

KONCEPT PAMETNIH MREŽA (SMART GRIDS) U ELEKTRODISTRIBUTIVNOM SISTEMU

Ž. N. POPOVIĆ, PD Elektrovojvodina, Srbija

B. B. RADMILOVIĆ, PD Elektrovojvodina, Srbija

V. M. GAČIĆ, PD Elektrovojvodina, Srbija

UVOD

U poslednjoj dekadi se dešava novi (svetski) talas promena u elektroenergetskom sektoru koji je poznat pod nazivom pametne mreže (Smart Grids (SG)) a koji ima znatan uticaj i na rad (elektro)distributivnih sistema [1]-[7]. Strateški ciljevi koje je potrebno ispuniti primenom SG rešenja su:

- Ispunjavanje ciljeva 20/20/20 u Evropskoj uniji do 2020 godine [1]-[3].
- Povećanje pouzdanosti i sigurnosti napajanja kupaca [1]-[7].
- Unapređenje efikasnosti sistema za napajanja kupaca [1]-[7].
- Obezbeđivanje energetske nezavisnosti [1]-[7].
- Omogućavanje korišćenja novih tehnologija (npr. električnih vozila) [1]-[7].

Da bi se navedeni globalni ciljevi mogli ispuniti, elektroenergetski sistemi budućnosti, a time i distributivni sistemi, će morati, između ostalog, da omoguće efikasnu integraciju velikog broja intermitentnih obnovljivih izvora, odnosno integraciju distribuiranih izvora različitih veličina i tehnologija (npr., solarnih generatora, vetro generatora, malih hidroelektrana, generatora na biomasu) kao i da omoguće promene u distributivnoj mreži koje će je prevesti iz domena „pasivne“ mreže, zavisne od intervencija čoveka (operatora), u domen „aktivne“ mreže. Ovo je neophodno zbog sve veće kompleksnosti operacija koje je potrebno sprovesti u mreži, široke primene distribuiranih izvora kao i povećanih zahteva za sigurnošću i kvalitetom napajanja. Prema tome, SG koncept će dovesti do primene novih tehnologija kao i postavljanja novih ciljeva u dizajniranju distributivnih sistema (mreža) kao i u njihovom upravljanju. U ovakvom (SG) okruženju postojeći poslovni procesi u distributivnom sistemu se moraju menjati, odnosno redefinisati. U ovome radu su definisani ključni poslovni procesi koji postoje u distributivnom sistemu i osnovni elementi i prioritete komponente koje treba (re)definisati u tim procesima da bi se obezbedilo efikasno (isplativo) ispunjavanje ciljeva SG koncepta. Detaljno su prikazane aktivnosti koje se preduzimaju u elektrodistributivnoj kompaniji Elektrovojvodina, a koje predstavljaju bazu za ispunjavanje ciljeva SG, odnosno punu implementaciju SG koncepta.

GLAVNI CILJEVI SG KONCEPTA U DISTRIBUTIVNOM SISTEMU

Glavni ciljevi SG koncepta u distributivnom sistemu, koji treba da omoguće ispunjavanje napred pomenutih globalnih ciljeva, su dati u nastavku [1]-[3], [6], [7]:

- Integrirati distributivne generatore (npr. obnovljive izvore) različitih veličina i tehnologija u distributivni sistem

Potrebno je obezbediti integraciju distributivnih generatora (DG) svih veličina i tehnologija (solarni generatori, vetro generatori, male hidrocentrale, generatori na biogas i sl.) u srednjenaponsku i nisko naponsku mrežu tako da se omogući maksimalna proizvodnja električne energije iz tih izvora a da se ne naruše operativna ograničenja (naponska i termička) i kvalitet isporučene električne energije.

- Optimizirati rad i korišćenje distributivne mreže

Smanjenje vršnih opterećenja, odlaganje investicija (izgradnje novih elementa i/ili pojačanja postojećih elemenata) i smanjenje gubitaka snage i energije treba da bude omogućeno korišćenjem:

- SG komponenti kao što su: DG, skladišta električne energije (ES), mikromreže (microgrid), električna vozila (PEV), sistemi za automatsko očitavanje brojila (AMI sistemi), pametni uređaji u domaćinstvima/komercijali, pametni senzori, kućne mreže (HAN).
- Novih/unapređenih alata za upravljanje distributivnim mrežama (unapređeni DMS sistemi).

