PILOTNI PROJEKT – POTRDIŠTEV KONCEPTA IN REŠITEV

V predhodnem delu članka opisan koncept in rešitve nadzora elektrodistribucijskih TP postaj so bili preverjeni na pilotnem projektu, ki je bil izveden na vnaprej določenem vzorcu 6 TP postaj Elektro Primorske. TP postaje so bile izbrane na podlagi naslednjih kriterijev:

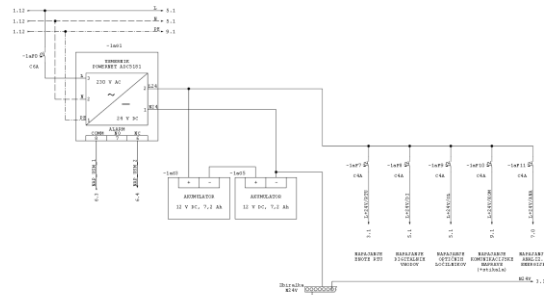
- razpoložljivost TK omrežja ali medija (optični dostop, GPRS, ADSL in brezžični širokopasovni dostop)
- vrste TP postaje glede na tipizacijo v podjetju Elektro Primorska (jamborska, zidana ali kabelska)
- Funkcionalnosti zahtevane na TP postajah (AMI, spremljanje zanesljivosti oskrbe, meritve kakovosti električne energije, vodenje, spremljanje obratovalnih parametrov)

Ob izvedbi pilotnega projekta je bila razvita tipizirana rešitev, ki omogoča postavitve ustreznega nabora sistemov po TP postajah glede na funkcijske zahteve in vrsto dostopovnega TK omrežja oz. medija. Slika 3 prikazuje postavitve načrtovane rešitve v tipizirano omarico v TP Almira.



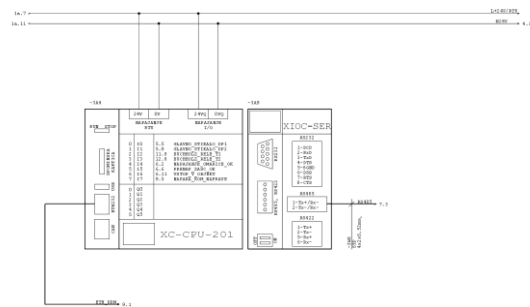
Slika 3: Postavitve sistema poenotene komunikacije ter univerzalne RTU naprave na TP Almira

Pri načrtovanju rešitev je bilo potrebno posvetiti pozornost zagotavljanju visoke razpoložljivosti sistema, pri čemer napajalni sistem v omarici predstavlja pomembno področje, saj mora biti izbrana optimalna vrednost napajalne napetosti za vse podsisteme, hkrati pa zanje zagotovljeno tudi brezprekinitveno napajanje. Blok shemo prikazuje slika 4.



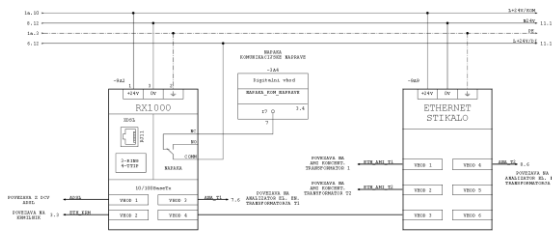
Slika 4: Blok shema brezprekinitvenega napajanja tipizirane rešitve na TP Almira

Na univerzalni RTU se priključujejo vsi podsistemi na ravni TP (analizator kakovosti električne napetosti, zajemanje stanja glavnih stikal, zajemanje digitalnih vhodnih signalov, Buchholz releji na transformatorju, kontrolniki faz za NN odvode). Univerzalni RTU tako zajema vse podatke, razen koncentracije AMI, ki je povezan neposredno preko komunikacijske naprave. Razmere prikazuje slika 5.



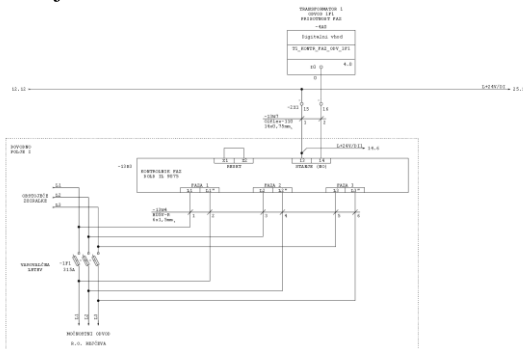
Slika 5: Blok shema univerzalne RTU na TP Almira

Komunikacijsko napravo predstavlja IP usmerjevalnik, ki integrira tudi funkcionalnosti požarne pregrade in VPN naprave ter je prilagojen za vgradnjo v elektroenergetske objekte, pri čemer je pomembna skladnost s standardom IEC 61850-3, ki opredeljuje okoljske pogoje komunikacijskih naprav v elektroenergetskih objektih – slika 6. Vsi vmesniki na usmerjevalniku so vrste Ethernet (tako WAN, kakor tudi LAN) – na ta način je zagotovljena univerzalnost, ne glede na TK dostopno omrežje. V primeru TP Almira je uporabljeno brezžično širokopasovno dostopno omrežje. Na TP postaji je postavljena zunanja antena, ki se povezuje na notranjo enoto, ki je nameščena v omarici, da zagotovimo brezprekinitveno napajanje tudi za ta podsistem. Vkolikor je na TP postaji potrebno zagotoviti dodatne Ethernet vmesnike dodamo ustrezno Ethernet stikalo, ki ga povežemo z usmerjevalnikom. Na pilotnem projektu je bilo poleg brezžičnega širokopasovnega dostopa preizkušeno tudi povezovanje preko GPRS omrežja, preko ADSL dostopovnega omrežja ter preko optičnega dostopovnega omrežja. Pri tem so se vsa omenjena omrežja izkazala kot primerna za zagotavljanje komunikacijskih povezav TP postaj.



