

INTERNET ENERGIJE: KONCEPT, ARHITEKTURA I PERSPEKTIVE PRIMENE

Slavica V. Boštjančič Rakas¹, Mirjana D. Stojanović², Jasna D. Marković-Petrović³

¹Univerzitet u Beogradu - Institut Mihajlo Pupin, slavica.bostjancic@institutepupin.com

²Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, m.stojanovic@sf.bg.ac.rs

³JP EPS Beograd, jasna.markovic-petrovic@eps.rs

Rezime: U radu su predstavljene osnovne postavke Interneta energije kao evolucionog rešenja nastalog na osnovu savremenog tehničko-tehnološkog razvoja i potreba društva, uključujući arhitekturu i ključne pojmove, kao što su energetske ruter, "prosumer" i virtuelne elektrane. Predstavljena je arhitektura savremene informacione i komunikacione podrške elektroenergetskom sektoru, uključujući osnovne karakteristike i integraciju tehnologija budućeg Interneta, kao i problemi sajber bezbednosti koji nastaju uvođenjem ovakvih tehnologija. Prikazan je pregled aktuelnih istraživanja i identifikovani su problemi i pravci budućeg istraživanja.

Ključne reči: elektroenergetski sistem, Internet stvari, računarstvo u oblaku, računarstvo u magli, zaštita.

1. Uvod

Od početka primene električne energije odnosno druge industrijske revolucije, elektroenergetski sistemi prošli su kroz četiri faze razvoja, od decentralizovanih i centralizovanih preko distribuiranih do inteligentnih sistema. Savremeni tehnološki razvoj senzorskih i mernih elemenata i težnja ka optimalnoj integraciji distribuiranih izvora električne energije usloveli su ideju o inovativnom obliku elektroenergetskih sistema koji se naziva Internet energije (*Energy Internet, Internet of Energy*) [1], [2], [3].

Tehnologije budućeg Interneta (*Future Internet, FIN*), kao što su računarstvo u oblaku (*Cloud Computing*), Internet stvari (*Internet of Things, IoT*), *Big Data* analitika, mobilni Internet, sve više nalaze mesto i u tradicionalnom elektroenergetskom sektoru, i to u svim njegovim delovima, od proizvodnje i prenosa do distribucije i potrošnje [4]. Istovremeno, sve raznovrsniji distribuirani izvori električne energije i sve veća količina podataka kombinuju se u cilju stvaranja fleksibilnih, personalizovanih i efikasnih sistema proizvodnje i potrošnje električne energije.

Trendovi razvoja savremenog elektroenergetskog sistema zahtevaju integraciju bežičnih senzorskih mreža, aktuatora, inteligentnih mernih uređaja i drugih komponenti sa FIN u cilju obezbeđivanja detaljnijeg uvida u proizvodnju i potrošnju energije i predviđanja budućih akcija sa ciljem povećanja energetske efikasnosti i smanjenja

ukupnih troškova. Primena IoT u elektroenergetskom sistemu unapređuje vidljivost objekata sistema, optimizuje upravljanje distribuiranim izvorima električne energije, smanjuje gubitke električne energije, kao i ukupne troškove proizvođača i potrošača.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju opisan je razvoj elektroenergetskog sistema kroz istoriju. Treće poglavlje sadrži opis ključnih pojmova i arhitekture Interneta energije, kao i opis FIN tehnologija kao osnove Interneta energije. Četvrto poglavlje posvećeno je problemima zaštite u okruženju Interneta energije, dok su u petom poglavlju prikazani pravci budućeg istraživanja. Šesto poglavlje sadrži zaključna razmatranja.

2. Razvoj elektroenergetskog sistema kroz istoriju

Od druge industrijske revolucije do danas tehnologija proizvodnje i potrošnje električne energije prošla je kroz velike razvojne procese, koji mogu da se podelu u četiri osnovne faze [5]:

(1) **Decentralizovani sistem.** Na početku primene električne energije, nivo proizvodnje i potrošnje električne energije je bio relativno nizak. Potražnja je bila zadovoljena malim generatorima na veoma niskom tehnološkom nivou i male proizvodnje. Ovakav sistem je bio izolovan i ne tako efikasan.

(2) **Centralizovani sistem.** U vreme ubrzane industrijalizacije, tehnologija proizvodnje električne energije ostvarila je veliki napredak. Glavni izvor električne energije postale su međusobno povezane različite elektrane. Proizvodnja električne energije je postala nezavisan i važan industrijski sektor. Centralizovana proizvodnja velike količine električne energije u velikoj je meri poboljšala efikasnost snabdevanja električnom energijom. Centralizovana proizvodnja, prenos energije na velike daljine i stabilno snabdevanje su u velikoj meri smanjili i troškove.

