

Vloga informacijsko-komunikacijskih tehnologij v razvoju pametnih elektroenergetskih omrežij

Marko Vuk, Boštjan Blažič, Andrej Kos

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: marko.vuk@fe.uni-lj.si

Povzetek. V delu so predstavljeni koncepti pametnega elektroenergetskega omrežja in vloga informacijsko-komunikacijskih tehnologij v njihovem razvoju. Pojem pametnih omrežij pomeni evolucijo obstoječega elektroenergetskega sistema, ki se sooča s številnimi izzivi, kot so vključevanje razpršenih virov in drugih novih elementov v omrežje, starajoča se infrastruktura itn. Temelj pametnega omrežja je informacijsko-komunikacijski sistem, ki danes navadno sega le do razdelilnih transformatorskih postaj, v prihodnosti pa je cilj aktivna vloga čim večjega števila uporabnikov (viri, bremena, električna vozila ...) v omrežju, kjer je ključnega pomena dvosmerna komunikacija med uporabniki omrežja. Nadzor in kontrola tako velikega števila elementov ter podatkov zahteva uporabo informacijskih rešitev in novih konceptov vodenja omrežja. Rešitve, ki se uporabljajo v telekomunikacijah, se zdaj uvajajo tudi v elektroenergetski sistem. Zelo pomembna je standardizacija informacijskih in komunikacijskih rešitev, pri katerih sta upoštevana standarda IEC 61850 in CIM.

Ključne besede: smart grids, pametna omrežja, IKT, IEC 61850, CIM

The role of information and communication technologies in smart-grid development

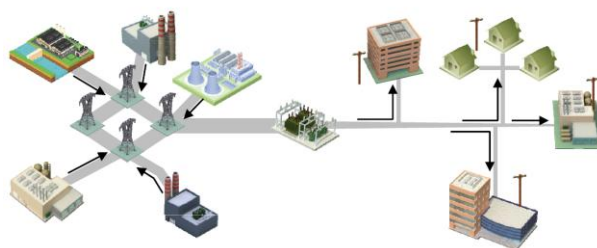
The paper presents the smart-grid concepts and the role of information and communication technologies in their development. The idea of smart grids represents the evolution of the existing power grid. The today's power grid is faced with many challenges, like adoption of distributed generation (DG) and other elements in the grid, ageing infrastructure, etc. The basis of smart grids is the information and communication system (ICS). Its future goal is to actively connect as many users as possible (DG, loads, electric vehicles, etc.), with a particular emphasis laid on two-way communications between grid users. To manage and control such a big number of elements and data, new information solutions and new concepts of grid management are looked for. Solutions already used in telecommunications are now also being applied in the power system. Standardization of ICT solutions is very important. Two of the most efficient standards in this area are IEC 61850 and CIM.

1 UVOD

Klasični elektroenergetski sistem je sestavljen iz velikih elektrarn, ki so priključene na prenosno omrežje in porabnikov, ki so večinoma priključeni v distribucijska omrežja. Električna energija se naprej prenaša prek distribucijskega omrežja do končnih uporabnikov. Kot vidimo tudi na sliki 1, je pretok energije enosmeren, od centrov proizvodnje do uporabnikov.

Takšen energetski sistem je zanesljivo deloval že več kot 100 let, zdaj pa se zaradi naraščanja porabe, starajoče se infrastrukture, čedalje večjega števila

razpršenih virov energije, ki so priključeni v distribucijsko omrežje, sooča s številnimi izzivi. Poleg

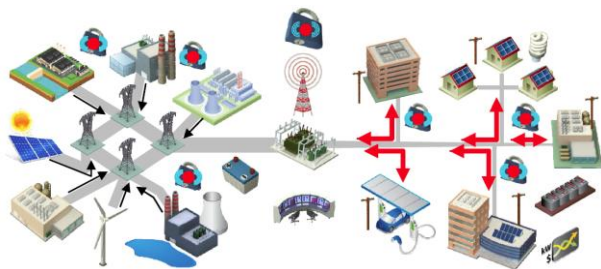


Slika 1: Klasični elektroenergetski sistem [1]

razpršenih virov se obeta še dodajanje drugih novih elementov (hranilniki energije, električna vozila ...) v omrežje. Majhno število novih elementov, ki za stabilnost elektroenergetskega omrežja pomenijo motnjo, nima večjega vpliva, toda z večanjem tega števila obstaja tudi večja možnost nastanka problemov v obratovanju omrežja, ki ni bilo načrtovano za tak način obratovanja. Dodatna motnja je tudi nepredvidljiva narava proizvodnje energije iz obnovljivih virov, ki pomenijo večino razpršenih virov.

