

Sadašnjost i budućnost pametnih elektroenergetskih mreža

Istraživanja studenata

Benjamin Arslanagić¹, Ali Damadžić², Aldin Gosto³, Sanela Mešić⁴, Ismar Mušanović⁵

Studenti drugog ciklusa studija
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Sarajevu
Sarajevo, Bosna i Hercegovina

barslanagi1@etf.unsa.ba¹, adamadzic2@etf.unsa.ba², agosto1@etf.unsa.ba³, smesic2@etf.unsa.ba⁴, imusanovic1@etf.unsa.ba⁵

Sažetak—Ovo je pregledni rad vezan za temu pametnih elektroenergetskih mreža (PEEM). Već u uvodnom dijelu date su važeće definicije, a zatim je definiran koncept PEEM. Kroz Poglavlje III skrenuta je pažnja na njihovu važnost i očekivanja u konceptu PEEM. Posebna pažnja u ovom radu je data konceptu skladištenja električne energije. Prije zaključka, ovaj rad sadrži analizu pregleda interesantnih primjera u konceptu PEEM.

Ključne riječi—pametna elektroenergetska mreža (PEEM); obnovljivi izvori; potrošač; informacione i komunikacione tehnologije; skladištenje električne energije; elektromobili.

I. UVOD

Kao jedan od najsloženijih sistema načinjenih od strane ljudske vrste, elektroenergetski sistem nalazi se pred velikim promjenama. Elektroenergetska mreža, bazirana na elektranama sa neobnovljivim izvorima električne energije, stvara neodrživo stanje kao i negativan uticaj na okolinu što zahtjeva navedene promjene [1]. Prema pojedinim projekcijama, potrošnja električne energije bi se do 2030. godine trebala povećati za 50% [2]. Uključenje obnovljivih izvora električne energije kao što su vjetroelektrane ili solarne elektrane, električnih vozila PHEV (eng. *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) i PEV (eng. *Plug-in Electric Vehicle*) tipa, veoma brze tehnološke promjene te različite uloge potrošača i korisnika tržišta električne energije iziskuju nove tehnologije i unaprijeđenje elektroenergetskog sistema. Tehnologije kao što su distribuirana proizvodnja električne energije, unaprijeđene mjerne infrastrukture, sistemi za skladištenje električne energije, V2G (eng. *Vehicle-to-grid*) tehnologije elektromobila, nove informacione i komunikacione tehnologije i niz drugih daju pozitivne rezultate. Takve tehnologije, koje će dodatno biti obrađene u nastavku rada, donose zahtijevane promjene i postavljaju temelje pametnih elektroenergetskih mreža (PEEM).

Evropska tehnološka platforma (eng. *The European Technology Platform*) 2006. godine predlaže koncept pametnih elektroenergetskih mreža i definiše ih na sljedeći način [3]:

„Pametna elektroenergetska mreža je elektroenergetska mreža koja inteligentno integrira rad svih korisnika koji su spojeni na tu mrežu – generatora, potrošača i onih koji rade oboje – da bi efikasno dostavila održive, ekonomične i sigurne zalihe električne energije.“

Ministarstvo za energiju Sjedinjenih Američkih država definiše PEEM kao [3]:

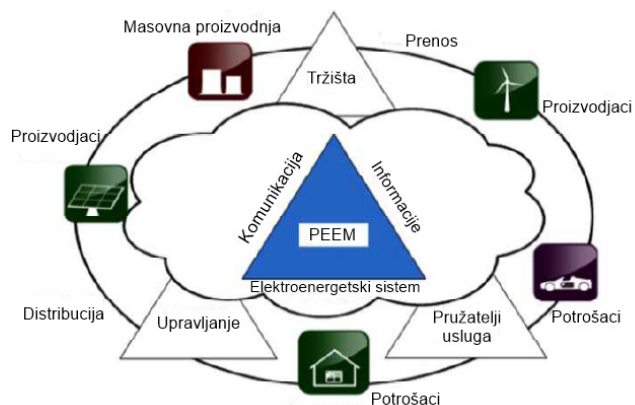
„Pametna elektroenergetska mreža koristi digitalnu tehnologiju za poboljšanje pouzdanosti, sigurnosti i efikasnosti (i ekonomske i energetske) elektroenergetskog sistema od krupne proizvodnje kroz distributivne sisteme do potrošača električne energije i sve većeg broja distribuiranih izvora električne energije i resursa skladištenja električne energije.“

Kao što se može zaključiti iz prethodnih definicija PEEM integrira sve korisnike koji su spojeni na tu mrežu i novu tehnologiju koja te korisnike povezuje. Također, poseban akcenat je stavljen na ekonomično, održivo i sigurno snabdjevanje električnom energijom. Kao takva, PEEM omogućava bolju distribuciju električne energije te oslobađa potrošača da donosi više odluka o sopstvenoj potrošnji električne energije.