(3) **Distribuirani sistem.** Sa sve ozbiljnijim problemima u vezi sa potrebnim resursima i negativnim uticajem na životnu sredinu, postala je sve važnija izgradnja čistijeg odnosno ekološki orijentisanog elektroenergetskog sistema [6]. Brz razvoj tehnologija povezanih sa obnovljivim izvorima električne energije, npr. vetroparkovi i solarne elektrane, omogućio je razvoj distribuirane proizvodnje električne energije i mikromreža. Razvila se tendencija manjeg oslanjanja na električnu energiju koja se dobija iz fosilnih goriva i na prenos električne energije na daljinu. Sa druge strane, rasla je potreba za efikasnom distribucijom energije i smanjenjem gubitaka kod distribuiranih izvora energije. Tako je od velike važnosti bilo da se obezbedi ravnoteža između ponude i potražnje električne energije, poboljša energetska efikasnost i promoviše održivi razvoj. Distribuirani elektroenergetski sistem je komplementaran sa tradicionalnim centralizovanim elektroenergetskim sistemom.

(4) **Inteligentan i povezan sistem.** Predstavlja deo Industrije 4.0. Tehnologije budućeg Interneta sve više postaju deo tradicionalnih industrijskih sektora, uključujući i elektroenergetski sektor. Uvođenjem računarstva u oblaku, IoT-a, *Big Data* analitike, mobilnog Interneta, tradicionalni elektroenergetski sistem postaje inteligentniji. Ključni postaju napredni merni sistemi koji uključuju upravljanje potrošnjom i brojljima (*smart metering*), kao i prikupljanje i obrada velikih količina podataka. *Big Data* i razvoj usmerenih marketinških strategija omogućili su dvosmernu interakciju i poboljšanje kvaliteta servisa. Nastaju novi proizvodi, servisi i poslovni modeli.

Osnovni cilj evolucije jeste migracija elektroenergetskog sistema ka Internetu energije, odnosno stvaranje pametnog, efikasnog, bezbednog, fleksibilnog, personalizovanog i održivog sistema proizvodnje, prenosa, distribucije i potrošnje električne energije, koji će ljudima unaprediti kvalitet života i koji promovise ekonomski i društveni razvoj.

3. Internet energije

3.1. Ključni pojmovi

U ovom poglavlju ukratko su opisani ključni pojmovi Interneta energije, čije razumevanje je važno za prepoznavanje poslovnih vrednosti i analizu poslovnih inovacija u okruženju Interneta energije [5].

Prosumer

U elektroprivrednom sektoru, brz razvoj i široka primena distribuirane proizvodnje i skladištenja električne energije omogućili su da tradicionalni korisnik električne energije postane i nezavisan proizvođač električne energije, odnosno tzv. *prosumer*. Postoje tri osnovne uloge *prosumer*-a: proizvođač, potrošač i prodavac električne energije [7]. Proizvodnja i potrošnja električne energije vrši se iz obnovljivih izvora, čime se doprinosi i unapređenju ekoloških i ekonomskih pitanja koja se tiču sve veće potražnje električne energije.

Mikromreža

Mikromreža je mreža nižeg ili srednjeg naponskog nivoa, koja se nalazi blizu ili na mestu potrošnje električne energije. To je mali sistem distribucije električne energije koji snabdeva potrošače iz nekoliko distribuiranih izvora električne energije, uključujući distribuirane generatore i distribuirane uređaje za skladištenje električne energije [8]. Osnovne prednosti su: (1) pouzdanost; (2) operativna nezavisnost od glavne elektroenergetske mreže što je prednost u vanrednim situacijama kao što je nestanak napajanja u glavnoj mreži; (3) jednostavnija integracija obnovljivih izvora energije (sunce i vetar) bez potrebe za reinženjeringom sistema prenosa i distribucije; (4) smanjeno zagađenje životne sredine.