Slika 6: Blok shema komunikacijskega sklopa na TP Almira

Zajemanje stanj na posameznih NN odvodih TP postaje je izvedeno preko kontrolnika faz. RTU zbira stanja na svojih digitalnih vhidih in jih posreduje agregacijskemu strežniku v centru, le-ta pa je preko razvitega protokolnega vmesnika IEC 60870-5-104 povezan z obstoječim sistemom v DCV Elektro Primorske. Razmere glede integracije kontrolnika faz prikazuje slika 7.



Slika 7: Blok shema vezave kontrolnika faz na enem od NN odvodov TP Almire

## VII. ZAKLJUČKI

Predstavljeni koncept in rešitve vključevanja TP postaj omogoča elektrodistribucijskemu podjetju zagotavljanje zahtevanih funkcij, ki se pojavljajo z razvojem pametnih omrežij in širjenjem le-teh na raven TP postaj. Na podlagi preverjanja koncepta na pilotskem projektu Elektro Primorske lahko zaključke strnemo v naslednje ugotovitve:

- razvita je sistemska rešitev, ki omogoča celovit pristop pri integraciji zahtevanih funkcionalnosti TP postaj z obstoječimi sistemi elektrodistribucijskega podjetja.
- vzpostavljen je način poenotenja TK povezav, ki hkrati zagotavlja pogoje za vse sisteme na TP postajah in hkrati zmanjša stroške glede na dosedanje parcialne pristope, ki poleg tega niso skalabilni, ko se število TP postaj povečuje. Vzpostavljen je tudi postopek za določanje vrste dostopnega omrežja in vrednotenja parametrov TK storitev.
- zagotovljena je varnost za vse informacijske tokove od izvora do ponora s standardiziranimi

protokoli, ne glede na vrsto dostopnega TK omrežja.

- uvedba koncepta univerzalnega RTU-ja zagotavlja fleksibilnost pri dodajanju novih funkcionalnosti v prihodnosti.
- uveden koncept olajša elektrodistribucijskemu podjetju zajem in pridobivanje zahtevanih podatkov s TP postaj v realnem času. Na ta način so ustvarjene razmere za nadaljnji razvoj analitskih in poročilnih sistemov.
- na telekomunikacijskem segmentu se bodo z večanjem števila TP postaj, povečevanjem količine prenosa podatkov, povečevanjem zahtev glede razpoložljivosti in zagotavljanja nekaterih parametrov, kot npr. zniževanje zakasnitve v omrežju izkazale pomanjkljivosti določenih dostopnih tehnologij. Ob dejstvu, da v TK industriji poteka intenziven razvoj dostopnih sistemov, primernih tudi za uvajanje v pametna elektrodistribucijska omrežja bo prišlo do uvajanja novih rešitev. Primer takšnih rešitev so omrežja WMN (ang. wireless mesh networks), ki bodo omogočila alternativo sedanjim brezžičnim sistemom in GPRS. Po drugi strani se bo v mobilnih omrežjih razvila nova generacija omrežij LTE, ki prinaša veliko prožnejše pogoje glede aplikacij M2M (ang. machine to machine), kamor sodijo tudi pametna omrežja. Na področju optičnih dostopnih omrežij se močno razvija nova generacija tehnologij, katere primer je GPON, ki prinaša prednosti tudi za področje pametnih omrežij. Vsekakor na ravni dostopnih omrežij ne bo prišlo do prevlade ene tehnologije, pač pa se bo uveljavil hibridni način, kjer se bo uporabljalo zahtevam in možnostim najbolj optimalno prilagojena rešitev za konkretne primere. O notnem komunikacijskem mediju – optičnih vlaknih do vseh TP postaj lahko sicer govorimo le v daljni prihodnosti (morda nekaj 10 let).

- za telekomunikacijska omrežja je poleg ustreznega sistema nadzora in upravljanja IKT sistemov pomembna tudi vzpostavitev orodij, ki bodo elektrodistribucijskemu omrežju na podlagi izvedenih meritev in analiz omogočili vrednotenje glede primernosti posameznih tehnologij dostopnih TK omrežij. Primer takih orodij so meritve in analiza pretočnih razmer na vzpostavljenih TK storitvah.

## REFERENCE

- [1] P.K. Cuvelier, P. Sommereyns: " Proof of concept Smart Metering", 20th International Conference on Electricity Distribution, Prague, June 2009
- [2] D. Laverty, D. Morrow, J. O'Raw, P. Crossley: " Wireless Telecoms for distribution networks based on WiMax", 20th International Conference on Electricity Distribution, Prague, June 2009