

# Pametna mreža – automatizacija i integracija novih tehnologija

Zorica Delić

Student drugog ciklusa studija  
Elektrotehnički fakultet  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
delic.zorica@gmail.com

*Sažetak*—Postojeći elektroenergetski sistem suočava se sa velikim ekološkim, finansijskim i tehničkim izazovima, zbog čega ga je neophodno modernizovati. Da bi se značajno poboljšala pouzdanost, energetska efikasnost, sigurnost i kvalitet napajanja električnom energijom, neophodno je izgraditi pametnu električnu mrežu (smart grid) koja će integrisati aktivnosti svih korisnika – proizvođača, potrošača i onih koji su i jedno i drugo. Pametna mreža primjenjuje informacione tehnologije, alate i tehnike koji mrežu čine efikasnijom i fleksibilnijom, dok potrošači postaju interaktivni primjenom novih tehnologija koje omogućavaju kontrolu i nadzor nad potrošnjom električne energije.

*Ključne riječi*—pametna mreža; distribucija električne energije, pametna brojila; obnovljivi izvori

## I. UVOD

Elektroenergetski sistem u Bosni i Hercegovini nije se značajno mijenjao proteklih 50 godina, iako još uvijek funkcioniše dobro, neophodno ga je nadograditi i usavršiti. Tehnološki napredak uticao je na naš način života, povećanje zagađenosti životne sredine, kao i na potrošnju električne energije, pa tradicionalni pristup izgradnje hidro i termoelektrana kako bi se zadovoljila potražnja za električnom energijom više ne može biti jedina opcija [1]. Potrebno je pronaći način da se zadovolje energetske potrebe potrošača na način da se obnovljivi izvori električne energije integrišu u postojeći elektroenergetski sistem. Osim toga, implementacijom pametne mreže došlo bi do unaprijeđenja infrastrukture prenosne i distributivne mreže, obezbijedilo bi se bezbjedno i besprekidno napajanje električnom energijom, kao i uspješno upravljanje cjelokupnim elektroenergetskim sistemom.

U ovom radu je analizirana tehnologija pametne mreže, njene prednosti i mane iz perspektive operatera distributivne mreže kao i iz perspektive potrošača, sa fokusom na tehnologije koji ovu mrežu čine efikasnijom, kao što su pametna brojila, dvosmjerna komunikacija u realnom vremenu između potrošača i distributera, distribucija električne energije koja uključuje obnovljive izvore i skladištenje energije.

## II. PAMETNA MREŽA (SMART GRID)

Pametna mreža predstavlja jedinstvenu priliku za elektroenergetsku industriju da postane pouzdanija, dostupnija, ekonomičnija i ekološki prihvatljivija. Ovakav elektroenergetski sistem se temelji na integraciji dvosmjernih komunikacionih i informacionih tehnologija, skladištenju električne energije, automatizaciji distributivne mreže, integraciji obnovljivih izvora energije [2].

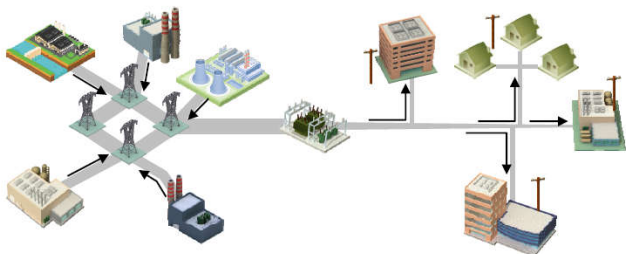
Postoje mnoge definicije koje objašnjavaju šta se krije iza ideja pametne mreže, tako je i EREGEG (European energy regulators) pametnu mrežu definisao kao, elektroenergetsku mrežu koja je u mogućnosti da integriše navike i akcije svih korisnika, uključujući proizvođače, distributere i potrošače električne energije, kako bi se osigurala ušteda električne energije i ekonomska efikasnost mreže sa manjim energetske gubicima i redovnim snabdijevanjem potrošača [3]. Ovakav sistem omogućava praćenje, analizu, kontrolu i komunikaciju unutar elektroenergetske mreže i uveden je sa ciljem da se prevladaju slabosti uobičajenog elektroenergetskog sistema. Integracijom pametnih mreža pružaju se brojne pogodnosti kao što su:

- efikasniji prenos i distribucija električne energije i trenutno prikupljanje podataka sa mreže,
- trenutno detektovanje kvarova na mreži, te brže uspostavljanje ponovnog snabdijevanja potrošača električnom energijom,
- smanjenje troškova pri prenosu i distribuciji električne energije, što direktno dovodi do smanjenja troškova potrošača,
- integracija obnovljivih izvora električne energije, (solarni paneli, vjetroelektrane, nuklearne elektrane) u elektroenergetski sistem,
- upotreba hibridnih i električnih automobila, pa samim tim i smanjena emisija štetnih gasova [1], [4].

Iako uočavamo da se pametna mreža smatra ključnom tehnologijom za razvoj postojećeg elektroenergetskog sistema, taj proces će biti složen i dugotrajan jer će modernizacija trenutne mreže uticati na cjelokupan proces proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije.

### A. Pametne mreže i postojeći elektroenergetski sistem

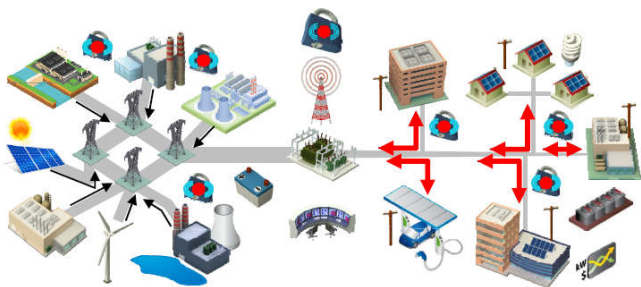
Na Sl. 1 prikazana je mreža postojećeg elektroenergetskog sistema koju karakteriše jednosmjerni protok podataka, kao i jednosmjerni tokovi električne energije, od velikih proizvođača električne energije kao što su elektrane, ka industrijskim potrošačima i domaćinstvima [5].



Slika 1. Infrastruktura postojećeg elektroenergetskog sistema [5]

Ovakva infrastruktura nije dizajnirana da zadovolji sve veće zahtjeve potrošača i povećanu potrošnju električne energije, pa je izložena konstantnom proširenju, finansijski neefikasnom održavanju postojeće infrastrukture i mnogobrojnim sigurnosnim prijetnjama [6].

Sa druge strane, na Sl. 2 prikazani su elementi koji su dio potpuno funkcionalne pametne mreže. Infrastrukturu pametne mreže karakteriše dvosmjerni protok električne energije, dvosmjerna komunikacija u realnom vremenu, uređaji za skladištenje električne energije, pametni mjerni uređaji [6].



Slika 2. Infrastruktura pametne mreže sa svojim osnovnim funkcijama [5]

Pametna mreža i dalje u zavisi od velikih hidro, termo i nuklearnih elektrana, ali takođe uključuje i značajan broj uređaja za skladištenje električne energije, implementaciju obnovljivih izvora energije posebno u distributivnim elektroenergetskim mrežama, kao i veću funkcionalnost cijelog elektroenergetskog sistema i veću primjenu električnih automobila [5], [6]. U ovakvom sistemu posebno mjesto zauzimaju senzori, kontrolni centri i direktno učešće potrošača u upravljanju energetskim tokovima. Shodno tome dolazi do poboljšanja pouzdanost, sigurnosti, energetske i finansijske efikasnosti i kvaliteta napajanja, a pri tome je i ekološki prihvatljivije.

### III. KOMPONENTE PAMETNE MREŽE

Brojne tehnologije koje se koriste pri izgradnji pametne mreže prožimaju čitav elektroenergetski sistem od proizvodnje,

do prenosa i distribucije električne energije različitim potrošačima. Pojedine tehnologije su u potpunosti razvijene za primjenu, dok druge zahtjevaju dalja istraživanja i razvoj. U potpunosti prilagođen elektroenergetski sistem primjenjivace navedene tehnologije, ali nije neophodno primjeniti sve da bi elektroenergetski sistem postao „pametniji“ [7].