Takođe, unapređenja u upravljanju održavanjem, a posebno u domenu strategija održavanja, treba da budu omogućena korišćenjem velikog broja kvalitetnih podataka koji će biti dostupni kroz SG komponente (AMI sisteme, pametne senzore, inteligentne elektronske uređaje (IED)).

- Obezbediti kupcima električne energije više informacija i omogućiti im da učestvuju u optimizaciji rada distributivnog sistema

Aktivan uticaj kupaca na rad distributivnog sistema treba da bude obezbeđen kroz omogućavanje lake i fleksibilne promene profila opterećenja kupaca kao odgovora na promenu cene električne energije i/ili na različite vrste podsticajnih mera. Ovakve mogućnosti promene (odziva) opterećenja (DR) zahtevaju, pored postojanja naprednih elemenata kod kupaca (HAN, pametni uređaji, alati za upravljanje potrošnjom – energetske kutije), postojanje odgovarajuće komunikacione i informacione infrastrukture koja će biti u mogućnosti da obrađuje veliki broj kompleksnih informacija, preduzima „inteligentne“ akcije i obezbedi laku i fleksibilnu interakciju između kupaca i sistema.

- Održati i unaprediti postojeći stepen pouzdanosti, sigurnosti i kvaliteta napajanja kupaca u distributivnom sistemu

Unapređenje pouzdanosti i sigurnosti napajanja i kvaliteta isporučene električne energije u distributivnom sistemu treba da bude obezbeđeno korišćenjem SG komponenti a pre svega: DG, mikro mreža, AMI sistema i upravljanja (odziva) opterećenja (DR) kao i unapređenih informacionih i komunikacionih sistema i softverskih alata. Napredne DMS (**D**istribution **M**anagement **S**ystem) aplikacije, kao što je OMS (**O**utage **M**anagement **S**ystem) i funkcija FLISR (**F**ault **L**ocalisation, **I**solation and **S**ervice **R**estoration), treba da budu obezbeđene kako bi se omogućila primena viših nivoa automatizacije u distributivnoj mreži u kojoj će biti integrisane SG komponente.

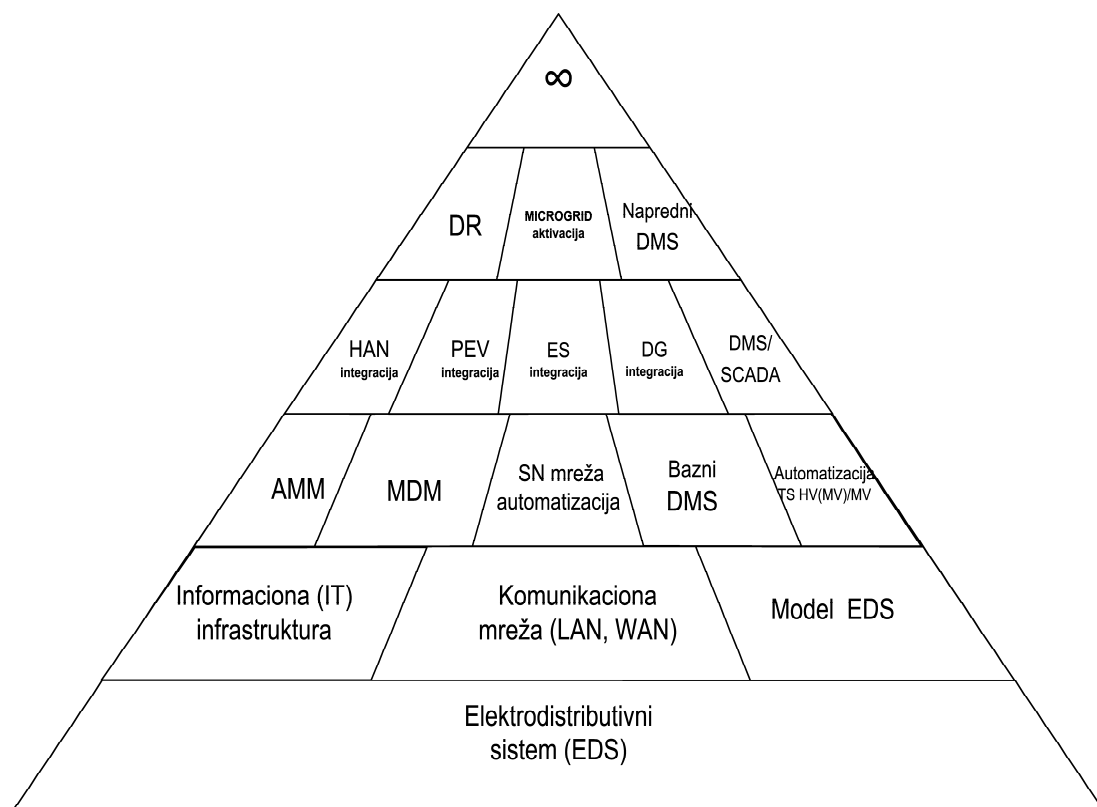
Osnovni "gradivni blokovi" (komponente) SG koncepta u distributivnom sistemu, definisani u gornjem tekstu, su prikazane na slici 1. U jednom nivou (lejeru) na slici 1 su prikazane one SG komponente koje se oslanjaju na rešenja (komponente) realizovane u prethodnom lejeru. Prema tome, prikazana hijerarhija lejera pokazuje redosled kojim je potrebno vršiti uvođenje pojedinih SG komponenti u jednom distributivnom sistemu, odnosno pokazuje jedan mogući scenarijo razvoja SG u distributivnoj kompaniji. Prikazane komponente i njihova interakcija će omogućiti postizanje SG ciljeva kroz (re)definisane ključnih poslovnih procesa [8] u distributivnom sistemu. Ovi procesi i odgovarajuće promene su detaljnije prikazani u sledećem odeljku.