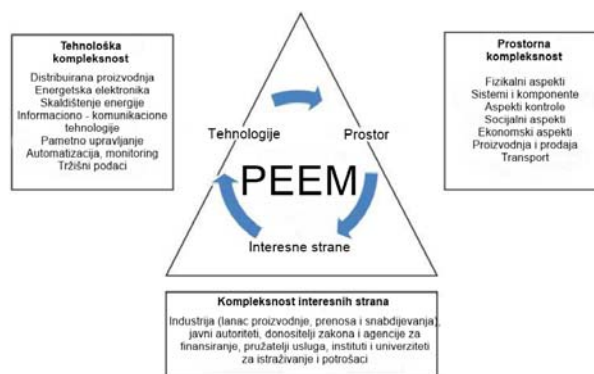
Koncept PEEM predstavlja skup senzora, komunikacija, upravljanja i novih filozofija vođenja postojeće elektroenergetske mreže srednjeg i niskog napona. Osnovni cilj ovog rada jeste indirektno postaviti određen probleme po pitanju koncepta PEEM i analize elektroenergetskih sistema. Jasno je da je većina problema posvećenja srednjenaponskoj i niskonaponskoj mreži.

II. KONCEPT PEEM

Elektroenergetska mreža je bila dizajnirana da funkcioniše kao vertikalna struktura koja se sastoji od proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije. Sa odgovarajućim aparatima održavala bi pouzdanost, stabilnost i efikasnost. Ipak, takav sistem teško da može podržati prethodno navedene promjene. Jednostavan prikaz PEEM može se vidjeti na Sl. 1.



Slika 1. Jednostavan prikaz PEEM [4]



Slika 2. Kompleksnosti pametnih elektroenergetskih mreža [4]

Kompleksnost modeliranja PEEM može se podijeliti na tri stavke [4]:

- Prostorna kompleksnost (eng. *dimensional complexity*);
- Tehnološka kompleksnost (eng. *technological complexity*) i
- Kompleksnost interesnih strana (eng. *stakeholder complexity*).

Šta čini ove kompleksnosti prikazano je na Sl. 2. Kao što se može primijetiti, filozofija i koncept modeliranja sveobuhvatnog sistema kao što je PEEM ogleda se u razbijanju tog sistema na više manjih problema kako bi se došlo do što lakših rješenja. U ovom radu posebno je posvećena pažnja prostornim i tehnološkim kompleksnostima PEEM. Vizija PEEM najviše se temelji na odvažnim programima istraživanja, razvoja i demonstracije koji prikazuju pravce prema mreži elektroenergetskog napajanja koja učinkovito može zadovoljiti potrebe civilizacije [5], kako trenutne tako i buduće.

Prenos velike količine podataka je podložan sajber napadima (eng. *cyber attack*) i krađi podataka. Pouzdanost prenosa preko informaciono – komunikacionih tehnologija je vrlo bitna. Koncepti poput optimizacije infrastrukture i povećanja efikasnosti operatora sistema daju mogućnosti proširenja prijema podataka o parametrima mreže. Sigurnost tih podataka i pravilna prevencija napada na mrežu smanjuju uticaj na korisnike i od velike su važnosti za PEEM.

III. SUDIONICI U PEEM

Pametne elektroenergetske mreže dodatno usložnjavaju jedan već kompleksan sistem. Potrebno je naglasiti da se postojeća elektroenergetska mreža neće temeljno promijeniti već će se pojedini njeni dijelovi nadograditi, unaprijediti i redefinisati u sklopu nove, pametne, elektroenergetske mreže. Okviri dizajniranja pametnih elektroenergetskih mreža se baziraju na restrukturiranju energetskega sektora i optimiziranju energetske infrastrukture [6]. Ono što se očekuje da bi PEEM trebale ispuniti dato je u Tabeli I.

Buduće PEEM će biti fleksibilnije, pouzdanije, sposobne za predviđanje odziva mreže na poremećaje, upotpunosti upravljane i bit će platforma koja će omogućiti koegzistiranje pametnih elektroenergetskih mreža sa velikim brojem distribuiranih izvora i centraliziranih elektrana velikih razmjera [6]. Promjene u proizvodnom, distributivnom i potrošačkom dijelu elektroenergetskog sistema bit će date u narednim potpoglavljima te će se posebna pažnja obratiti na informaciono – komunikacione tehnologije u PEEM.