Virtuelna elektrana

Virtuelna elektrana predstavlja inovativni operativni koncept elektroenergetskog sistema. Podrazumeva integraciju distribuiranih generatora, sistema za skladištenje električne energije, kontrolabilnih opterećenja i distribuiranih izvora električne energije (koji često mogu da budu obnovljivi) sa naprednim tehnologijama nadzora, merenja, komunikacije i sl., kojima se upravlja kao celinom iz jednog centralizovanog kontrolnog centra. Drugim rečima, virtuelna elektrana je virtuelna celina koja se oslanja na primenu specifičnog softvera i komunikacionih veza, a zapravo predstavlja uslugu upravljanja potrošnjom i proizvodnjom električne energije [9]. Dobavljačima električne energije omogućava efikasno upravljanje sve brojnijim i nepredvidivim obnovljivim izvorima, skladištima električne energije i upravljanje potrošnjom.

Inteligentna elektroenergetska mreža (smart grid)

Inteligentna mreža objedinjuje protok električne energije i informacija integracijom FIN tehnologija i tradicionalne elektroenergetske mreže [10]. Intelligentni merni uređaji i druga unapređena merna infrastruktura mogu da prikupe veliku količinu podataka o iskorišćenju električne energije od strane potrošača u realnom vremenu. Na osnovu obrade ovakvih podataka inteligentna mreža postaje stabilnija i ekonomičnija. Internet energije zapravo predstavlja evoluciju inteligentnih mreža u Internet bazirano okruženje, u cilju unapređenja performansi elektroenergetskog sistema.

Energetski ruter

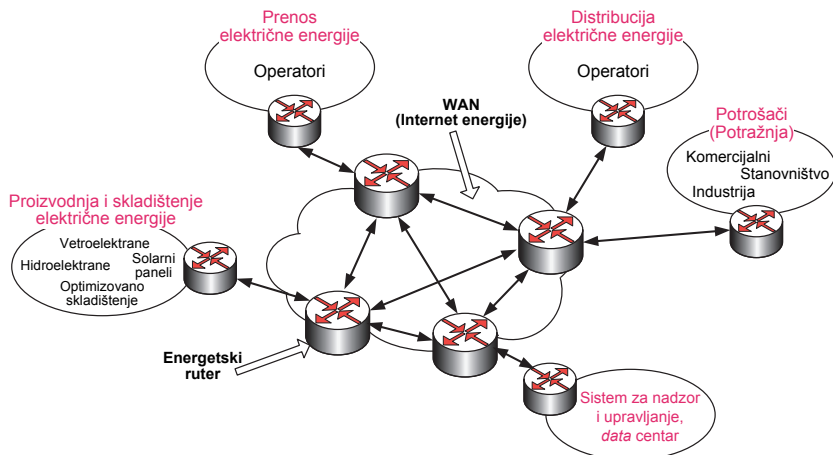
Energetski ruter (*energy router*) predstavlja jezgro Interneta energije koji povezuje tri podsistema, energetski, informacioni i mrežni podsistem. Omogućava prosleđivanje toka energije i podataka i predstavlja osnovnu i neophodnu opremu koja obezbeđuje upravljanje "pametnom" energijom. Koncept energetskog rutera za potrebe dinamičkog raspoređivanje tokova električne energije i komunikacije između uređaja elektroenergetskog sistema u realnom vremenu predstavljen je u [11], [12]. Energetski ruter integrisan sa četiri modula (modul sa elektronskim transformatorom, modul za inteligentni nadzor, modul za detekciju grešaka i komunikacioni modul) predložen je u [13]. Ovi ruteri su odgovorni za alokaciju električne energije, dvosmernu kontrolu tokova električne snage i električne energije i grupisanja uređaja, odnosno optimizaciju proizvodnje i potrošnje električne energije u realnom vremenu.

3.2. Arhitektura Interneta energije

Internet energije podrazumeva integraciju elektroenergetskog i informaciono-komunikacionog sistema u cilju unapređenja upravljanja elektroenergetskom mrežom i razvoja novih servisa. Predstavlja softversku platformu koja omogućava nadzor i upravljanje celim elektroenergetskim sistemom, u kojem su svi delovi sistema međusobno povezani [14]. Takav sistem zahteva visoku pouzdanost, veliku brzinu prenosa podataka i veliki propusni opseg, malo kašnjenje, kao i ravnotežu između proizvodnje i potrošnje električne energije. Za razliku od inteligentne mreže čiji je cilj optimizacija snabdevanja električnom energijom, Internetom energije vrši se integracija distribuiranih (obnovljivih) izvora električne energije i personalizovano korišćenje električne energije u domaćinstvima [14]. Na slici 1 je prikazan primer ovakvog sistema. To je WAN (*Wide Area Network*) mreža koja povezuje različite delove elektroenergetskog sistema, kao što su izvori električne energije (velike elektrane, distribuirani izvori električne energije), sistem prenosa električne energije, sistem distribucije električne energije, potrošači električne energije (stanovništvo, industrija, komercijalni potrošači), sistemi za skladištenje električne energije i sistemi za nadzor i upravljanje i data centri. WAN mrežu čine energetski ruteri, koji omogućavaju razmenu informacija i upravljanje tokom električne energije između različitih regiona.

