



VELIKI PODACI U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

BIG DATA IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Stefan Đorđević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U radu su predstavljene tehnologija velikih podataka i načini primene velikih podataka u elektroenergetskim sistemima. Nakon predstavljanja koncepta velikih podataka, tehnika za prikupljanje, obradu i skladištenje podataka, i metoda za analizu podataka, predloženi su primeri primene velikih podataka u mnogobrojnim procesima električnih mreža, kao i uticaja na relejnu zaštitu.

Abstract – This paper presents the technology of big data and its applications in electric power systems. After presenting the concept of big data, techniques for data collection, processing and storage and methods for data analysis, examples of the application of big data in many electrical grid processes, as well as impacts on relay protection, are proposed.

Ključne reči: Veliki podaci, Elektroenergetski sistemi, Relejna zaštita, Pametne mreže.

1. UVOD

Veliki podaci (engl. *Big data*) označavaju velike i kompleksne skupove podataka kod kojih tradicionalne aplikacije za obradu podataka nisu primenljive. U svrhu otkrivanja znanja, ovi podaci moraju biti prikupljeni, skladišteni i analizirani. Primenom odgovarajućih analitičkih metoda, iz podataka se mogu izvući vredne informacije na osnovu kojih se mogu doneti korisne odluke. Donesene odluke se mogu iskoristiti za proaktivno delovanje u različitim procesima mnogih industrija [1]. U elektroenergetskom sektoru, uz primenu koncepta pametnih mreža i sve većeg prodora informacionih i komunikacionih tehnologija, digitalizacija je stvarnost. Paralelno s tim, elektroenergetski sistemi se suočavaju sa različitim izazovima koji se odnose na operativne aspekte, kao što su potrebe za smanjenjem operativnih troškova i povećanjem efikasnosti, povećanjem udela obnovljivih izvora energije, električnih automobila i povećanjem sigurnosti i pouzdanosti same mreže. Ovi izazovi, zajedno sa pojavom senzora, naprednih uređaja za merenje, uređaja za komunikaciju i inovacijama koje donose veliki podaci, predstavljaju nove mogućnosti, posebno zato što će sledeća generacija energetske sistema – pametne mreže, biti izuzetno intenzivna za podatke [2]. Vredne informacije i komunikacione tehnologije generišu veliku količinu podataka u različitim vremenskim okvirima. Tako da trenutna transformacija elektroprivrede u sistem sa više varijabilnih i distribuiranih resursa zahteva nov način

prikupljanja i tumačenja tih podataka kao osnovni zahtev za sprovođenje analiza elektroenergetskog sistema. Upravo, cilj ovog rada je da predstavi ulogu tehnologije velikih podataka u elektroenergetskim procesima i opiše kroz primere primene vrednost koju ona može doneti.

U drugom delu rada predstavljen je koncept i uloga velikih podataka u elektroenergetici, u trećem delu analiza, a u četvrtom delu primena velikih podataka. Peti deo je zaključak, a u šestom literaturna.

2. KONCEPT I ULOGA VELIKIH PODATAKA U ELEKTROENERGETICI

Veliki podaci su apstraktni koncept. Ne postoji jedna sveobuhvatna definicija za velike podatke, jer ona varira zavisno od toga ko ih opisuje i u kom kontekstu. Uopšteno, veliki podaci označavaju skupove podataka koji se ne mogu percipirati, prikupiti, upravljati i obrađivati tradicionalnom informacionom tehnologijom i softverskim/hardverskim alatima unutar prihvatljivog vremenskog okvira.

Tehnologija velikih podataka mora da obuhvata tehnike za trenutnu, ili skoro trenutnu, analitiku podataka i vizuelizaciju, kao i napredne tehnologije za generisanje i prikupljanje, prenos i skladištenje podataka, kako bi se stvorile korisne informacije i na osnovu njih sprovođile proaktivne akcije. Takođe, mora i da obezbedi takvu platformu koja ima sposobnost da automatizuje ceo proces [3].