A. Pametna proizvodnja električne energije

Pametna proizvodnja električne energije je sposobna da „uči“ o ponašanju resursa za proizvodnju električne energije čime bi se optimizirala proizvodnja [2]. Sposobna je da automatski održava standardne vrijednosti napona, frekvencije i faktora snage bazirano na povratnim informacijama iz višestrukih tačaka u mreži [2]. Tako definisana proizvodnja električne energije zasniva se na smanjenju učešća proizvodnje električne energije iz neobnovljivih izvora električne energije (npr. termoelektrane) i povećanju učešća proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora električne energije. Također je potrebno obratiti pažnju i na potrošača koji dobija novu ulogu u kojoj može postati, ukoliko se odluči za to, proizvođač električne energije.

Vrlo bitan dio PEEM jeste i distribuirana proizvodnja električne energije. Danas, distribuirani izvori električne energije dolaze u opsegu snaga od nekoliko vata do više stotina megavata. Mogu se napajati lokalno prisutnim energentima (sunčeva energija, energija vjetra, energija biomase) i, sa razvojem tehnologije, nosit će relativno nisku cijenu konstrukcije i puštanja u pogon [2]. Za industrijske komplekse, implementiranje lokalne distribuirane proizvodnje znači smanjenje troškova u pogledu pregovora sa snabdjevačima električne energije te izgradnje potrebne infrastrukture [7]. Daljnje prodiranje ovakvih proizvođača električne energije stvorit će konkurentne cijene na tržištu električne energije.

Proizvodnja električne energije u PEEM zasniva se i na elektranama koje su sposobne ispuniti lokalnu potražnju i preusmjeriti neiskorištenu energiju nazad u elektroenergetsku mrežu.

TABELA I. KARAKTERISTIKE KOJE ISPUNJAVA PEEM U ODNOSU NA POŽELJNE KARAKTERISTIKE [6]

Poželjne karakteristike	Pametna elektroenergetska mreža
Aktivno učešće potrošača	Informisani, uključeni potrošači – odziv potražnje DR (eng. <i>Demand Response</i>) i distribuirani izvori električne energije
Uključenje sve proizvodnje i opcija skladištenja električne energije	Mnogi distribuirani energetske resursi pogodni za priključenje sa fokusom na obnovljive izvore električne energije
Novi proizvodi, usluge i tržišta	Dobro integrisana veleprodajna tržišta; rast novih tržišta električne energije za potrošače
Obezbjedenje kvalitete električne energije	Kvaliteta električne energije je prioritet sa nizom opcija u odnosu na kvalitet ili cijenu – brzo rješavanje problema
Optimizacija infrastrukture i efikasnosti operatora	Veliko proširenje prijema podataka o parametrima mreže; fokus na prevenciju i minimiziranje uticaja na potrošače
Predviđanje odziva na poremećaje u mreži	Automatski detektuje i reaguje na probleme; fokus na prevenciju i minimiziranje uticaja na potrošače
Otpornost na sajber napade (eng. <i>cyber attacks</i>) i prirodne katastrofe	Otporna na sajber napade i prirodne katastrofe; brza mogućnost obnove

Takve elektrane su poznate kao kogeneratori i često koriste obnovljive izvore energije kao što su energija vjetra, sunčeva energija i energija biomase. U neke mikromreže su uključene i termoelektrane sposobne da nadoknade izgublenu toplotu (eng. *Combined Heat and Power (CHP)*) tako što se koriste u sistemima za hlađenje ili grijanje obližnjeg okruženja [8].

B. Pametna distribucija električne energije

Distributivna elektroenergetska mreža doživljava, pored potrošača, najveće promjene u odnosu na ostatak elektroenergetske mreže sa prelaskom na PEEM. Nekada pasivna, distributivna elektroenergetska mreža postaje aktivna i uspostavlja dvosmjernu komunikaciju između potrošača i ostatka mreže koja igra veliku ulogu u samom rukovanju pametnim elektroenergetskim mrežama. Pametna distributivna elektroenergetska mreža je sposobna za samoizliječenje (eng. *self-healing*), tj. za brz odziv na poremećaju u samoj mreži i automatski povratak ravnoteže i sopstvenu optimizaciju korištenjem alata za procesiranje signala i njihovu analizu kojim bi, u kombinaciji sa podacima o vremenu, prethodnoj historiji i sl., bila u mogućnosti brže detekcije ili čak predviđanja kvarova u distributivnoj mreži [2] bez interakcije ljudi.