(RE)DEFINISANJE POSLOVNIH PROCESA U DISTRIBUTIVNOM SISTEMU U SG OKRUŽENJU

Najvažniji elementi i komponente koje je potrebno (re)definisati u ključnim poslovnim procesima u distributivnom sistemu u SG okruženju su dati u tekstu koji sledi.

- Planiranje razvoja distributivnih mreža

- Definisati alate za prognozu potrošnje/proizvodnje koji uvažavaju povećani stepen (nivo) neizvesnosti budućeg rasta potrošnje/proizvodnje i veći obim i kvalitet podataka dobijenih kroz



Slika 1. Gradivni blokovi kocepta pametnih mreža u distributivnom sistemu

različite SG komponente (npr. AMI sistemi, pametni senzori) [9].

- Definisati višekriterijumske pristupe i modele za (optimalno) višegodišnje planiranje razvoja DM koji treba da uzmu u obzir mogući uticaj DG, DR, električnih vozila (PEV) i mikro mreža kao i različite nivoe neizvesnosti vezane za rast potrošnje (opterećenja) i intermitentne proizvodnje [10].
- Definisati karakteristike elemenata distributivne mreže (npr. prekidačke opreme) u prisustvu DG [11].
- **Operativno upravljanje u distributivnoj mreži**
 - **Upravljanje u normalnim uslovima**
 - Definisati ciljeve i pristupe (npr. centralizovani, distribuirani, kombinovani) za kontrolu naponsko-reaktivnih prilika u distributivnoj mreži za različite nivoe penetracije DG (npr. 5%, 10%, 15%, 20%) kao i za različite veličine i tehnologije DG. Ciljevi treba da uzmu u obzir postojeću regulativu kao i mogućnosti kontrole i nadgledanja rada DG od strane operatora distributivnog sistema [12],[13].
 - Redefinisati koordinaciju relejne zaštite u distributivnoj mreži u prisustvu DG [11].
 - Redefinisati alate (softver i hardver) za određivanje, implementaciju i nadgledanje optimalnog stanja distributivne mreže u normalnim uslovima u prisustvu SG komponenti, posebno DG, skladišta električne energije (ES) i statičkih var sistema [12], [14].
 - **Upravljanje u havarijskim uslovima**
 - Redefinisati proces upravljanja kvarovima (funkcija FLISR) u prisustvu SG komponenti, posebno DG, DR, AMI sistema i mikro mreža. Na primer, u procesu lokalizacije kvara se trebaju uzeti u obzir podaci iz AMI sistema i IED u mreži i napojnim TS dok se potencijali mikro mreža i DR trebaju koristiti u procesu restauracije napajanja kao i u predhavarijskim stanjima (npr. preopterećenja elemenata mreže) [15], [16] [17].
 - Definisati scenarije automatizacije (npr. centralizovani, lokalni, kombinovani) u distributivnim mrežama u prisustvu različitih SG komponenti [18], [19].