Osnovne karakteristike Interneta energije su [11], [14], [15]: (1) nadzor i upravljanje svim aktivnostima i funkcionalnostima elektroenergetskog sistema putem IoT-a; (2) energetska interoperabilnost sa mogućnošću razmene informacija između svih elemenata sistema; (3) integracija toka energije i informacija; (4) pojava *prosumer*-a; (5) obnovljivi izvori energije kao primarni izvori energije; (6) distribuirana proizvodnja energije i skladištenje energije; (7) smanjenje emisije štetnih čestica.

Iako postoje sličnosti između Interneta energije i *smart grid*-a, osnovne razlike ova dva sistema su [16], [17], [18], [19]: (1) Internet energije integriše različite mreže elektroenergetskog sistema, tehnologije nadzora i upravljanja u realnom vremenu, kao i tehnologije distribucije energije, dok *smart grid* predstavlja modernizovanu elektroenergetsku mrežu. (2) Distribuirani nadzor i upravljanje u Internetu energije i generatori mogu da poseduju *plug and play* funkciju. U *smart grid*-u, prikupljanje informacija i rutiranje komandi je centralizovano i svakom generatoru je potrebna "dozvola" od sistema za nadzor i upravljanje pre nego što se priključi elektroenergetskom sistemu. (3) Internet energije podrazumeva integraciju informacionog i fizičkog sistema, dok su u *smart grid*-u ovi sistemi razdvojeni. (4) Internet energije omogućava dvosmernu razmenu informacija i energije, dok *smart grid* pretpostavlja jednosmernu komunikaciju. (5) Internet energije je baziran na Internet tehnologijama, a *smart grid* se pre svega sastoji od komunikacionih sistema i tradicionalne industrije. (6) Internet energije obuhvata različite vrste distribuiranih izvora energije, pre svega obnovljivih i ekoloških izvora energije, kao što su solarna energija, energija vetra, itd.



Slika 1. Arhitektura Interneta energije

3.3. Tehnologije budućeg Interneta kao osnova Interneta energije

Industrijski sektor ima značajne koristi od primene IoT-a, u smislu automatizacije sistema, primene različitih tipova senzora, poboljšanja efikasnosti i povećanja prihoda. Količina podataka koja se prikuplja u takvim sistemima se meri u milionima gigabajta. Tradicionalne informacione tehnologije ne mogu da zadovolje zahteve za analizu podataka, za kašnjenje, mobilnost, zaštitu, privatnost i propusni opseg.

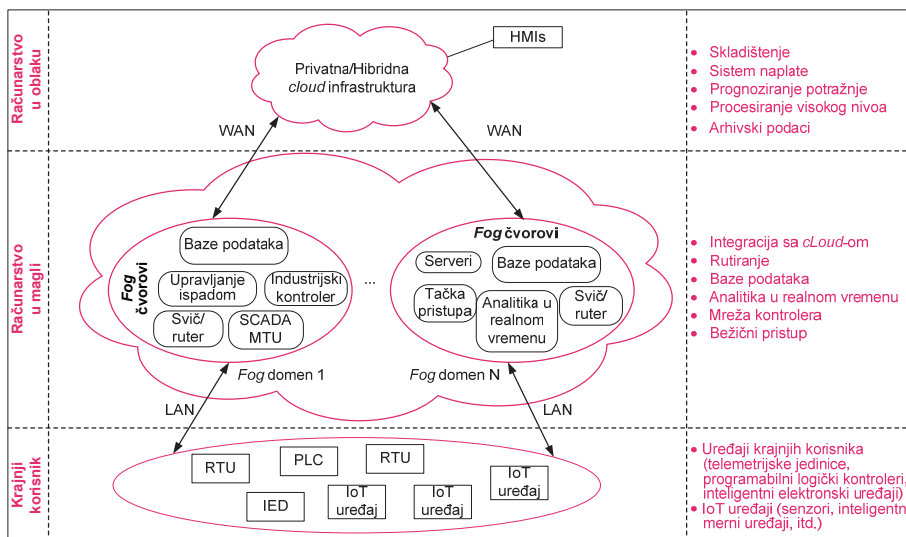
FIN tehnologije postepeno postaju sastavni deo elektroenergetskog sistema, i to u svim njegovim delovima, od proizvodnje, prenosa, distribucije i potrošnje, a u cilju optimizacije, personalizacije i povećanja efikasnosti sistema proizvodnje i potrošnje električne energije. Računarstvo u magli predstavlja decentralizovanu mrežnu arhitekturu gde su skladištenje i procesiranje podataka i aplikacije distribuirane na najefikasniji način između izvora podataka i *cloud*-a. Računarstvo u magli i računarstvo u oblaku su slični u smislu korišćenja računarskih, skladišnih i mrežnih tehnologija. Međutim, najznačajnija