Za takav poduhvat, što važi i za Potpoglavlje A, potrebna je unaprijeđena mjerna infrastruktura (eng. *Advanced Metering Infrastructure*) ili AMI i visokosofisticirani alati za procesiranje signala. Pojedini AMI uređaji kao što su pametna brojala su relativno jednostavni za implementaciju kod potrošača i čine uglavnom i prvi korak ka tranziciji prema

PEEM. To potvrđuje primjer Finske, koja ima gotovo stopostotnu pokrivenost pametnim brojljima [9].

C. Pametna potrošnja električne energije

Potrošač u PEEM dobija veliku slobodu u izboru načina na koji upravlja svojom potrošnjom. To omogućava prethodno navedeno uvođenje pametnih mjernih uređaja i, u budućnosti, pametnih kućnih aparata te dvosmjerne komunikacije koja obezbijeduje više informiranosti i uključenosti u mrežu samom potrošaču. Potrošači mogu promijeniti i svoju ulogu, tako što će postati i proizvođači električne energije (eng. *prosumer*). Tako definisani, postaju ključni dio PEEM i posmatraju se kao vitalni u procesu ubrzanja korištenja električne energije iz obnovljivih izvora [9].

Tako definisan potrošač, omogućuje tehnikama kao što su odziv potrošnje (eng. *Demand Response*) ili DR i upravljanje potražnjom (eng. *Demand Side Management*) ili DSM da dostignu svoj puni potencijal [10]. Kao što će se vidjeti u narednim redovima, ove tehnike omogućavaju oblikovanje potrošača prema potrebama mreže na obostrano zadovoljstvo.

DR se prema američkoj Regulatornoj komisiji za energiju (eng. *Federal Energy Regulatory Commission*) definiše na sljedeći način [9]:

„Odnos promjena u potrošnji električne energije sa strane potražnje, sa normalnih obrazaca potrošnje, i promjena u cijeni električne energije ili promjena uzrokovanih poticajima koji su dizajnirani da smanje potrošnju u vremenu visoke veleprodajne tržišne cijene ili kada je pouzdanost sistema u opasnosti.“

DR tehnika ima dva načina učestvovanja u elektroenergetskoj mreži. DR programi bazirani na vremenu (cijeni) u kojima potrošač bira da li će mijenjati svoju potrošnju u odnosu na promjene cijene električne energije sa vremenom i DR programi bazirani na poticajima potrošača u kojima se potrošač potiče na korištenje električne energije tokom različitih promjena na tržištu električne energije ili poticanje potrošača tarifnim sistemom.

Veliki uticaj na potrošača ima i prodiranje električnih vozila na tržište, konkretno elektromobila. Mnogi koraci ka njihovom integrisanju u elektroenergetski sistem su već načinjeni, i u svijetu, pogotovo u Evropi, gdje postoji sve veći broj punionica za elektromobile što dokazuje da su integralni dio PEEM. Korišteni kao borba protiv ekoloških i klimatskih promjena, značajno utiču na karakteristike potrošača, pogotovo pomenuti elektromobili PHEV i PEV tipa. PHEV elektromobil je hibridno električno vozilo koje ima mogućnost dopunjavanja električne baterije sa vanjskog električnog izvora kao i iz sopstvenog pogona, dok je PEV bilo koje električno vozilo koje se može dopuniti sa vanjskog izvora električne energije. Ukoliko bi se punjenje ovakvih elektromobila vršilo na kućnim izvorima električne energije, to bi uzrokovalo promjenu bazne potrošnje domaćinstava kao i promjenu cjelokupne karakteristike potrošnje potrošača. Zbog toga su DR i DSM tehnike vrlo bitne. Još jedna alternativa jeste i tehnologija V2G, koja omogućuje dvosmjernu komunikaciju između elektromobila i pametne elektroenergetske mreže te bi se na taj način dodatno poboljšali uslovi i za potrošača i za mrežu [10].

D. Informaciono – komunikacione tehnologije

Informaciono – komunikacione tehnologije imaju veliku ulogu u povezivanju prethodno pomenutih dijelova elektroenergetske mreže. Razmjena informacija i njihovo procesiranje u što kraćem vremenskom periodu predstavlja osnov za pravilno funkcionisanje pametne elektroenergetske mreže i pouzdano snabdijevanje električnom energijom. Uticaji kvarova, naprezanja mreže i prirodnih nesreća i katastrofa koji uzrokuju poremećaje i prekide u napajanju električnom energijom mogu se uveliko smanjiti sa umreženim monitoringom, dijagnozom i zaštitom stanja elektroenergetske mreže [11].