Zaradi omenjenih problemov so se razvila tako imenovana pametna omrežja (angl. Smart Grids). Pojem pametnih omrežij ne pomeni le nadgradnje obstoječega elektroenergetskega sistema iz porabniškega, pasivnega načina obratovanja v aktivni način, temveč tudi spremembo celotnega načina obratovanja in načrtovanja sistema [2]. Pametno omrežje (slika 2) združuje v celoto vse elemente omrežja, tako klasične kot tudi nove.

Tukaj ključno vlogo odigrajo informacijsko-komunikacijske tehnologije (IKT).



Slika 2: Pametno omrežje [1]

IKT omogočajo povezavo vseh elementov omrežja. Danes je informatizacija omrežja prisotna na visokonapetostnem in srednjenapetostnem nivoju, nizkonapetostni nivo pa večinoma ni pokrit. V prihodnosti bodo informacijsko povezani vsi akterji v omrežju, tudi končni uporabniki omrežja. Tukaj je pomembno poudariti dvosmernost komunikacije, ki omogoča tako nadzor kot tudi krmiljenje naprav v omrežju. Postavlja se tudi vprašanje, katere tehnologije se bodo uporabljale za postavitve komunikacijske infrastrukture. Naslednja naloga, ki jo je treba rešiti, je obvladovanje velike količine podatkov, ki jih generirajo številne pametne naprave (angl. Intelligent Electronic Devices - IED) v omrežju. Za razvoj pametnih omrežij je zelo pomemben tudi standardiziran način prenosa podatkov in integracije informacijskih sistemov. Pametna omrežja so priložnost tudi za razvoj novih komunikacijskih aplikacij in storitev [3].

Šele razvoj pametnih omrežij bo omogočil izpolnitev okoljskih zavez, ki jih tudi Slovenija kot članica Evropske unije mora izpolniti do leta 2020:

- 1) 20-% zmanjšanje emisij toplogrednih plinov,
- 2) 20-% delež energije iz obnovljivih virov,
- 3) izboljšanje energetske učinkovitosti za 20 %.

2 KONCEPTI PAMETNIH OMREŽIJ

Pojem pametnih omrežij vsebuje širok spekter različnih konceptov. V nadaljevanju bodo predstavljeni koncepti, kjer imajo IKT eno ključnih vlog.

Informacijsko-komunikacijski sistem elektroenergetskega omrežja sega danes do RTP-jev, kar pomeni, da nad delom srednjenapetostnega in iz nizkonapetostnega omrežja tako rekoč ne prihajajo nikakršne informacije o stanju omrežja. Cilj pametnih omrežij je komunikacijsko povezati tako rekoč vsakega akterja in napravo v omrežju. Za nadzor tako velikega števila priključkov je potreben razvoj novih informacijskih rešitev in konceptov vodenja omrežja.

Klasični elektroenergetski sistem ni bil načrtovan za priključevanje visokega deleža razpršenih virov. Razpršeni viri vplivajo na obratovanje EE sistema, in sicer na:

- 1) Napetostni profil omrežja – napetost na vodih omrežja pada z oddaljevanjem od

transformatorja, s strmino, ki je odvisna od moči porabnikov. Razpršeni viri, priključeni na »strani porabe«, na svojih priključnih točkah in okolici dvigujejo napetosti, ki v skrajnih primerih lahko presežejo predpisane meje. Težava se lahko odpravi na več načinov [3], eden od njih je tudi sodelovanje samih razpršenih virov pri regulaciji napetosti.

- 2) Kakovost električne energije – razpršeni viri lahko na kakovost električne energije vplivajo pozitivno in negativno (sistemska frekvenca, fliker, harmonsko popačenje) [3].
- 3) Ravnovesje med proizvodnjo in porabo energije – zaradi velikega števila razpršenih virov z nestalno proizvodnjo lahko nastanejo obratovalne težave [3].