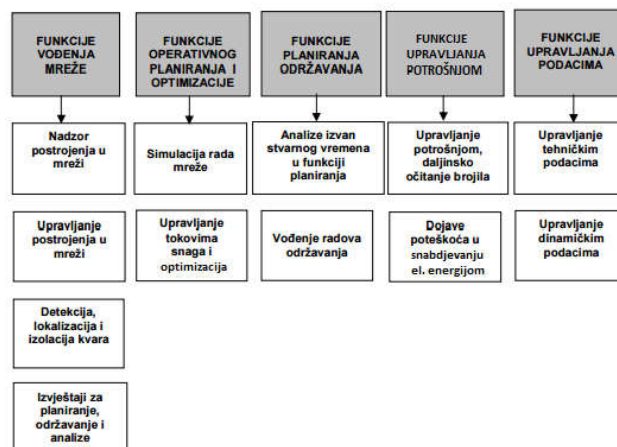
### A. Integracija informacionih i komunikacionih tehnologija

Pametna mreža se u velikoj mjeri oslanja na prikupljanje podataka, komunikaciju i nadzor cjelokupnog elektroenergetskog sistema. Da bi se to postiglo neophodno je sofisticiranu informacionu tehnologiju integrisati u postojeću elektroenergetsku infrastrukturu. Bežični telekomunikacioni sistem i radio frekvencija su neke od opcija koje teže da postanu standard u ovoj vrsti komunikacije [8]. Ovakav sistem komunikacije bi i dalje koristio optičke kablove i mrežu, te bi na taj način predstavljao mješavinu postojećeg komercijalnog načina komuniciranja i novih tehnologija.

U osnovi navedene komunikacione infrastrukture, neophodno je obezbijediti dvosmjerni protok podataka između proizvođača i potrošača električne energije, kao i tokom prekida napajanja, da bi se obezbijedilo što efikasniji rad elektroenergetskog sistema [7].

### B. Savremene metode upravljanja i automatizacija distributivne mreže

Elektrodistributivni sistem je skup međusobno povezanih elektroenergetskih mreža čija je funkcija da unutar pripadne teritorije omoguće distribuciju električne energije od napojnih tačaka sistema (transformatorske stanice na granici prenos/distribucija) do praga pojedinačnih ili grupnih potrošača. Sve više preduzeća koja se bave distribucijom električne energije nadograđuje svoje elektroenergetske sisteme pametnim tehnologijama, sa ciljem da osiguraju kvalitet električne energije i pouzdanost rada. Automatizacija distribucije (Distribution Automation) uglavnom se povezuje sa daljinskim nadzorom i upravljanjem srednjonaponskih postrojenja. Međutim, radi se o složenom skupu funkcija koje se realiziraju ugradnjom sklopne i programske opreme u postrojenjima i nadzornim centrima [9]. Ove funkcije sa svojim podfunkcijama prikazane su na Sl. 3.



Slika 3. Automatizacija distribucije – opseg funkcija i podfunkcija [9]

Upravljanje podacima u realnom vremenu, prikaz komponenti i performansi elektroenergetskog sistema sa velikog geografskog područja, pomaže operaterima da optimizuju i shvate sve dijelove elektroenergetskog sistema. Računarski algoritami prikupljaju podatke za analizu i prate sve bitne komponente pametne mreže [7]. Ovakve metode upravljanja osim automatizacije distribucije električne energije uključuju, modelovanje elektroenergetske mreže i vizualizaciju cjelokupnog sistema. Na ovaj način dolazi do smanjenja broja dugoročnih prekida napajanja, olakšava se interakcija sa obnovljivim izvorima električne energije i poboljšava pouzdanost cjelokupnog elektroenergetskog sistema [8].

### C. Skladištenje električne energije

Mogućnost skladištenja električne energije pruža veliku fleksibilnost u radu elektroenergetske mreže i određen stepen autonomije između proizvodnje i potrošnje. Energija se skladišti kada proizvodnja nadmašuje potrošnju, a rezerve se koriste kad je potrošnja veća od proizvodnje. Na ovaj način se proizvodnja električne energije ne treba drastično povećavati i smanjivati prema zahtjevima potrošnje nego se održava ravnomjernom. Ovo može biti naročito korisno u slučaju obnovljivih izvora, kao što su solarni paneli ili vjetroelektrane, koji proizvode električnu energiju uz određene prekide [8]. Neke od metoda za skladištenje električne energije su:

- velike baterije sa tečnim metalom, kao i natrijum-sumporne baterije,
- kompresovanje vazduha pomoću viška električne energije,
- super kondenzatori – razvijena je nova vrsta kondenzatora koji mogu da skladište i oslobađaju velike količine električne energije,
- zamajci – rotirajući diskovi koji skladište višak kinetičke energije [8].