razlika jeste, da je računarstvo u magli locirano blizu krajnjih korisnika, što odgovara aplikacijama i servisima koji imaju stroge zahteve za kašnjenje. Dodatno, karakteristika posedovanja informacije o lokaciji omogućava podršku mobilnosti. Računarstvo u magli u osnovi proširuje usluge računarstva u oblaku na periferiju mreže, odnosno bliže korisnicima. Posledično, krajnji korisnici, računarstvo u magli i oblaku čine troslojnu arhitekturu (slika 2).

Najniži sloj odnosi se na uređaje krajnjih korisnika, kao što su telemetrijske jedinice (*Remote Terminal Unit*, RTU), programabilni logički kontroleri (*Programmable Logic Controllers*, PLCs), inteligentni elektronski uređaji (*Intelligent Electronic Devices*, IEDs), inteligentni meri uređaji, različiti senzori kao i IoT uređaji.

Srednji sloj se sastoji od jednog ili više *fog* domena kojima upravlja isti ili različiti provajderi. *Fog* domen se sastoji od *fog* čvorova, odnosno uređaja koji omogućavaju prikupljanje, obradu i skladištenje podataka kao i mrežne konekcije. Primeri takvih uređaja su industrijski kontroleri, prekidači, ruteri, SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) serveri itd. *Fog* čvorovi omogućavaju integraciju sa najvišim slojem (*cloud*), rutiranje, skladištenje i deljenje podataka, obradu podataka u realnom vremenu, upravljanje ispadima, upravljanje uređajima krajnjih korisnika (RTUs, PLCs, IEDs), bežični pristup itd. Najniži i srednji sloj su obično povezani žičnim ili bežičnim lokalnim računarskim mrežama. Računarstvo u magli omogućava da se obrada podataka vrši u mrežnim elementima (*fog* čvorovima) koji su smešteni na ivicama/krajevima pristupne mreže, odnosno između udaljenog *cloud*-a i IoT uređaja. Cilj je povećanje računarskih resursa i propusnog opsega bez značajnog uticaja na kvalitet servisa koji se pruža korisnicima.

Najviši sloj je odgovoran za funkcije poput skladištenja visokog nivoa, sistema naplate, prognoziranja potražnje, obrade podataka visokog nivoa i analize arhivskih podataka. Komunikacija između srednjeg i najvišeg sloja vrši se WAN konekcijama.



Slika 2. Troslojna komunikaciona arhitektura u elektroenergetskom sistemu

4. Zaštita u okruženju Interneta energije

Poslednjih nekoliko godina raste broj napada na *smart grid*, što je dovelo do velikih ekonomskih gubitaka i potencijalnog ugrožavanja životne sredine. Internet energije bi trebalo da unapredi sajber bezbednost *smart grid*-a. Međutim, zbog njegove složenosti, vrlo je teško dizajnirati potpuno bezbedan i efikasan okvir za detekciju i prevenciju napada i ranjivosti [14].

Osnovni problemi realizacije Interneta energije jesu pre svega problemi kompleksnosti, efikasnosti, pouzdanosti i zaštite informacija i infrastrukture. Ovakav sistem predstavlja vrlo kompleksnu infrastrukturu s obzirom da integriše FIN tehnologije, tehnologije iskorišćenja obnovljivih izvora energije i tehnologije skladištenja električne energije, tako da modelovanje, analiza i dizajn odgovarajuće komunikacione infrastrukture predstavljaju veliki izazov. Osim toga, integracijom FIN tehnologija u sve delove elektroenergetskog sistema, ovakav sistem postaje osetljiviji u smislu sajber bezbednosti, pri čemu je neophodna implementacija vrlo pouzdanih i sofisticiranih sistema zaštite.