2.1 Napredna merilna infrastruktura

Že pred nastankom koncepta pametnih omrežij so se razvili napredni sistemi za merjenje porabe odjemalcev. Do zdaj so porabo odjemalcev merili s klasičnimi števci električne energije, odčitavanje je bilo periodično, energija se je obračunavala pavšalno glede na preteklo porabo. Eden od ciljev pametnih omrežij je opremljanje končnih odjemalcev s pametnimi števci, ki so prek postavljene komunikacijske infrastrukture zmožni sporočanja merjene porabe v merilni center v realnem času.

Prednost pametnih števec je možnost pregleda nad porabo energije in s tem ozaveščenost porabnika o lastnih porabniških navadah, ceni energije ter posledično omogoča načrtovanje porabnikovega varčevanja z energijo.

Temelj koncepta napredne merilne infrastrukture je komunikacijska infrastruktura, ki sega do končnega porabnika.

2.2 Upravljanje s porabo

Informacijska povezava s končnim porabnikom omogoča tudi realizacijo koncepta upravljanja s porabo (angl. Demand Side Management – DSM), ki porabniku omogoča aktivno vključevanje v vodenje omrežja.

Obstajajo številne klasifikacije programov upravljanja s porabo. Lahko ga razdelimo na programe, ki temeljijo na finančni spodbudi odjemalca, če sodeluje pri upravljanju odjema (različni načini krmiljenja bremen), ter programe, ki temeljijo na spremembah cene električne energije.

2.3 Virtualna elektrarna

Virtualna elektrarna je koncept, pri katerem s pomočjo IKT povežemo večje število razpršenih virov, ki s svojo ponudbo lahko enotno sodelujejo na trgu z električno energijo in tudi na trgu sistemskih storitev. Manjše proizvodne enote so kot del večje virtualne elektrarne na trgu konkurenčnejše. V virtualno elektrarno lahko združimo tudi aktivne odjemalce, ki lahko na zahtevo upravljalca prilagodijo svoj odjem.

2.4 Električna vozila

V prihodnosti se obeta razvoj na področju električnih vozil (angl. Electrical Vehicle) in njihova čedalje širša uporaba. Z večanjem števila vozil bo naraščalo tudi število električnih polnilnic, kar pomeni tudi veliko sprememb za elektroenergetski sistem. Polnjenje vozil bo moralo biti deloma regulirano, kajti preveliko število sočasnih polnjenj bi lahko bilo preveliko breme za omrežje. Električna vozila se bodo lahko uporabljala tudi kot hranilnik energije, ki se lahko uporabi, dokler je električno vozilo s pripadajočo baterijo povezano v omrežje.

3 KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA PAMETNEGA OMREŽJA

Komunikacijsko omrežje je ključni element pametnega elektroenergetskega omrežja. Dosega namreč vsak posamezni element omrežja: razpršene vire, hranilnike energije, odjemna mesta, aktivne uporabnike itn. Povezava omogoča avtomatizacijo, vodenje in upravljanje celotnega omrežja. Zato je treba za realizacijo pametnega omrežja postaviti dovolj zmogljivo, razširljivo, zanesljivo in varno informacijsko-komunikacijsko infrastrukturo.