- Redefinisati koordinaciju relejne zaštite tokom neplaniranih prekida (kvarova) u mreži u prisustvu DG [11].
- **Operativno planiranje i optimizacija**
 - Redefinisati procedure za upravljanje planiranim prekidima (npr. uslovi bezbednosti, koordinacija relejne zaštite, proces izolacije i restauracije napajanja) u mreži u prisustvu DG [20].
 - Redefinisati alate za kratkoročnu prognozu opterećenja u potrošačkim/proizvođačkim čvorovima [9].
 - Redefinisati više-kriterijumski pristup i modele za određivanje optimalne konfiguracije distributivne mreže u prisustvu DG [21], [22].
 - Definirati alate koji omogućuju odlaganje izgradnje novih elemenata i pojačanje postojećih elemenata uzimajući u obzir DR i Volt/Var resurse kao i resurse koje obezbeđuju mikro mreže [20], [23].
- **Upravljanje dobrima i održavanjem**
 - Definirati softverske alate (npr. OMS funkcija) koji unapređuju proces nadgledanja i prognoziranja stanja elemenata distributivne mreže uzimajući u obzir veću količinu i kvalitet podataka sakupljen kroz različite SG komponente (AMI sistemi, IED, pametni senzori) [24].
 - Redefinisati postojeće ili uvesti nove strategije održavanja (npr. prediktivno održavanje, održavanje bazirano na stanju opreme, održavanje bazirano na proceni rizika) koje treba da budu zasnovane na informacijama dobijenim iz prethodno definisanih softverskih alata [25], [26].
- **Odnos sa kupcima**
 - Definirati DR scenarije koji treba da budu omogućeni u prisustvu SG komponenti, posebno kućnih mreža (HAN), sistema za upravljanje u zgradama (BMS), energetske kutija u kućama (EB), pametnih uređaja u domaćinstvima i komercijalnom sektoru [27].
 - Definirati moguće načine korišćenja DR scenarija u optimizaciji rada distributivne mreže kao i u operativnom planiranju i optimizaciji [23],[27].
 - Definirati informacione i komunikacione alate i infrastrukturu koji mogu da unaprede odnose sa kupcima [28].
- **Upravljanje mernom infrastrukturom**
 - Definirati AMI/AMM sistem i softverske alate za upravljanje i skladištenje podataka dobijenih iz ovih sistema (MDM sistem) [29], [30].
 - Definirati arhitekturu i neophodne performanse AMI/MDM sistema tako da omogućuje ispunjavanje ranije navedenih SG ciljeva [30].

Ponovo je potrebno naglasiti da navedeni ključni elementi i prioritetne komponente treba da budu (re)definisani u poslovnim procesima u distributivnom sistemu tako da obezbede ispunjavanje ranije definisanih ciljeva SG koncepta. Da bi se omogućila integracija svih napred navedenih SG elemenata i komponenti u DS, potrebno je u prvom koraku (nivou), kao što se može videti sa slike 1, definisati i realizovati bazne komponente SG koncepta: informacionu i komunikacionu infrastrukturu. Osnovni elementi koje treba definisati u okviru ovih komponenti su dati u nastavku.

- **Komunikacioni sistemi**
 - Definirati komunikacioni sistem baziran na odgovarajućim standardima i protokolima. Moguće rešenje treba da bude izabrano tako da ispunjava funkcionalne zahteve koji proizilaze iz prethodno (re)definisanih komponenti poslovnih procesa (pouzdanost, dostupnost, kapacitet, brzina prenosa, vreme odgovora, nivo grešaka, redundansa, način nadgledanja performansi, i sl.) [31], [32].
 - Definirati neophodan nivo sigurnosti i zaštite podataka [33].
 - Definirati moguća rešenja za tzv. „last mile“ komunikacioni put, odnosno definisati tehnologije i procese koji se trebaju koristiti za povezivanje kupaca i njihovih pametnih uređaja sa komunikacionom mrežom [29].