Računarstvo u oblaku, pored pretnji koje postoje u postojećim računarskim platformama i mrežama donosi i dodatne, kao što su [20], [21]: (1) napadi drugih korisnika; (2) problemi kontrole pristupa; (3) unutrašnji napadi; (4) problemi deljene tehnologije; (5) otkazi sistema zaštita kod provajdera; (6) loša integracija provajderskog i korisničkog sistema zaštite; (7) nebezbedni aplikacioni programski interfejsi; (8) gubitak podataka i (9) hakovanje naloga ili servisa.

Internet energije integrisan sa računarstvom u oblaku se susreće sa istim rizicima sajber bezbednosti kao i drugi sistemi koji su bazirani na tehnologijama računarstva u oblaku. Međutim, Internet energije je izloženiji sajber pretnjama kao što su lažne komande i napadi koji prouzrokuju odbijanje servisa (*Denial of Service*, DoS); mrežne konekcije između elektroenergetskog sistema i *cloud*-a mogu u većoj meri da ugroze celokupni sistem za nadzor i upravljanje od strane spoljnih napadača itd.

Određeni problemi koje donosi računarstvo u oblaku, mogu da bude prevaziđeni uvođenjem računarstva u magli, gde se zaštita izvršava lokalno (a ne u *cloud*-u), što omogućava primenu korporativnih politika, kontrole i procedura koje se koriste u tradicionalnim elektroenergetskim sistemima. Na taj način se povećava nivo zaštite u odnosu na računarstvo u oblaku. Međutim, za razliku od računarstva u oblaku, za računarstvo u magli ne postoje još uvek standardizovana rešenja i mere zaštite.

Osnovni problemi primene IoT-a su: (1) problem interoperabilnosti – integracija novih tehnologija od različitih proizvođača; (2) efikasno iskorišćenje velike količine podataka koje generišu različiti delovi elektroenergetskog sistema u cilju poboljšanja performansi sistema; (3) zaštita podataka i privatnosti prikupljenih podataka.

Rešenja u smislu zaštite u okviru IoT-a i računarstva u magli su generalno slična onima koja se primenjuju u računarstvu u oblaku, sa fokusom pre svega na sledećim tehnikama [20]: (1) **Autentifikacija**. Sve poruke i svi entiteti moraju da budu autentifikovani, a moguća je primena različitih tehnika, uključujući javnu kriptografiju zajedno sa tehnologijom mamaca, biometrijskom autentifikacijom i sl. (2) **Kontrola pristupa**. Svi *fog* čvorovi treba da obezbede kontrolu pristupa i autorizaciju u cilju zaštite funkcija kao što su čitanje i upisivanje podataka, izvršavanje programa i upravljanje senzorima/aktuatorima. (3) **Tehnike prevencije i detekcije napada**. Generalno se primenjuju u *cloud* okruženju kako bi se identifikovali mogući incidenti kao što su

različite vrste sajber napada i kršenja politika zaštite mreže ili standardnih bezbednosnih praksi. Sa računarstvom u magli sistemi prevencije i detekcije napada mogu da budu implementirani kako na strani korisnika tako i na strani mreže (*fog*), čime se obezbeđuje dvostruka zaštita, od unutrašnjih napada i napada koji dolaze iz *cloud* sloja. Ukoliko se detektuje napad, *fog* čvorovi blokiraju maliciozni saobraćaj i štite kritičnu infrastrukturu. Osetljivi podaci mogu da se obrađuju na lokaciji krajnjih uređaja (*field site*). (4) **Privatnost.** Mora da bude obezbeđena tehnikama zaštite, s obzirom da su *fog* čvorovi locirani blizu ili na lokacijama krajnjih uređaja i prikupljaju osetljivije podatke.

5. Pravci budućeg istraživanja

Iako je Internet energije perspektivan koncept, još uvek postoje brojna otvorena tehnička pitanja, kao što su optimalno povezivanje različitih energetske sistema, unapređenje informaciono-komunikacionog sistema za bezbedan operativni rad, više pilot projekata koji pokazuju nove funkcionalnosti za Internet energije, itd. [22].

S obzirom da su tokovi energije i podataka usko povezani, neophodni su intenzivni istraživački naponi kako bi se rešila tehnička pitanja u vezi sa prikupljanjem informacija, bezbednom komunikacijom i nadzorom i upravljanjem u realnom vremenu.