Određene mogućnosti za skladištenje električne energije su već dostupne, dok su mnoge još uvijek u razvoju, a njihova šira upotreba bi dovela do smanjenja troškova.

### D. Pametna brojila

Pametno brojilo je izraz koji se koristi da bi se opisali novi elektronski uređaji za mjerenje električne energije, koji će veoma brzo zamjeniti stara elektromehanička brojila. Pametna brojila uspostavljaju dvosmjerni protok podataka između potrošača i distributera električne energije i to tako da se podaci šalju komunikacijskom mrežom, koja može uključivati elektroenergetske vodove, radio veze ili veze mobilne telefonije [10]. Nakon ugradnje pametnih brojila, distributeri lakše mogu odrediti mjesta prekida napajanja, nemaju više potrebu slati osoblje radi očitavanja električne energije ili uključivanja i isključenja potrošača sa mreže.

Pametna brojila pomažu i pri smanjenju krađe električne energije. U ugradnji pametnih brojila u Evropi prednjači Italija, čija je elektroprivredna kompanija Enel od 2001. godine ugradila više od 30 miliona pametnih brojila kod svojih potrošača [11]. Integracija pametnih brojila u pametnu elektroenergetsku mrežu prikazana je na Sl. 4.



Slika 4. Integracija pametnih brojila u elektroenergetski sistem

Osim veće kontrole pametna brojila distributerima električne energije omogućavaju i veću fleksibilnost, pa tako tokom dana mogu mijenjati cijenu električne energije u odnosu na potrošnju, što bi potrošače podstaklo da električne aparate koriste u vrijeme pada potrošnje i cijene električne energije. Istraživanja su pokazala da na ovaj način dolazi do smanjenja potrošnje električne energije približno za 7%, a tokom vršne potrošnje za 15%. Smatra se da bi tako potrošači smanjili svoje račune do 10% na godišnjem nivou, dok bi distributerima smanjenje potrošnje tokom vremena vršne potrošnje omogućilo veću stabilnost elektroenergetskog sistema.

### E. Sigurnosne norme i privatnost korisnika

Pametna mreža suočena je sa ozbiljnim izazovima koji proizilaze iz složenosti samog sistema. Ovakav sistem zahtjeva sve veći razvoj i primjenu računarske i komunikacione infrastrukture, što omogućava preciznije upravljanje i kontrolu cjelokupnim sistemom, što je neophodno da bi se podržale neke od osnovnih funkcija pametne mreže, kao što su prikupljanje mjernih podataka sa velikog područja, skladištenje i automatizacija distribucije električne energije [12]. Svaki složeni sistem ima svoje slabosti i izazove, pa ni pametna mreža nije izuzetak. Kako se elektroenergetski sistem sve više oslanja na komunikaciju pomoću računarskih mreža i interneta, sigurnosni sistem sve više će zavisiti od njihove bezbjednosti i ljudskog faktora. Neke od tih izazova razmotrićemo u nastavku.

Kada govorimo o automatizaciji sistema, neohodno je definisati povjerenje između potrošača i distributera, tako da svaki korisnik pristupa preciznim podacima u odgovarajućem vremenskom periodu, a da pri tome podaci nisu izmjenjeni. U ovakvom elektroenergetskom sistemu pametna brojila su veoma česte mete hakera, zbog mogućnosti manipulisanja

troškovima električne energije, kao i količinom energije koja je predata u elektroenergetski sistem [6], [12].

Zbog upotrebe pametnih brojila dovodi se u pitanje i privatnost potrošača. Ustaljeni obrasci potrošnje električne energije određenog potrošača, mogu dovesti do otkrivanja ne samo koliko električne energije troše, već i kada su kod kuće, na posli ili na putu. Takođe ugrožavanjem HAN (Home Area Network) i AMR (Automatic Meter Reading) mreže bi bilo moguće otkriti koje vrste električnih aparata i uređaja potrošači koriste [12]. Kada se radi o privatnosti industrijskih potrošača, informacije o iznenadnom povećanju ili smanjenju potrošnje električne energije, koje mogu sugerisati na promjene u poslovanju, usled hakerskog napada mogle bi biti izložene konkurentskim kompanijama.