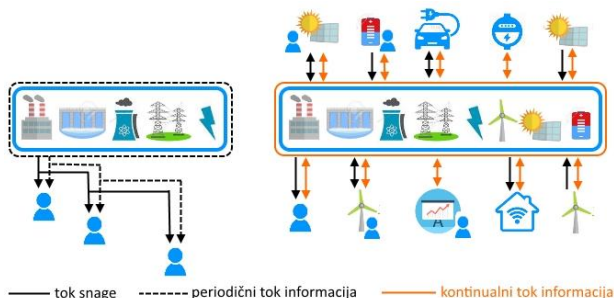
Tokom protekle i ove decenije, elektroprivreda prolazi kroz fundamentalne promene. Prvi veliki uzrok je drastična promena portfolija proizvodnje kroz povećan udeo obnovljivih izvora energije. Pouzdanost i sigurnost mreže će morati biti pažljivo osmišljeni za takve promene. Drugi glavni uzrok je povećanje nivoa korišćenja distributivne mreže u odnosu na prenosnu mrežu na velikoprodajnom nivou [4]. Ovo pokreće osnovna pitanja za korišćenje i rad sistema u budućnosti. U ovom izazovu, podaci će verovatno igrati važnu ulogu. Vrednost podataka verovatno će energetske industriji pružiti obnovljenu paradigmatu koja vodi renesansi njenih poslovnih modela.

Pametna mreža se može posmatrati kao ogromna senzorska mreža, koja stalno prikuplja podatke iz različitih izvora, kao što su raznovrsni senzori, pametna brojila, pametni uređaji, električna vozila ili čak meteorološke stanice. Zatim, ova ogromna količina podataka može se transformisati u uvidne radnje primenom upravljanja velikim podacima i napredne analitike. Ovi uvidi mogu pomoći u poboljšanju

NAPOMENA:

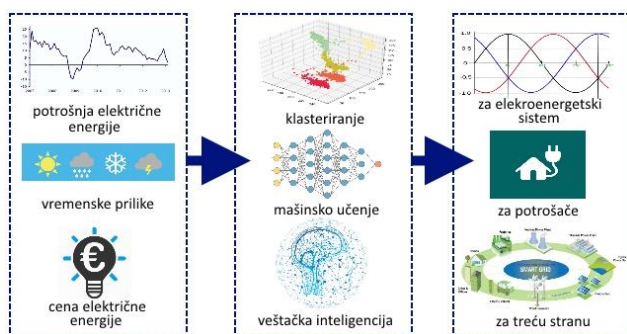
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Duško Bekut, red.prof.

efikasnosti, pouzdanosti i održivosti elektroenergetske mreže kroz različite slučajeve upotrebe, kao što su otkrivanje i obnavljanje prekida, preventivno održavanje, oblikovanje obrazaca potrošnje potrošača, automatizacija distributivnog sistema i kontrola emisije. Na slici 2.1. prikazana je struktura tradicionalnih i pametnih mreža. Tradicionalna električna mreža uključuje jednosmerni prenos, što znači da snaga teče od generatora do potrošača. Pametni mrežni sistemi, s druge strane, uključuju dvosmerni prenos podataka, sistem koga pokreću podaci i obnovljivi izvori energije za pružanje dodatnih usluga potrošačima, distributerima i snabdevačima.



Slika 2.1. – Tradicionalna mreža naspram pametne mreže

Slika 2.2. prikazuje obrazac primene analitike velikih podataka u aplikacijama elektroenergetskog sistema. Proces prikupljanja podataka počinje sa različitim izvorima kao što su pametna brojlila, energetska tržišta i vremenski senzori. Stručnjaci tada mogu primeniti napredne statistike i tehnike mašinskog učenja, kao što su klasteriranje i duboko učenje, kako bi stvorili uvid u podatke koji može biti delotvoran [5]. Rezultati tih tehnika primenjenih na podacima se mogu koristiti za poboljšanje rada i planiranja mreže, kao i iskustva potrošača ili mogu biti iskorišćeni od strane treće strane u drugim poslovnim svrhama.



Slika 2.2. – Obrazac primene tehnologije velikih podataka u elektroenergetici

Kao i u svakoj drugoj oblasti industrije, za distribuciju električne energije veliki podaci predstavljaju veoma snažan način za poboljšanje efikasnosti. Dok elektroprivrede poseduju veliki broj strukturiranih podataka prikupljenih iz njihovih mrežnih mernih sistema, oni takođe moraju da se bave nestrukturiranim izvorima podataka kao što su mape, fotografije, istorijski podaci i drugo [5]. Pretvaranje ovih podataka u korisniju formu zadatak je tehnika velikih podataka. Scenariji primene velikih elektroenergetskih podataka obuhvataju sve aspekte proizvodnje, prenosa, podstanice, distribucije, korišćenja i raspoređivanja električne energije. Veliki

podaci o električnoj energiji obećavaju perspektivu primene u predviđanju proizvodnje obnovljivih izvora energije, analizi rizika sigurnosti mreže i ranom upozoravanju, planiranju održavanja komponenti, optimalnom snabdevanju, nadzoru i dijagnostici stanja mreže, upravljanju životnim ciklusom opreme, praćenju i proceni kvalitete električne energije, lokaciji niskog napona kontrola distributivne mreže, procena rizika i rano upozorenje preopterećenosti distributivne mreže, upravljanje protiv krađe električne energije, analiza karakteristika opterećenja, predviđanje opterećenja, upravljanje potražnjom, analiza i upravljanje energetsom efikasnošću potrošača i tako dalje [6].