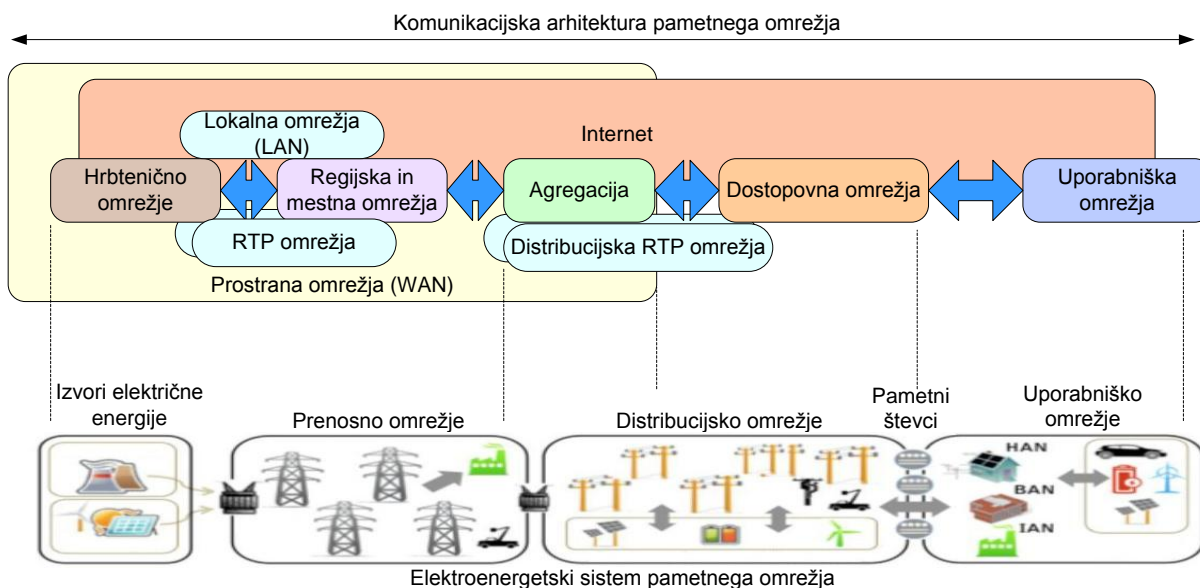
Na sliki 3 je prikazana komunikacijska arhitektura pametnega omrežja. Pametno omrežje je sestavljeno iz več različnih podsistemov, kjer se uporabljajo različne tehnologije. Za vsak segment omrežja obstaja veliko mogočih standardiziranih in nestandardiziranih, lastniških tehnoloških rešitev. Končni cilj je omogočanje dvosmerne komunikacije med vsemi akterji sistema, ne glede na tehnologije, uporabljene na nižjih plasteh modela OSI (Open Systems Interconnection).

Na strani končnih uporabnikov imamo različna uporabniška omrežja: hišna omrežja (angl. Home Area Network - HAN), stavbena/poslovna omrežja (angl. Building/Business Area Network - BAN) in industrijska omrežja (angl. Industrial Area Network - IAN). Pri omrežjih končnih uporabnikov je mogoča uporaba različnih žičnih in brezžičnih tehnologij [5].

Pri dostopnem omrežju obstaja veliko tehnoloških rešitev. Izbira tehnologije je odvisna od številnih parametrov, kot so krajevna dostopnost posamezne tehnologije, zahtevana hitrost prenosa podatkov, zakasnitev, raven varnosti, cena itn. Dostopno omrežje združuje promet več različnih sistemov in aplikacij, kot so sistem naprednega merjenja, upravljanja s porabo, vodenje in nadzor distribucijskega omrežja in razdelilnih transformatorskih postaj. Tudi v bližnji prihodnosti se bo na tem segmentu uporabljalo več različnih tehnologij [5].

Prostrana omrežja (angl. Wide Area Network - WAN) agregirajo in prenašajo promet različnih aplikacij in sistemov. So premostitvena omrežja med dostopnimi omrežji in omrežji razdelilnih transformatorskih postaj na eni strani ter omrežji centrov vodenja in ponudnikov storitev na drugi strani. Prostrano omrežje obsega hrbtencično omrežje in regijska ter mestna omrežja. V hrbtencičnem omrežju se za prenos največ uporabljajo visokozmogljive optične povezave.

Razdelilne transformatorske postaje prenosnega in distribucijskega omrežja in naprave kot so zbiralniki prometa sistemov naprednega merjenja (tudi del distribucijskega omrežja) potrebujejo zanesljive povezave proti hrbtencičnemu omrežju. Sistemski operaterji prenosnega in distribucijskega omrežja imajo na razpolago več tehnologij, ki jim to omogočajo: najeti



Slika 3: Komunikacijska arhitektura pametnega omrežja [3]

vodi, privatne mikrovalovne povezave, navidezna zasebna omrežja (angl. Virtual Private Network - VPN), protokol MPLS, protokol IPsec itn.

Različne aplikacije pametnih omrežij, kot je bilo že omenjeno, imajo različne zahteve glede kakovosti storitev (angl. Quality of Service - QoS). Čeprav ni komunikacijske tehnologije, ki bi bila najustreznejša za vse aplikacije pametnih omrežij, je na ravni omrežne plasti ključna uporaba IP-protokola. TCP/IP je tudi robustna tehnologija z velikim številom zrelih varnostnih in upravljaljskih aplikacij.

4 STANDARDIZACIJA

Pametna omrežja obsegajo veliko različnih akterjev, objektov, in s tem tudi številne različne sisteme. Zato sta standardizacija in integracija različnih informacijskih sistemov zelo pomembni.