Kompleksnost i obim budućeg elektroenergetskog sistema postaviće mnoge sigurnosne izazove, pa je u cilju zaštite elektroenergetske infrastrukture od navedenih prijetnji, potrebno obezbijediti nekoliko nivoa sigurnosti, pažljivo dizajnirati i omogućiti nadogradnju programa u pametnoj mreži, edukovati potrošače, transparentno ulagati u dalji razvoj i zaštititi potrošače od neovlaštenog dijeljenja njihovih podataka [4]. Na taj način bi se smanjio rizik od neovlaštenog pristupa podacima usljed kvara bilo kog sigurnosnog nivoa i omogućio bezbjedan rad cijelokupnog sistema. Takođe je neophodno zakonski definisati ko bi imao pristup prikupljenim podacima i način na koji bi se sankcionisalo eventualno izlaganje podataka. Upotreba ovakvog sigurnosnog sistema uzrokovala bi eksponencijalno povećanje troškova, ali bi u mnogome smanjila mogućnost hakerskih napada [13].

#### IV. TREND RAZVOJA U EVROPI I SVIJETU

Finansiranje mnogobrojnih projekata u oblasti pametnih mreža, kao i niz direktiva potvrđuju da je Evropska Unija orijentisana ka razvoju pametne elektroenergetske mreže. Izvještaj Instituta za energiju i transport JRC-a Evropske komisije iz 2015. godine potvrđuje da je u tom momentu bilo aktivno 459 istraživačkih, razvojnih i demonstrativnih projekata iz oblasti pametnih mreža [14]. Najskuplji projekat finansiran od strane Evropske Unije, u vrijednosti od 54 miliona evra, je Grid4EU. Cilj projekta je istraživanje mogućnosti integracije obnovljivih izvora i električnih vozila u postojeći elektroenergetski sistem, skladištenje električne energije, automatizacija sistema i poboljšanje energetske efikasnosti. Projekat je vođen od strane 6 operatora distributivnih sistema koji pokrivaju 50% potrošača električne energije u Evropi (ERDF, Enel Distribuzione, Iberdrola, CEZ Distribuce, Vattenfall Eldistribution i RWE).

Veoma interesantan eksperiment iz ove oblasti sprovode kompanija Siemens i lokalna elektroprivreda AÜW u malom gradu Wildpoldsried na jugu Njemačke [15]. Ovaj gradić sa 2600 stanovnika primjenjujuću tehnologije pametne mreže i proizvodi 500% više električne energije nego što je potrebno potrošačima, a višak prodaje u elektroenergetsku mrežu.

Uz Evropsku Uniju veliki pokretač razvoja tehnologija pametnih mreža jeste i SAD. IntelliGrid je projekat pokrenut od strane EPRI (Electric Power Research Institute) da bi se

obezbijedila metodologija, neophodni softverski alati i tehnička podrška, te preporuke za buduće standarde u energetici [16]. Nekoliko vodećih SAD kompanija iz oblasti energetike (Southern California Edison, Long Island Power Authority, Salt River Project i TXU Electric Delivery) već su uključeni u ovaj projekat.

Jedan od vodećih projekata u svijetu iz ove oblasti pokrenut je od strane američke vlade, kao paket mjera za izlazak iz recesije (American Recovery and Reinvestment Act of 2009 - ARRA) [14], [16]. Ovaj projekat zahtjeva sufinansiranje lokalnih elektroprivreda, te je na taj način do sada uloženo više od 9 milijardi američkih dolara [16]. Procjenjuje se da je u sklopu ARRA prijekta do kraja 2015. godine ugrađeno 65 mliona pametnih brojila, što predstavlja više od trećine potrošača u SAD [14], [16].

Kina i Indija kao najmnogoljudnije zemlje polako dostižu zapadne zemlje i u području razvoja pametnih elektroenergetskih mreža. Kina je do kraja 2015. godine ugradila oko 500 miliona pametnih brojila, dok Indija prednjači u integraciji obnovljivih izvora energije u postojeći elektroenergetski sistem [14].