Povezivanje različitih energetske sistema i povezivanje različitih informacionih sistema zasnivaju se na različitim zakonima i pravilima, zbog čega je neophodan razvoj novih teorijskih modela i standardizovanih bezbednih protokola.

Posebna pažnja treba da bude posvećena sajber bezbednosti kao glavnom faktoru rizika, što zahteva ozbiljan istraživački rad i postepenu migraciju ka ovom složenom sajber-fizičkom sistemu. Svaki pojedinačni slučaj zahteva sprovođenje odgovarajuće analize sajber bezbednosnog rizika, a neophodan je i razvoj novih metoda za procenu bezbednosnog rizika [23]. Fazi logika je višestruko primenljiva tehnika pri analizi i proceni bezbednosnog rizika u svim delovima sistema Interneta energije, jer može uključiti objektivnu komponentu, koja se bazira na dostupnim tehničkim informacijama (npr., arhivski podaci) i subjektivnu komponentu, koja se bazira na iskustvu i mišljenju relevantnih stručnjaka [24]. Na osnovu procenjenog rizika, povećanje troškova može da bude opravdano, u cilju pružanja bezbednih komunikacionih servisa.

Na kraju, treba napomenuti da u većini zemalja u razvoju na svetskom nivou, proizvodnja električne energije ostaje monopolistička. Politiku naplate često određuje država kako bi se zaštitili potrošači od previsoke cene energije, a preduzeća sprečila da ostvaruju preterano veliku dobit. Uvođenje Interneta energije podrazumeva donošenje odgovarajućih regulatornih propisa i politika.

6. Zaključak

Elektroenergetski sistemi su tokom istorije prošli kroz četiri osnovne tehnološke faze razvoja, gde bi u skladu sa najnovijim dostignućima i zahtevima naredna faza predstavljala pametan i povezan elektroenergetski sistem baziran na primeni tehnologija budućeg Interneta. U skladu sa energetske potrebama, zahtevima za energetske efikasnošću, kao i potrebama za očuvanje životne sredine, zahvaljujući tehnološkom napretku nameće se razmišljanje o novim inteligentnim elektroenergetskim sistemima, koji bi omogućili optimalnu integraciju i korišćenje distribuiranih izvora energije.

Internet energije podrazumeva integraciju energije i informacija, čime se obezbeđuje "čistije" i efikasnije korišćenje energije. Omogućava dvosmernu razmenu informacija i energije, zahvaljujući integraciji FIN tehnologija, inteligentnih terminala i sistema koji mogu da unaprede tradicionalne elektroenergetske sisteme u nove inteligentne platforme. Cilj ovakve integracije je i unapređenje upravljanja elektroenergetskom mrežom i razvoj novih servisa.

Iako ovakvi sistemi donose brojne prednosti, postoje i veliki izazovi i problemi, pre svega u oblasti sajber bezbednosti sistema. Ovi problemi zahtevaju posebnu pažnju i razvoj odgovarajućih arhitektura i mehanizama zaštite.

Zahvalnica. Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1] M. Jaradat, M. Jarrah, A. Bousselham, Y. Jararweh and M. Al-Ayyoub, "The Internet of Energy: Smart sensor networks and Big Data management for Smart Grid", *Procedia Computer Science*, vol. 56, pp. 592–597, 2015.
- [2] S. You, L. Jin, J. Hu, Y. Zong and H. W. Bindner, "The Danish perspective of Energy Internet: From service-oriented flexibility trading to integrated design, planning and operation of multiple cross-sectoral energy systems", *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao*, vol. 35, no. 14, pp. 3470–3481, 2015.
- [3] K. Wang, J. Yu, Y. Yu, Y. Qian, D. Zeng, S. Guo, Y. Xiang and J. Wu, "A survey on Energy Internet: Architecture, approach, and emerging technologies", *IEEE Systems Journal*, pp. 2403–2416, 2017.
- [4] "Energy Cloud 4.0 - Capturing Business Value through Disruptive Energy Platforms", Navigant, white paper, 2018.
- [5] R. Kumar and V. Gupta, "Realization and concept of Energy Internet", *Indian Journal of Scientific Research*, vol. 17, no. 2, pp. 6–11, 2018.
- [6] P. D. Lund, J. Mikkola and J. Ypyä, "Smart energy system design for large clean power schemes in urban areas", *Journal of Cleaner Production*, vol. 03, pp. 437–45, 2015.
- [7] R. Zafar, A. Mahmood, S. Razzaq, W. Ali, U. Naeem and K. Shehzad, "Prosumer based energy management and sharing in smart grid", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 1675–1684, 2018.
- [8] R. H. Lasseter, "Microgrids", In *Proc. of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, pp. 305–8, New York, NY, 2002.
- [9] J. Saletović, H. Salkić and A. Softić, "Virtual power plants - Concept, perspectives, and challenges", In *Proc. of the 13th Bosnian CIGRÉ*, Article C6, pp. 1–8, Sarajevo, BiH, 2017
- [10] M. L. Tuballa and M. L. Abundo, "A review of the development of smart grid technologies", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 59, pp. 710–725, 2016.
- [11] J. Cao and M. Yang, "Energy Internet – Towards smart grid 2.0.", In *Proc. of the Fourth International Conference on Networking and Distributed Computing 2013*, pp. 105–110, Los Angeles, CA, 2013
- [12] Y. Xu, J. Zhang, W. Wang, A. Juneja and S. Bhattacharya, "Energy router: Architectures and functionalities toward Energy Internet", In *Proc. of the IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, pp. 31–36, Brussels, Belgium, 2011
- [13] L. Chen, Q. Sun, L. Zhao and Q. Cheng, "Design of a novel energy router and its application in Energy Internet", In *Proc. of the Chinese Automation Congress (CAC)*, pp. 1462–1467, Wuhan, China, 2015.