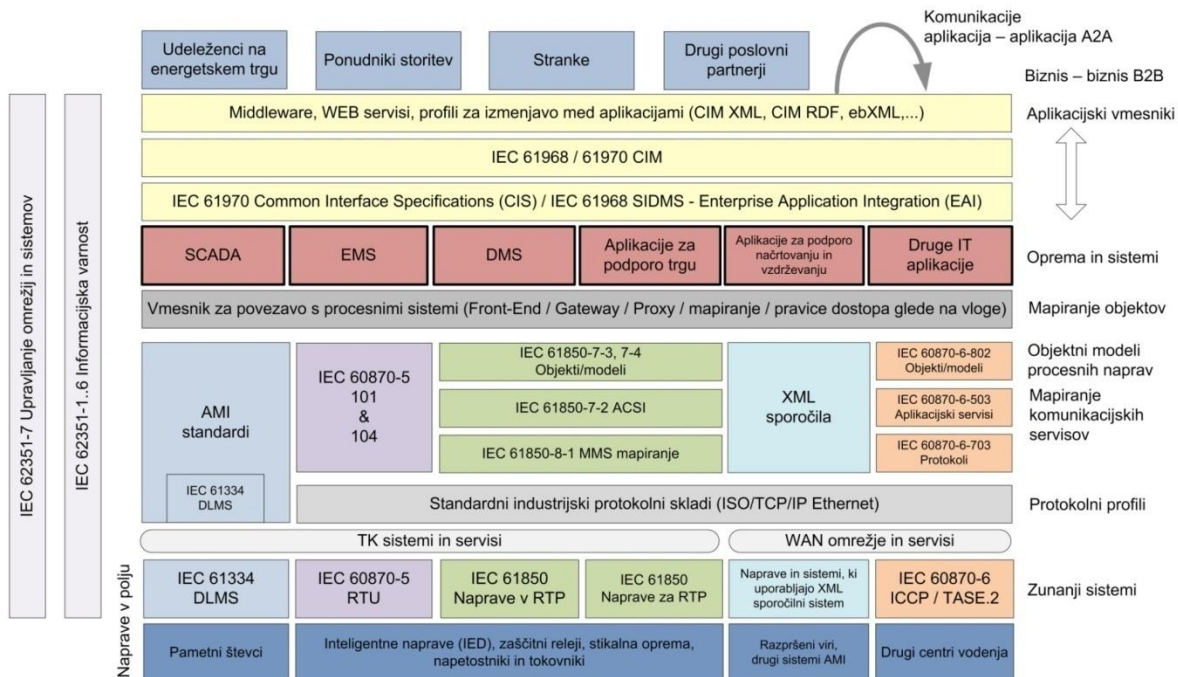
Na evropski ravni je evropska komisija dala mandat [6] za podajanje smernic v razvoju pametnih omrežij standardizacijskim organizacijam CEN, CENELEC in ETSI. Omenjenih bo nekaj najpomembnejših smernic.

Zelo pomembno je kreiranje konceptualnega modela pametnega omrežja, ki definira glavne akterje pametnega omrežja in njihove medsebojne relacije. Tehnično poročilo IEC TR 62357 [7] podaja referenčno integracijsko infrastrukturo za integracijo naprav, sistemov in aplikacij elektroenergetskega sistema, ki jo vidimo na sliki 4. V spodnji horizontali se nahajajo končne naprave v polju. Vsaka od njih je na določen način komunikacijsko povezana z določenimi informacijskim sistemom, med katere spadajo:

- Sistem SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition),
- Sistem za upravljanje prenosnega omrežja (angl. Energy Management System - EMS),
- Sistem za upravljanje distribucijskega omrežja (angl. Distribution Management System - DMS),
- Podpora trgu z električno energijo,
- Načrtovanje in vzdrževanje,
- Zunanji sistemi.

Način komunikacije za posamezen primer je prikazan v vertikalnih arhitekturah. Pri sistemih naprednega merjenja so pomembni standardi IEC 61334 in DLMS/COSEM. Za področje avtomatizacije omrežja v Evropi prevladujeta uporaba standarda IEC 60870-5-101 in njegova prilagoditev na paketni prenos podatkov IEC 60870-5-104. Standard, ki na tem področju največ obeta, je IEC 61850, standard za načrtovanje avtomatizacije elektroenergetskega sistema, še zlasti razdelilnih transformatorskih postaj. V nasprotju s prej omenjenimi standardi se IEC 61850 ne omejuje le na prenos podatkov, temveč določa tudi celoten podatkovni model. Pri povezavi med centri vodenja se uporablja standard IEC 60870-6.