- **Informacioni sistemi**

- Definirati softverske sisteme i servise koji obezbeđuju funkcionalnost definisanu (zahtevanu) u napred opisanim poslovnim procesima i koji omogućuju upravljanje ogromnim količinama podataka (podaci iz statičkih sistema, real-time sistema, i sl.) Posebna pažnja treba da se posveti sigurnosti, baziranoj na procenama rizika, i zahtevanom nivou privatnosti podataka [34], [35].
- Definirati standarde u domenu softverskih sistema i servisa kao i u domenu modela podataka da bi se omogućila razmena podataka između različitih sistema/podsistema koji će se pojaviti u SG okruženju [35].
- Definirati arhitekturu, hardversku platformu i računarsku mrežnu infrastrukturu integrisanog informacionog sistema u distributivnoj kompaniji na bazi zahteva definisanih u prethodno (re)definisanim poslovnim procesima u SG okruženju [36].

(Re)definisanje napred pomenutih elemenata poslovnih procesa mora biti zasnovano na odgovarajućim dobit/trošak analizama u kojima će se uzeti u razmatranje svi troškovi i dobiti vezane za postizanje postavljenih globalnih ciljeva SG koncepta [37]. Koristi koje treba da bude razmatrane i uzete u obzir, sa stanovišta distributivne kompanije, kupaca i društva u celini, su sledeće:

- **Direktna finansijska korist** eksploatacije i investicija (uključujući niže troškove, izbegnute (odložene) troškove, stabilnost troškova) i mogućnost izbora različitih cena za kupce.
- **Korist vezana za pouzdanost snabdevanja i kvalitet električne energije**, uključujući smanjenje dužine i broja prekida, „čistiju“ energiju i pouzdano upravljanje DG uz uvažavanje DR i mikro mreža.
- **Korist vezana za bezbednost i sigurnost napajanja**, uključujući blagovremeni uvid u situacije koje nisu bezbedne i sigurne, povećanu fizičku sigurnost u okviru DM, povećanu virtuelnu ("cyber") sigurnost, zaštitu privatnosti i energetska nezavisnost.
- **Korist vezana za efikasnost**, uključujući smanjenje potrošnje energije, smanjenje gubitaka, smanjenje opterećenja u vreme vršnih opterećenja.
- **Korist vezana za očuvanje životne sredine**, uključujući smanjenje emisije gasova sa efektom "staklene bašte", smanjenje proizvodnje energije iz neefikasnih izvora, kao i povećanje korišćenja obnovljivih izvora.

Potrebno je naglasiti da u slučaju nekih korisnosti, posebno onih koje direktno smanjuju trošak distributivnih kompanija, kupci takođe mogu da imaju korist kroz ili smanjenje cena električne energije ili odlaganja/izbegavanja njenog povećanja. Takođe, dobiti koje ima društvo, iako se mogu teže kvantifikovati, mogu biti značajne u proceni ukupne dobiti pojedinačnih SG alternativa (rešenja) i zbog toga se ne smeju zanemariti.

RAZVOJ SG KONCEPTA U PD ELEKTROVOJVODINA

U cilju obezbeđivanja baze za implementaciju SG koncepta i obezbeđivanja neophodnih uslova za ispunjavanja prethodno navedenih SG ciljeva sledeće aktivnosti se preduzimaju u PD Elektrovojdina:

- **Unapređenje nivoa automatizacije u distributivnoj mreži** – Najveći deo napojnih transformatorskih stanica (TS 110/x kV/kV) u Elektrovojdini je integrisan u SCADA sistem (VN SCADA) kao i deo 35/10 kV/kV transformatorskih stanica. U skoroj budućnosti se planira integrisanje svih napojnih TS kao i najvažnijih 35/10 kV/kV transformatorskih stanica u VN SCADA sistem. U poslednjih nekoliko godina VN SCADA sistem je unapređen u svim kontrolnim centrima u Elektrovojdini, odnosno implementirana je unapređena verzija VN SCADA sistema koja nudi nove (unapređene) funkcionalnosti. Takođe, u poslednjih nekoliko godina različiti sistemi (scenariji) za automatizaciju manipulacija u SN mreži su testirani u Elektrovojdini. Osnovni cilj ovih demonstracionih projekata je da se uporede dobiti i troškovi različitih scenarija i nivoa automatizacije, različite opreme, različitih SN SCADA sistema i različitih komunikacionih sistema. Na osnovu rezultata ovih projekata će se definisati pravci i nivo automatizacije SN mreže u Elektrovojdini.
- **Bazne i napredne DMS funkcije** – DMS sistem koji je u upotrebi u Elektrovojdini je složen upravljačko-informacioni sistem koga čine relaciona baza tehničkih podataka, grafičko okruženje (jednopolne šeme EEO, logičke i geografske šeme elektrodistributivne mreže) i skup osnovnih