- [14] A. S. Sani, D. Yuan, J. Jin, L. Gao, S. Yu and Z. Y. Dong, "Cyber security framework for Internet of Things-based Energy Internet", *Future Generation Computer Systems*, vol. 93, pp. 849–859, 2019.
- [15] B. Shakerighadi, A. Anvari-Moghaddam, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero, "Internet of Things for modern energy systems: State-of-the-art, challenges, and open issues", *Energies*, vol. 11, no. 5, pp. 1–23, 2018.
- [16] Q. Sun, *Energy Internet and We-Energy*. Singapore: Springer, 2019
- [17] R. R. Surani, "From smart grids to an Energy Internet: A review paper on key features of an Energy Internet", *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 228–231, 2019
- [18] K. Wang, X. Hu, H. Li, P. Li, D. Yeng and S. Guo, "A survey on energy Internet communications for sustainability", *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, vol. 2, no. 3, pp. 231–254, 2017.
- [19] K. Wang et al., "A survey on Energy Internet: Architecture, approach, and emerging technologies", *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 2403–2416, 2017.
- [20] S. Khan, S. Parkinson and Y. Qin, "Fog computing security: A review of current applications and security solutions", *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, vol. 6, no. 19, pp. 1–22, 2017.
- [21] M. Stojanović and S. Boštjančič Rakas, "Challenges in securing industrial control systems using Future Internet technologies", In M. Stojanović and S. Boštjančič Rakas (Eds.) *Cyber Security of Industrial Control Systems in the Future Internet Environment*. Hershey, PA: IGI Global, pp. 1–26, 2020.
- [22] Y. Cao, Q. Li, Y. Tan, Y. Li, Y. Chen, X. Shao and Y. Zou, "A comprehensive review of Energy Internet: Basic concept, operation and planning methods, and research prospects", *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 399–411, 2018.
- [23] M. D. Stojanović, S. V. Boštjančič Rakas and J. D. Marković-Petrović, "SCADA systems in the cloud and fog environments: Migration scenarios and security issues", *FACTA UNIVERSITATIS Series: Electronics and Energetics*, vol. 32, no. 3, pp. 345–358, 2019.
- [24] J. D. Markovic-Petrovic, M. D. Stojanovic, and S. V. Bostjancic Rakas, "A fuzzy AHP approach for security risk assessment in SCADA networks", *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 69–74, 2019.

Abstract: *This paper presents the development of the Energy Internet throughout the history as an evolutionary solution based on modern technological development and needs, with the respect of its architecture, key features, and key concepts, such as energy router, prosumer, and virtual power plant. The architecture of advanced information and communication support for the electric power sector is considered, including its basic characteristics, the integration of the Future Internet technologies, as well as the security issues that arise with the application of these technologies. This paper provides an overview of recent research related to the concept of Energy Internet and identifies gaps and directions for further research.*

Keywords: *Cloud computing, cybersecurity, fog computing, Internet of Things, power system*

**ENERGY INTERNET:
CONCEPT, ARCHITECTURE AND APPLICATION**
Slavica Boštjančič Rakas, Mirjana Stojanović, Jasna Marković-Petrović