Za tok informacija unutar pametne elektroenergetske mreže potrebna su dva tipa komunikaciono – informacione infrastrukture [11]. Prvi tok se odnosi na tok informacija između pametnih senzornih uređaja i pametnih kućnih aparata prema pametnim brojilima, dok se drugi tok odnosi na tok informacija od pametnih brojila ka centrima za skladištenje podataka [11]. Prvi tok informacija se može uspješno obezbijediti pomoću komunikacije između energetskih vodova (eng. *Powerline Communication*) ili pomoću bežične komunikacije, kao npr. *ZigBee*, *6LowPan* i slične [11]. Za drugi tok informacija može se iskoristiti Internet [11].

Uprkos tome, kao što je naglašeno u [11], postoje ključni limitirajući faktori koji bi se trebali uzeti u obzir kada se govori o uspješnom razvijanju pametne infrastrukture. Ti faktori se odnose na vrijeme razvijanja, operativne troškove, dostupnost potrebnih tehnologija, ruralne/urbane sredine, itd. Također, od komunikaciono – informacionih tehnologija zahtijevaju se vrlo visoki standardi sigurnosti, kvaliteta usluge (eng. *Quality of Service*) ili QoS te su potrebna dodatna istraživanja kako bi se informaciono – komunikacione tehnologije u budućnosti dodatno poboljšale.

IV. SISTEMI ZA SKLADIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora dolazi sa određenim problemima. Glavni problem koji se nameće kod obnovljivih izvora električne energije jeste njihova promjenljiva i intermitirana priroda ponašanja. Dodatni problemi se javljaju u integraciji obnovljivih izvora električne energije na mjestima gdje je elektroenergetska mreža slaba i može proizvesti neprihvatljive varijacije u naponu uzrokovane fluktuacijama električne energije [12]. Jedno od rješenja za ovaj problem, kao i druge koji će biti navedeni, jeste integracija što više sistema za skladištenje električne energije koji će omogućiti, između ostalog, izjednačavanje snaga i regulaciju napona.

Sistemi za skladištenje električne energije mogu imati više tehničkih uloga i funkcija u PEEM, od kojih su neke [12]:

- **Podrška naponu mreže** – odnosi se na snabdijevanje električnom energijom distributivne elektroenergetske mreže za održavanje napona unutar prihvatljivog opsega.

- **Podrška frekvenciji mreže** – znači snabdijevanje aktivnom električnom energijom distributivne elektroenergetske mreže da bi se smanjila bilo kakva nagla neravnoteža i održala frekvencija mreže u dopustivim granicama za periode do 30 minuta.
- **Tranzijentna stabilnost mreže** – znači smanjenje oscilacija snage (zbog ubrzanih događaja) injektiranjem ili apsorpiranjem aktivne snage.
- **Izravnavanje opterećenja / rezanje vršnih vrijednosti** – izravnavanje opterećenja se odnosi na raspoređivanje određenih opterećenja da bi se smanjila potražnja za električnom energijom ili na proizvodnju električne energije u toku niže potrošnje koja bi se koristila tokom visoke potrošnje električne energije. Rezanje vršnih vrijednosti se odnosi na smanjenje potrošnje električne energije tokom vršnih perioda ili pomjeranje potrošnje sa vršnih perioda na periode kada su vrijednosti potrošnje niže.
- **Poboljšanje kvalitete električne energije** – kvaliteta električne energije je vezana za promjene u vrijednostima i oblicima napona i struje. Ova pojava rezultuje različitim problemima kao što su: harmonici, faktor snage, tranzijenti, flikeri, itd. Sistemi za skladištenje električne energije mogu pomoći ublažiti ove probleme.
- **Pouzdanost električne energije** – može se predstaviti kao odnos prekida snabdijevanja električnom energijom i ukupnog vremena napajanja. Sistemi za skladištenje električnom energijom mogu pomoći u pouzdanom snabdijevanju potrošača električnom energijom.

Električna energija se može skladištiti na raznovrsne načine i to putem mehaničke, elektrohemijske, električne i termalne energije. Parametri bitni za izbor uređaja za skladištenje električne energije su: količina pohranjenjene energije, snaga, period skladištenja i brzina punjenja i pražnjenja. Poređenja ovih načina skladištenja električne energije i njihove izvedbe dati su u Tabeli II.