(baznih) analitičkih funkcija (estimacija stanja, tokovi snaga, kratki spojevi, optimalna rekonfiguracija). Ovaj sistem se koristi kao podrška donošenju odluka u operativnom upravljanju distributivnom mrežom, u normalnim i havarijskim uslovima, kao i u operativnom planiranju i optimizaciji. Novi moduli (napredne funkcije) su u procesu integracije u postojeći DMS sistem. Modul za planiranje razvoja distributivnih mreža će omogućiti efikasnije i efikasnije planiranje razvoja mreže uzimajući u obzir, između ostalog, i prisustvo različitih tipova DG kao i neizvesnost budućeg rasta opterećenja. Takođe, modul za modelovanje i upravljanje niskonaponskom mrežom i njegovo povezivanje sa SCADA, AMR/AMI/MDM i ostalim poslovnim sistemima će unaprediti funkcionalnost postojećeg DMS sistema, što je neophodan uslov za uspešnu implementaciju SG koncepta. Konačno, novi sistem za upravljanje prekidima (OMS sistem) je dizajniran i on će omogućiti efikasno upravljanje planiranim i neplaniranim prekidima. Deo ovoga modula, između ostalih, će biti i napredna FLISR funkcija koja će omogućiti da se kod neplaniranih prekida lokalizacija, izolacija i restauracija napajanja odvija automatski (tzv. closed-loop), odnosno bez ili uz minimalno učešće operatora.

- **SCADA/DMS integracija** – Jedan od osnovnih ciljeva Elektrovojvodine je i integracija VN i SN SCADA sistema sa postojećim DMS sistemom. Puna integracija ovih sistema će omogućiti mnogo efikasnije korišćenje naprednih DMS funkcija, posebno onih koje omogućavaju automatizovani („closed loop“) rad. Za sada je omogućeno da se merenja i statusi daljinski kontrolisanih uređaja iz SCADA sistema prosleđuju i koriste u nekim od analitičkih funkcija. Takođe, u toku je i projekat vezan za dvosmerno povezivanje SCADA sistema i DMS sistema gde se nadzor i upravljanje opremom u napojnim transformatorskim stanicama vrši kroz DMS sistem.
- **AMI sistem** – Na osnovu iskustava i znanja stečenih usavršavanjem i eksploatacijom više pilot sistema, sačinjena je specifikacija zahteva koje AMI sistem treba da ispuni (funkcionalnost i standardi koje brojilo električne energije mora da ispunjava, arhitektura i standardi za komunikacioni podsistem i mrežnu opremu, izgled i funkcionalnost softvera za upravljanje AMI mrežom) [38]. U toku su aktivnosti na nabavci referentnog AMI/MDM sistema u JP EPS, nakon čije instalacije će uslediti integracija sa ostalim segmentima tehničkog i poslovnog informacionog sistema. Masovna instalacija elemenata AMI sistema se očekuje u narednih pet godina.
- **Unapređenje komunikacione infrastrukture** – U toku su projekti na realizaciji optičke infrastrukture koja će omogućiti povezivanje većeg broja TS 110/x kV/kV sa poslovnim zgradama ogranaka Elektrovojvodine, kao i sa poslovnim sedištem u Novom Sadu. Pored toga, intenzivirani su radovi na modernizaciji radio komunikacija prelaskom sa analognog na digitalni sistem. Time će biti obezbeđena kvalitetnija komunikacija između dispečera i mobilnih ekipa i uvođenje novih servisa (tačno pozicioniranje korisnika radio mreže i slanje tekstualnih poruka), što predstavlja jedan od preduslova za implementaciju naprednog OMS sistema.
- **Unapređenje informacionog sistema** – Proteklih godina Elektrovojvodina je angažovala značajne resurse na realizaciji većeg broja razvojnih projekata na polju informacionih tehnologija i njene primene u domenu poslovnih i tehničkih sistema, koji predstavljaju podršku poslovnim procesima distribucije. Sa vizijom da svi procesi budu podržani jedinstvenim sistemom, krenulo se i u intenzivan rad na integraciji postojećih segmenata informacionih podsistema sa krajnjim ciljem da se svi oni objedine u čvrsto povezani sistem u kome će biti izbegnuta redundansa i omogućen protok podataka između pojedinih delova. Takođe, u toku je formiranje IT (Data) centra Elektrovojvodine u kome će biti koncentrisani serverski resursi i skladišta podataka. Pored toga, konstantno se unapređuju računarska mreža, operativni sistemi i sistemi za upravljanje bazama podataka.