Naslednji nivo je nivo integracije med informacijskimi sistemi v podjetju, kot tudi z zunanjimi podjetji. Še čedalje večjim prilivom podatkov različnih izvorov ni pomemben le način prenosa, temveč tudi določanje, kateri podatki so pomembni za prenos. Z objektnim modeliranjem podatkov je prišlo do ločitve samih podatkov od protokolov prenosa. Čedalje bolj razširjen je koncept platformno neodvisne arhitekture informacijskih sistemov (angl. Model Driven



Slika 4: Referenčna arhitektura za integracijo informacijskih sistemov elektroenergetskega sistema [1]

Architecture - MDA). Pri pametnem elektroenergetskem omrežju ima glavno vlogo pri modeliranju standard CIM.

4.1 CIM

Standard CIM (Common Information Model) omogoča standardizirani objektni opis elementov elektroenergetskega omrežja in informacijskih tokov med različnimi procesi in s tem različni programski opremi omogoča izmenjavo informacij o konfiguraciji in stanju elektroenergetskega omrežja [8].

CIM je vzdrževan kot informacijski model v poenotenem modelirnem jeziku UML (Unified Modeling Language) ter podaja osnovno ontologijo za elektrogospodarstvo. Definiran je v standardu IEC 61970, in sicer za prenosno omrežje, v standardu IEC 61968 pa je razširjen še za potrebe distribucijskega omrežja.

4.2 IEC 61850

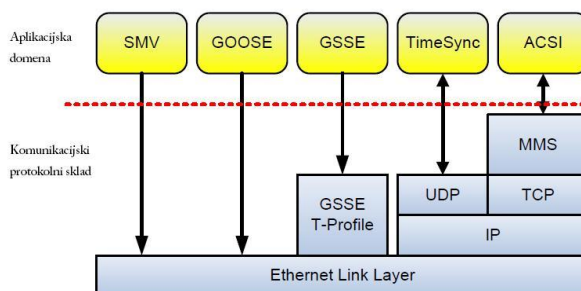
IEC 61850 je standard, ki definira podatkovne modele elementov in procesov na področju razdelilnih transformatorskih naprav.

Prvotno je bil IEC 61850 namenjen za uporabo znotraj RTP-jev, pozneje se je uporaba in standardizacija razširila tudi na povezovanje med podsistemi, vključevanje razpršenih virov in povezovanje s centri vodenja.

Standard definira tako podatkovne modele kot tudi komunikacijske profile. Standardizirana je vrsta komunikacijskih storitev, kot so branje vrednosti, nastavljanje vrednosti, naročanje na poročila, beleženje, opozarjanje, konfiguriranje, časovna sinhronizacija [9]. Komunikacijske storitve standarda se lahko preslikajo v več protokolov, tako imamo v standardu definirane različne komunikacijske profile (slika 5):

- Jedrni profil ACSI omogoča povezavo odjemalca–strežnik. Uporablja se preslikava v protokol MMS in prenos prek protokolnega sklada TCP/IP.
- Profil GOOSE je namenjen časovno kritičnim izmenjavam podatkov. Aplikacije GOOSE se uvrščajo neposredno v okvirje Ethernet in se tako zagotavlja kratek odzivni čas.
- Profil GSSE je predviden za časovno kritične izmenjave statusov.
- SMV profil omogoča multicast način prenosa podatkov po procesnem vodilu. SMV aplikacije se tudi uvrščajo neposredno v Ethernet protokol.
- Profil časovne sinhronizacije, pri katerem se podatki uvrščajo v protokole UDP in IP.

V standardu je definiran tudi konfiguracijski opisni jezik SCL (Substation Configuration Language), ki temelji na že obstoječem jeziku XML (eXtensible Markup Language). SCL je namenjen individualnemu opisu naprav in njihovih konfiguracij.