Na skladištenje električne energije se ne treba gledati kao na pojedinačnu tehnologiju, već kao integralni dio budućnosti pametnih elektroenergetskih mreža. Može se reći da izazovi pametnih elektroenergetskih mreža ne mogu biti ostvareni niti realizovani bez prisustva i korištenja sistema za skladištenje električne energije u bilo kojem navedenom obliku. Razvoj ove oblasti doprinosi razvoju ideje PEEM.

V. PRIMJERI IMPLEMENTACIJE PEEM

PEEM je brzorastući skup tehnologija, procesa, uređaja i aplikacija koji poboljšavaju tradicionalnu elektroenergetsku mrežu. Današnji razvoj iste je veoma raznolik. Širom Evrope ima preko 450 projekata za testiranje i razvoj pametnih elektroenergetskih mreža. U dodatnih 90 projekata se počelo s instaliranjem prvih pametnih brojila u nekim

državama. Prema podacima Evropske komisije, proizvođači električne

TABELA II. NAČIN SKLADIŠTENJA ELEKTRIČNE ENERGJE [13][14]

Načini skladištenja električne energije	Tipovi skladištenja električne energije	Faze pretvorbe
Mehanička energija	-Skladištenje vode -Skladištenje komprimiranog zraka -Zamašnjaci	Dvije
Elektrohemijska energija	-Akumulatori s unutrašnjim skladištenjem -Akumulatori s vanjskim skladištenjem -Sistemi sa vodikom	Dvije
Električna energija	-Supravodljive zavojnice -Kondenzatori (različite tehnologije)	Nema pretvorbe
Termalna energija	-Vruća voda -PCM uređaj	Tri

energije i različiti mrežni operatori investirali su već oko 1,8 milijardi eura [15]. Najskuplji projekat financiran od strane EU, u vrijednosti od 54 miliona eura, je Grid4EU. Cilj je bilo istraživanje mogućnosti integracije obnovljivih izvora i električnih vozila u postojeći elektroenergetski sistem, kao i skladištenje električne energije, poboljšanje energetske efikasnosti, što su sve zapravo ciljevi Direktive o energetske efikasnosti iz 2012. godine [16].

Jedan od prvih pa i najvećih projekata implementacije pametnih elektroenergetskih mreža u Evropi jeste projekat kompanije Enel - **Telegestore**, u Italiji [17]. Projekat je započet 2001. godine dok je instalacija završena 2006. godine. Istim je obuhvaćeno instaliranje više od 32 miliona pametnih brojila. Ova brojila su omogućila Enel-u periodično prikupljanje podataka o kvaliteti napona i njegovim prekidima te o dnevnoj potrošnji. Dalje su bila omogućena mjerenja aktivne i reaktivne snage te, najbitnije, daljinsko upravljanje svim tim aktivnostima. Mjerni uređaji mogu prenijeti podatke o potrošnji, primati ažuriranja unaprijed postavljenih parametara i daljinski upravljati snabdjevačkim povezivanjem [18]. Projekt Telegestore se smatra prvom komercijalnom upotrebom tehnologije PEEM u domaćinstvima te pruža godišnju uštedu od 500 milijuna eura dok je ukupni trošak projekta bio 2,1 milijardu eura.

Danska već duži niz godina podržava tehnologiju pametnih elektroenergetskih mreža i to najvećim dijelom kroz implementaciju projekata iskorištavanja obnovljive energije vjetra. Čak 30% proizvodnje električne energije u Danskoj dolazi iz vjetroparkova. Pored tog izvršena je analiza uporedbe troškova nadogradnje tradicionalne mreže i PEEM. Došlo se do zaključka da je za nadogradnju PEEM potrebno 1,8 milijardi danskih kruna, dok je za tradicionalnu nadogradnju bilo potrebno 7,7 milijardi danskih kruna [19]. Važno je istaknuti danski grad Kalundborg, industrijski grad na sjeveru Danske sa 17.000 stanovnika. Plan ovog grada

jeste da do 2050. godine uopće ne koriste fosilna goriva, naftu, ugalj i plin [15]. Ta ideja se danas prenosi i na cijele države.