ZAKLJUČAK

Implementacija SG koncepta će dovesti do značajnih promena u distributivnom sistemu a samim tim i u ključnim poslovnim procesima u distributivnim kompanijama. Zbog toga je za uspešnu implementaciju efikasnog, ekonomičnog i održivog SG rešenja u distributivnim kompanijama potrebno uraditi sledeće korake:

- Definirati jasnu strategiju razvoja SG u distributivnoj kompaniji, odnosno definirati:
 - SG ciljeve
 - SG scenarije (alternative)
 - promene u poslovnim procesima.
- Uzeti u obzir sve dobiti i troškove u svakom od razmatranih SG scenarija (alternativa).

- Definirati jasnu organizacionu strukturu koja treba da promovise, koordinira i prati razvoj i realizaciju usvojenih SG resenja.
- Vrsiti edukacija i podizanje nivoa znanja i veština radnika.
- Uključivati što više krajnje korisnike u realizaciju SG resenja.

LITERATURA

- [1] Smart Grids European Technology Platform, 2006, „Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future“, EU.
- [2] Smart Grids European Technology Platform, 2007, „Strategic Research Agenda for Europe’s Electricity Networks of the Future“, EU.
- [3] Smart Grids European Technology Platform, 2010, „Strategic Deployment Document for Europe’s Electricity Networks of the Future“, EU.
- [4] Electric Power Research Institute (EPRI), 2009, „Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap“, USA.
- [5] National Institute of Standards and Technology (NIST), 2009, „NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards: Release 1“, USA.
- [6] Heydt, G. T., 2010, „The Next Generation of Power Distribution Systems“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 3, pp. 225-235.
- [7] Collier, S.E., 2010, „Ten Steps to a Smarter Grid“, *IEEE Industry Application Magazine*, 2, pp. 62-68.
- [8] International Electrotechnical Commission, 2003, „IEC 61968-1 Application integration at electric utilities – System Interfaces for distribution management Part 1: Interface Architecture and General Requirements“.
- [9] Anvari Moghaddam, A., Seifi, A.R., 2011, „Study of forecasting renewable energies in smart grids using linear predictive filters and neural networks“, *IET Renewable Power Generation*, 6, pp. 470-480
- [10] V. F. Martins and C. L. T. Borges, 2011, „Active Distribution Network Integrated Planning Incorporating Distributed Generation and Load Response Uncertainties“, *IEEE Trans. on Power Systems*, 4, pp. 2164-2172.
- [11] E. J. Coster, J. M. A. Myrzik, B. Kruimer, W. L. Kling, 2011, „Integration Issues of Distributed Generation in Distribution Grids“, *Proceedings of the IEEE*, 1, pp. 28-39.
- [12] Markushevich, N., 2011, „The Benefits and Challenges of the Integrated Volt/Var Optimization in the Smart Grid Environment“, *Proceedings*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, USA.
- [13] Aquino-Lugo, A.A., Klump, R., Overbye, T.J., 2011, „A Control Framework for the Smart Grid for Voltage Support Using Agent-Based Technologies“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 1, pp. 173-180.
- [14] Meliopoulos, A.P.S., Cokkinides, G., Huang, R., Farantatos, E., Sungyun Choi, Yonghee Lee, Xuebei Yu, 2011, „Smart Grid Technologies for Autonomous Operation and Control“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 1, pp. 1-10.
- [15] Kezunovic, M., 2011, „Smart Fault Location for Smart Grids“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 1, pp. 11-22.
- [16] V. M. Catterson, E. M. Davidson, and S. D. J. McArthur, 2011, „Embedded Intelligence for Electrical Network Operation and Control“, *IEEE Intelligent Systems*, 2, pp. 38-45.
- [17] Conti, S., Nicolosi, R., Rizzo, S.A., 2010, „Generalized Systematic Approach to Assess Distribution System Reliability With Renewable Distributed Generators and Microgrids“, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 1, pp. 261-270.
- [18] Bouhouras, A.S., Andreou, G.T., Labridis, D.P., Bakirtzis, A.G., 2010, „Selective Automation Upgrade in Distribution Networks Towards a Smarter Grid“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 3, pp. 278-285.
- [19] Mamo, X., Mallet, S., Coste, T., Grenard, S., 2009, „Distribution automation: The cornerstone for Smart Grid development strategy“, *Proceedings*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Calgary, Canada.
- [20] Fang, X., Misra, S., Xue, G., Yang, D., 2012, „Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey“, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Accepted for publication, pp. 1-37.
- [21] Ochoa, L.F., Harrison, G.P., 2010, „Minimizing Energy Losses: Optimal Accommodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation“, *IEEE Trans. on Power Systems*, 1, pp. 198-205.