Slika 5: Komunikacijski profili standarda IEC 61850 [10]

5 STANJE RAZVOJA PAMETNIH OMREŽIJ V SLOVENIJI IN SVETU

Razvoj pametnih omrežij prinaša v sedanjih elektroenergetski sistem bistvene spremembe in prilagoditve. Med najpomembnejše korake uvedbe pametnih omrežij v Sloveniji štejemo pospešeno vgradnjo avtomatiziranih stikalnih naprav z možnostjo daljinskega vodenja, spodbujanje vpeljave pametnih števecov ter uvajanje novih konceptov vodenja omrežij [11]. V slovenskem distribucijskem omrežju trenutno obstaja dobro avtomatiziran sistem vodenja na ravni RTP-jev na visokonapetostnem in srednjenapetostnem nivoju. Večina RTP-jev je z distribucijskimi centri vodenja (DCV) povezana prek lastnega optičnega omrežja ter obstaja možnost daljinskega vodenja srednjenapetostne opreme, kot so zaščitne naprave, odklopniki in transformatorji. S ciljem lokalnega nadzora celotnega RTP-ja se v vsakem RTP-ju nahaja računalniški sistem s sistemom SCADA.

V Sloveniji se že izvaja veliko projektov na področju pametnih omrežij [11]. Največkrat gre za projekte s področja sistemov naprednega merjenja, a se čedalje bolj uveljavljajo tudi projekti, vezani na upravljanje s porabo, virtualne elektrarne in električna vozila.

Največja projekta v Sloveniji, ki ju je sofinancirala tudi TIA, sta SUPERMEN in KIBERnet.

Namen projekta SUPERMEN [12] (»Inteligentna elektroenergetska platforma za nadzor in vodenje razpršenih virov in porabnikov«) je bil razvoj rešitev za upravljanje razpršenih virov in odjema električne energije. Pri tem je bil razvit Vmesnik stičnega mesta (VSM), ki se lahko upravlja iz centra vodenja, pomeni pa lahko pametnega uporabnika, razpršen vir ali drugo energetskega napravo.

Projekt KIBERnet [13] (»Razvoj sistema za krmiljenje industrijskih bremen in razpršene proizvodnje na distribucijskem elektroenergetskem omrežju«) je razvijal izdelek za krmiljenje bremen in razpršenih virov industrijskega odjemalca.

V tem letu je izšel tudi Program razvoja pametnih omrežij v Sloveniji, ki natančno opredeljuje naloge, raziskave in aktivnosti implementacije, potrebne za razvoj pametnih omrežij v Sloveniji, ter način financiranja, s katerim bi do leta 2020 dobili delujoč

koncept pametnih omrežij. Na področju pametnih omrežij je bil v Sloveniji ustanovljen kompetenčni center SURE (Napredni sistemi učinkovite uporabe električne energije), pri katerem sodeluje več slovenskih podjetij, raziskovalnih institucij in upravljavcev distribucijskega omrežja. S KC SURE sodeluje tudi kompetenčni center Opcomm [14], ki na svoji odprti komunikacijski platformi za internet stvari (angl. Internet of Things - IoT) razvija tudi storitve in aplikacije za pametna omrežja.

V Evropi in svetu je bilo končanih že veliko projektov, povezanih s pametnimi omrežji. FP7 (Framework Programmes for Research and Technological Development) je v obdobju 2007–2013 glavni vir financiranja projektov EU in je v tem sklopu tudi velik odstotek projektov s področja pametnih omrežij. Med njimi je tudi veliko projektov, ki se ukvarjajo z vlogo in razvojem IKT v pametnih omrežjih [15]: ADDRESS, FENIX, MICROGRIDS, FINSENY ...

Obstajajo tudi številni primeri uvajanja pametnih omrežij v praksi. Na tem področju lahko omenimo italijanski Telegestore [16], ki je s pametnimi števci povezal 27 milijonov uporabnikov, in T-city [17], ki se izvaja v nemškem mestu Friedrichshafen in katerega namen je s številnimi podprojekti in uporabo sodobnih IKT izboljšati kakovost življenja v mestu.

6 SKLEP

IKT so temeljni gradnik pametnih elektroenergetskih omrežij prihodnosti. Omogočajo dvosmerno povezavo vseh akterjev elektroenergetskega sistema, ki posledično omogoča nadzor in kontrolo celega omrežja. Za komunikacijsko infrastrukturo se bo uporabljalo veliko različnih tehnologij, izbira le-teh pa je odvisna od več parametrov, kot so pomembnost aplikacij, zahtevana kakovost storitev in obstoječa infrastruktura.