Veliki broj uspješno realizovanih projekata PEEM su implementirani na tlu Sjedinjenih Američkih Država. Najveći projekat je **ARRA** (eng. *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*) koji vrši poticaj i sufinansiranje lokalnih elektroprivreda - njihove ideje, vizije i projekte na ovom polju. Do 2015. godine je kroz ovaj projekat ugrađeno više od 65 miliona pametnih brojila [20]. Jedan od najstarijih projekata u SAD-u, koji je realizaciju započeo još 2003. godine jeste u američkom gradu Ostin, Teksas (eng. *Austin, Texas*). Prvo što je urađeno jeste da su zamijenili trećinu starih brojila pametnim brojlilima koja rade na principu bežične mreže. Projekat uključuje i ugradnju sinhrofazora kako bi se poboljšalo praćenje mrežnih uslova kod promjenjivih izvora energije vjetra i korištenje integriranih tehnologija PEEM, uključujući skladištenje energije, pametna brojila i uređaje, elektromobile i domaćinstva opremljena fotonaponskim sistemima od 1 do 3 (kW) [20]. Osim ovog, iz SAD-a je potrebno izdvojiti još neke uspješno implementirane projekte tehnologije pametnih elektroenergetskih mreža, i to: grad Glendale (eng. *Glendale*) – projekat AMI koji obuhvata implementaciju naprednih brojila na razini sistema, korištenje korisničkih sistema i kućnih prikaza, ugradnja opreme za automatizaciju distribucije i upravljanje distribuiranim skladištenjem energije. Projekat je započet 2009. godine i doveo je do smanjenja vršnih opterećenja, ukupne potrošnje električne energije i troškova poslovanja i održavanja. Ukupna vrijednost projekta je bila 51,3 miliona američkih dolara [21]; dalje su tu projekti na Floridi, u Pensilvaniji, Karolini, Koloradu, ali i mnogim drugim američkim saveznm državama [20] [22].

Na evropskom tlu, osim prethodno spomenute Danske i Italije, svjetao primjer je i Njemačka, tj. nekoliko modela i projekata koji rade na razvijanju rješenja za PEEM budućnosti, a oni su: **E-DeMa projekat**, **eTelligence projekat**, **MeRegio projekat**, **Moma projekat**, **model Harc (njem. Harz) regije (njem. RegModHarz)**, **Smart Watts projekat**. Svi ovi projekti su raspoređeni po geografskim regijama Njemačke, tako da je zapravo cijela država uključena u nadogradnju već postojeće infrastrukture [23]. Ono što je istraživačima i inženjerima još veoma zanimljivo jeste mali grad na jugu pokrajine Bavarska, Vildpolsrid (njem. *Wildpolsried*), koji je postao područje za testiranje pametnih elektroenergetskih mreža. Projekat se provodi od strane kompanije Siemens i lokalne elektroprivrede AÜW. Ovaj gradić proizvodi 500% više energije, nego što troši, tako da ostatak prodaje [24].

Osim EU i SAD-a, važnost ovog problema su uvidjele i Kina i Indija, tako da je i na području Azije došlo do snažnog napretka tehnologije na ovom polju.

VI. ZAKLJUČAK

Iako su definicije vezane za PEEM postavljene relativno nedavno mogu se vidjeti, podstaknuto različitim navedenim

zahtjevima, velike promjene u načinu pristupa modeliranju i analizi elektroenergetskih mreža. Obnovljivi izvori energije prodiru u elektroenergetске mreže, potrošači imaju sve veću ulogu i distributivna mreža doživljava sve veće promjene. Način posmatranja elektroenergetске mreže i razmišljanja o pojedinim njenim dijelovima su se promijenila što je, trenutno, veliki uspjeh, ali i dobar temelj za budućnost PEEM.

Integracija svih navedenih dijelova pametne elektroenergetске mreže u jedan sistem je ozbiljan zadatak za koji će biti potrebno mnogo godina da se potpuno uveže. No, primjeri koji su dati u ovom istraživanju su pokazali ohrabrujuće rezultate. Istraživanja i razvoj na ovom polju elektroenergetike omogućit će daljnji napredak pametnih elektroenergetskih mreža, kao i poboljšanje uslova za potrošače, ali i za samu mrežu. Uključenje novih informaciono – komunikacionih tehnologija i sistema za skladištenje električne energije su korak unaprijed i daju pravu sliku onoga za što je sposobna pametna elektroenergetska mreža. Sve u svemu, može se reći da PEEM potiču naučnike, profesionalce pa i studente da šire znanja potrebna da bi se ova tema razumjela kako bi u budućnosti imali sposobne ljude koji će pronalaziti još bolja rješenja na ovom polju.

ZAHVALNICA

Rezultat istraživanja na predmetu „Analiza elektroenergetskih sistema“ u okviru MSc studija na Elektrotehničkom fakultetu u Sarajevu je istraživački projekat, na osnovu kojeg je dalje nastao ovaj rad. Ovom prilikom se zahvaljujemo svojim Mentorima na podršci za izradu ovog rada: Doc.dr.sc Selma Hanjalić, dr.sc. Vedad Bečirović i MoE Vahid Helać.