#### V. ZAKLJUČAK

Postojeći elektroenergetski sistem susreće se sa sve više izazova, kao što su povećana potrošnja električne energije i sve manje zalihe fosilnih goriva. Zbog toga ga je neophodno poboljšati realizacijom koncepta pametnih mreža i na taj način riješiti većinu sadašnjih energetske pitanja i problema.

Pametna mreža je veoma efikasan način da se premosti jaz između proizvodnje i potražnje električne energije, kao i za poboljšanje elektroenergetske efikasnosti. Na taj način neće se omogućiti samo kvalitetnije snabdijevanje i ušteda električne energije, već će se podsticati prihvatanje svih oblika „zelenih“ tehnologija, uključujući vjetroelektrane, solarni paneli, električna vozila i pametna brojila.

#### ZAHVALNICA

Zahvaljujem se prof. dr Stevanu Stankovskom pod čijim mentorstvom je nastao ovaj rad u okviru predmeta Metodologija naučnog rada, na drugom ciklusu studija Elektrotehničkog fakulteta u Istočnom Sarajevu, kao i mr Aleksandru Mastiloviću na korisnim sugestijama i savjetima prilikom izrade rada.

#### LITERATURA

- [1] <http://www.whatissmartgrid.org/>
- [2] A. Shukla, N.Kharat, R.Sakhare, "A Study on Power System: Smart Grid" International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, pp. 7732-7737, septembar 2015.
- [3] F. Skopik, P. Smith, „Smart Grid Security: Innovative Solutions for a Modernized Grid“ Elsevier 2015.
- [4] S. Succar, R. Cavanagh, „The Promise of the Smart Grid: Goals, Policies, and Measurement Must Support Sustainability Benefits“ NRDC Issue Brief, oktobar 2012.
- [5] G. Horst, M. McGranaghan, P. Myrda, „Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid - A Preliminary Estimate of the Investment

Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid“, Electric Power Research Institute (EPRI), mart 2011.

- [6] K. Al Wannan, „Enhancement of Distribution Networks through utilization of Smart Grid“, Dubai electricity & Water Authority (DEWA)
- [7] International Energy Agency, „Technology Roadmap – Smart Grids“, 2011.
- [8] <http://www.myfloridahomeenergy.com/help/library/energy-services/smart-grid/#sthash.51u8di8K.O8LmQaUp.dpbs>
- [9] D. Micek, D. Runjić, D. Majerić, „Automatizacija distributivne mreže – jučer, danas, sutra“, HO CIRED maj 2008.
- [10] „Health and safety aspects of electricity smart meters“, New Zealand's Centre of Excellence for Power Engineering, maj 2012.
- [11] <https://www.scribd.com/document/28231867/Pametne-električne-mreže>
- [12] <https://www.scribd.com/document/30654525/Smart-Grid>
- [13] S. Massoud Amin and Anthony M. Giacomoni, „Smart Grid—Safe, Secure, Self-Healing“, IEEE power and energy magazine, februar 2012.
- [14] Č. Zeljković, P. Mršić, Đ. Lekić, „Trendovi implementacije inteligentnih elektroenergetskih mreža“, ENEF 2015, Banja Luka, septembar 2015.
- [15] <http://www.obnovljivi.com/svijet/3170-mali-grad-u-njemackoj-postao-podrucje-za-testiranje-pametne-mreze>

- [16] [https://www.smartgrid.gov/document/progress\\_and\\_results\\_arra\\_smart\\_grid\\_programs.html](https://www.smartgrid.gov/document/progress_and_results_arra_smart_grid_programs.html)

#### ABSTRACT

Today's grids confront serious environmental, financial, technical and operational challenges, and because that it must be modernized. In order to significantly improve reliability, efficiency, safety and quality of power supply, it is necessary to build a smart power grid, which will integrate the activities of all users who are connected to it - producers, consumers and those that are both. Smart grid applied information technology, tools and techniques that make the network more efficient, while consumers are becoming interactive by using smart electric meters, which allow control and monitoring of power consumption.

#### **SMART GRID – AUTOMATIZATION AND INTEGRATION OF NEW TECHNOLOGIES**

Zorica Delić