- [22] Zidan, A., Farag, H.E., El-Saadany, E.F., 2011, „Network Reconfiguration in Balanced and Unbalanced Distribution Systems with High DG Penetration“, *Proceedings*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, USA.
- [23] Hamilton, K., Gulhar, N., 2010, „Taking Demand Response to the Next Level“, *IEEE Power and Energy Magazine*, 3, pp. 60-65.
- [24] Boardman, E., 2010, „The role of integrated distribution management systems in Smart Grid implementations“, *Proceedings*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, USA.
- [25] Meili Cheng, Yuan Zeng, Ruixin Nix, Yaoheng Chen, 2011, „Study on the model of advanced asset management in smart grid“, *Proceedings*, 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), Shandong, China.
- [26] Sun Rui, 2010, „A CIM-based System model for Life-cycle Assets Management and Control Integration in Smart Grid“, *Proceedings*, International Conference on Information Networking and Automation (ICINA), Kunming, China.
- [27] J. Medina, N. Muller, and I. Roytelman, 2010, „Demand Response and Distribution Grid Operations: Opportunities and Challenges“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 2, pp. 193-198.
- [28] Molderink, A., Bakker, V., Bosman, M.G.C., Hurink, J.L., Smit, G.J.M., 2010, „Management and Control of Domestic Smart Grid Technology“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 2, pp. 109-119.
- [29] Huibin Sui, Honghong Wang, Ming-Shun Lu, Wei-Jen Lee, 2009, „An AMI System for the Deregulated Electricity Markets“, *IEEE Trans. on Industry Applications*, 6, pp. 2014-2018.
- [30] Mak, S.T., 2009, „A synergistic approach to implement demand response, asset management and service reliability using smart metering, AMI and MDM systems“, *Proceedings*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Calgary, Canada.
- [31] Bouhafs, F., Mackay, M., Merabti, M., 2012, „Links to the Future: Communication Requirements and Challenges in the Smart Grid“, *IEEE Power and Energy Magazine*, 1, pp. 24-32.
- [32] Gungor, V.C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., Hancke, G.P., 2011, „Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards“, *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, 4, pp. 529-539.
- [33] Aravinthan, V., Nambodiri, V., Sunku, S., Jewell, W., 2011, „Wireless AMI application and security for controlled home area networks“, *Proceedings*, IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, USA.
- [34] Young-Jin Kim, Thottan, M., Kolesnikov, V., Wonsuck Lee, 2010, „A secure decentralized data-centric information infrastructure for smart grid“, *IEEE Communications Magazine*, 11, pp. 58-65.
- [35] Jinsong Liu, Xiaolu Li, Dong Liu, Hesun Liu, Peng Mao, 2011, „Study on Data Management of Fundamental Model in Control Center for Smart Grid Operation“, *IEEE Trans. on Smart Grid*, 4, pp. 573-579.
- [36] Zamani, M.A., Fereidunian, A., Jamalabadi, H.R., Boroomand, F., Sepehri, P., Lesani, H., Lucas, C., 2010, „Smart grid IT infrastructure selection: A T3SD Fuzzy DEA approach“, *Proceedings*, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), Gothenburg, Sweden.
- [37] Bossart, S.J., Bean, J. E., 2011, „Metrics and benefits analysis and challenges for Smart Grid field projects“, *Proceedings*, IEEE Energytech, Cleveland, USA.
- [38] ***, Electric Power Industry of Serbia, [http://www.eps.rs/Eng/Documents/Functional Requirements and Technical Specifications of AMI/MDM Systems.pdf](http://www.eps.rs/Eng/Documents/Functional_Requirements_and_Technical_Specifications_of_AMI/MDM_Systems.pdf)