LITERATURA

- [1] Z. Delić: „Pametna mreža – automatizacija i integracija novih tehnologija“, Infoteh-Jahorina, vol. 16, Mart 2017. godine
- [2] https://www.ieee.org/about/technologies/emerging/emerging_tech_smart_grids.pdf, B. Hoang, 26.12.2017. godine
- [3] A. B. M. Shawkat Ali (Editor), „Smart Grids: Opportunities, Developments and Trends“, Chapter 2, Springer – Verlag London, London, 2013. Godina
- [4] P.F. Ribeiro, C.A. Duque, P.M. da Silveira, A.S. Cerqueria, „Power Systems Signal Processing for Smart Grids“, John Wiley and Sons Ltd., Zapadni Suseks UK, 2014.godina
- [5] I. Novosel, D. Žigman, „Smart Grids – Pametne elektroenergetске mreže“, Polytechnic & Design magazine, vol. 4, no. 1, 2016. godina
- [6] J. Momoh, „Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis“, Wiley-IEE Press, 2012. Godina
- [7] R. Strzelecki, G. Benysek, „Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks“, Springer – Verlag London Limited, London, 2008. godina
- [8] H. Farhangi, „The path of the smart grid,“ in *IEEE Power and Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 18-28, Januar-Februar 2010. godina

- [9] K. Kotilainen, S. J. Mäkinen and P. Järventausta, „Understanding prosumers' intrinsic and extrinsic motivations to become active participants in smart grid innovation ecosystem,“ 53rd IEEE Conference on Decision and Control, Los Angeles, CA, 2014. godina, pp. 1-6.
- [10] A. Ipkachi, F. Albuyeh, „Grid of the future,“ in *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 7, no. 2, pp. 52-62, Mart-April 2009. godina
- [11] V. C. Gungor et al., „Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards,“ in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529-539, Novembar 2011. godina
- [12] A. Mohd, E. Ortjohann, A. Schmelter, N. Hamsic and D. Morton, „Challenges in integrating distributed Energy storage system into future smart grid,“ 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Kembridž, 2008. godina, pp. 1627-1632.
- [13] S. Brahma, „Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system“, IEEE PES Summer Meeting: 115-1119, 2000. godina
- [14] Salles MBC, Freitas W., Morelato A., „Comparative analysis between SVC and DSTATCOM devices for improvement of induction generator stability“, IEEE MELECON, Dubrovnik, Croatia, 2004.godina
- [15] <http://www.dw.com/bs/pametne-elektri%C4% Dne-mre%C5%BEE-u-europi/a-17005377>
- [16] GRID4EU final event, EU, januar 2016.godina
- [17] <https://www.enel.com/media/news/d/2016/07/smart-grids-for-a-greener-europe>
- [18] „Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments“, European Commission Joint Research Centre Institute for Energy, Luxembourg: Publications Office of the EU, 2011.godina
- [19] Danish Energy Agency; Wind Power Prognosis, n.d.; Breslin 2009.; Danish Energy Association (n.d.), 2012.godina
- [20] ARRA Smart Grid Demonstration Projects – http://www.energy.gov/sites/prod/files/edg/news/documents/SG_Demo_Project_List_11.24.09.pdf, 2009.godina
- [21] Glendale water and power Smart Grid program, Energy Research and Development Division FINAL PROJECT REPORT, 2015.godina
- [22] http://openci.org/wiki/Category:Smart_Grid_Projects
- [23] Smart Energy made in Germany Interim results of the E-Energy pilot projects towards the Internet of Energy (2012.), B.A.U.M Consult GmbH, Munich/Berlin, 2012.godina
- [24] <http://www.obnovljivi.com/svijet/3170-mali-grad-u-njemackoj-postao-podrucje-za-testiranje-pametne-mreze>
- [25] D. Marković, „Visit report, Wildpolsried – home of the power pioneers“, 2016. godina

ABSTRACT

This is an overview related to the topic of Smart electrical energy networks (SEEN). In the introduction valid definitions and the concept of SEEN is given. Through Chapter III the importance of SEEN is shown and the expectations of SEEN are conveyed. Special attention to the concept of electrical energy storage is given. Before the conclusion this paper contains the analysis of interesting examples of SEEN concepts.

Present and Future of Smart Electrical Energy Networks

Benjamin Arslanagic, Ali Damadzic, Aldin Gosto, Sanela Mesic, Ismar Musanovic