Komunikacijska povezanost omogoča izmenjavo podatkov, katerih bo z večanjem števila pametnih naprav čedalje več. Zato sta obvladovanje velike količine podatkov in integracija informacijskih sistemov velik izziv. Zelo pomembna je standardizacija, pri kateri na področju pametnih omrežij izstopajo standardi IEC 61850 in CIM. IEC 61850 obsega standardizacijo komunikacije in podatkovnih modelov v RTP-ju, CIM pa omogoča standardizirani objektni opis elementov elektroenergetskega omrežja in informacijskih tokov med različnimi procesi.

V Sloveniji že obstaja več projektov s področja pametnih omrežij, a je še precej prostora za napredek. Razvoj pametnih omrežij je obenem tudi priložnost za slovensko industrijo, ki ima potencial za razvoj in uvajanje novih konceptov v elektroenergetski sistem.

LITERATURA

- [1] Univerza v Ljubljani, EIMV, "Program razvoja pametnih omrežij v Sloveniji", delovno poročilo, Ljubljana, avgust 2011.
- [2] I. Papič, B. Blažič, T. Pfajfar: Koncept pametnega razdelilnega omrežja, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2010.
- [3] A. Kos, J. Bešter, »Razvoj in uvajanje novih telekomunikacijskih storitev«, Elektrotehniški vestnik, 69 (3-4), str. 221–226, 2002.
- [4] KC SURE, »Poročilo o tehnologijah aktivnih omrežij«, 2011.
- [5] Chun-Hao Lo, Nirwan Ansari, »The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects, IEEE, 2011.
- [6] European Commission, Standardization Mandate to European Standardisation Organisations (ESOs) to support European Smart Grid deployment, M/490 EN, Brussels, 2011.
- [7] IEC Smart Grids Standardization Roadmap, SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), 2010.
- [8] E. Košnjek, "Informacijsko-komunikacijski sistemi in aktivna omrežja za distribucijo električne energije", Fakulteta za elektrotehniko, magistrsko delo, 2010.
- [9] F. Katrašnik, A. Kljun, A. Kos, "Uporaba standarda IEC 61850", CIGRE 2011, 2011.
- [10] Ralph Mackiewicz, "Benefits of IEC 61850 networking", UCA International Users Group.
- [11] KC SURE, »Poročilo o analizi stanja v Sloveniji na področju aktivnih omrežij«, 2011.
- [12] <http://www.projekt-supermen.si> (30.5.2012).
- [13] <http://www.kiber-net.com> (30.5.2012).
- [14] A. Kos, D. Pristov, U. Sedlar, J. Sterle, M. Volk, T. Vidonja, M. Bajec, D. Bokal, J. Bešter: "Open and Scalable IoT Platform and Its Applications for Real Time Access Line Monitoring and Alarm Correlation", S. Andreev et al. (Eds.): NEW2AN/ruSMART 2012, LNCS 7469, str. 27-38; Springer, Heidelberg, 2012.
- [15] http://www.fi-ppp-finseny.eu/wp-content/uploads/2012/05/D1.2-Assessment-Sum-EU-ProjectsActivities_final_1.0-r1.pdf (1.6.2012).
- [16] <http://www.ieee-isplc.org/2007/docs/keynotes/rogai.pdf> (1.6.2012).
- [17] <http://www.t-city.de/en/> (1.6.2012).

Marko Vuk je študent doktorskega študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je diplomiral leta 2011. Njegovo raziskovalno področje zajema nove koncepte pametnega distribucijskega omrežja.

Boštjan Blažič je diplomiral leta 2000, magistriral leta 2003 in doktoriral leta 2005 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je od leta 2007 zaposlen kot asistent. Poleg poučevanja njegovo delo zajema še raziskave na področjih kakovosti električne energije, sodobnih kompenzacijskih naprav in razpršenih virov električne energije.

Andrej Kos (andrej.kos@fe.uni-lj.si) je izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko. V okviru znanstveno-raziskovalnega dela se posveča telekomunikacijskim, multimedijskim in internetnim omrežjem ter sistemom na dostopovnem, agregacijskem in hrbeničnem sloju, testiranju, prometnim analizam in optimizaciji virov, krmilnim protokolom in razvoju konvergenčnih multimedijskih storitev.