2.1 Karakteristike velikih podataka

Uobičajena definicija velikih podataka uključuje klasifikaciju njenih karakteristika pomoću 5V-a [6]:

- 1) OBIM (engl. *Volume*)
Odnosi se na ogromnu količinu generisanih podataka.
- 2) BRZINA (engl. *Velocity*)
Odnosi se na brzinu prenosa, skladištenja, obrade i analize podataka.
- 3) RAZNOVRSNOST (engl. *Variety*)
Prema obimnim izvorima podataka u pametnoj mreži, formati i dimenzije podataka su različiti po strukturi.
- 4) TAČNOST (engl. *Veracity*)
Odnosi se na potrebu uzimanja u obzir pouzdanost i doslednost korišćenih podataka.
- 5) VREDNOST (engl. *Value*)
Odnosi se na sposobnost da se izvuku vredne informacije iz ogromne količine podataka.

Prethodna svojstva mogu biti dopunjena sa 3E [6]:

- 1) ENERGIJA (engl. *Energy*)
Predstavlja uštedu energije koja se može postići primenom tehnika velikih podataka.
- 2) RAZMENA (engl. *Exchange*)
Predstavlja razmenu informacija između energetske i drugih sektora.
- 3) EMPATIJA (engl. *Empathy*)
Predstavlja pružanje boljih energetske usluga kojima se mogu ispuniti potrebe korisnika.

3. ANALIZA VELIKIH PODATAKA

Glavni cilj upotrebe analize velikih podataka je izvlačenje korisnih informacija (vrednosti) iz podataka. Ova vrednost se može izvući iz prikupljenih podataka nakon obavljanja analitike na podacima kao što je prikazano na slici 3.1. [3] Preduzeća i potrošači mogu donositi odluke na osnovu dobijene vrednosti.



Slika 3.1. – Tok obrade podataka

Kao što je prikazano na slici 3.1. prvi korak obuhvata prikupljanje podataka iz više heterogenih izvora u mreži,

kao i izvan nje. Prikupljeni podaci u izvornom obliku mogu se učitati u prostor za skladištenje (računarstvo u oblaku). Nakon prikupljanja podataka, sledeći korak je predobrada podataka. Ovi podaci se tada čiste da bi se uklonili pogrešni i nepotpuni podaci i zatim transformišu u format pogodan za ciljnu obradu i analizu i učitavaju u skladište podataka. Sada se tehnike analitike podataka primenjuju na prethodno obrađene podatke kako bi se izvukla vrednost na osnovu koje se mogu izvršiti neke informisane akcije ili odluke [3].

Najvažnija faza sistema obrade velikih podataka je analiza podataka, odnosno analitika koja je osnova za otkrivanje dragocenih informacija i podršku donošenja odluka [7].

Rudarenje podataka (engl. *Data Mining*) je proces otkrivanja skrivenih i nepoznatih obrazaca u velikim skupovima podataka, korišćenjem metoda koje su u preseku statistike, mašinskog učenja (kao deo veštačke inteligencije) i sistema baza podataka. Time predstavlja interdisciplinarnu podoblast informatike, statistike i primenjene matematike, čiji je opšti cilj izvlačenje informacija iz masivnih, nepotpunih i nejasnih podataka sa šumom i transformacija tih informacija u razumljivu strukturu radi dalje upotrebe [6,7].

Svrha različitih tipova analitike „kao usluge“ se menja kako se kreće duž kontinuuma vrednosti na sledeći način [3]:

- 1) Deskriptivna analitika ima za cilj da pruži informacije o tome šta se dogodilo
- 2) Dijagnostička analitika ima za cilj razumevanje uzroka događaja
- 3) Prediktivna analitika se koristi kako bi se napravila verovatna predviđanja s ciljem da se utvrdi što bi se moglo dogoditi u budućnosti
- 4) Preskriptivna analitika se primenjuje da bi se identifikovao najbolji ishod događaja

Tehnike koje su najprikladnije za elektroprivredu su:

Učenje pravila asocijacije, Klaster analiza, Faktorska analiza, Korelaciona analiza, Regresiona analiza i Inferencijska statistička analiza.

4. PRIMENE VELIKIH PODATAKA

U nastavku će se na konkretnim primenama razmotriti kako jedan ovakav koncept može naći svrhu u okruženju elektroenergetskog sistema i kakav značaj za isti može predstavljati.

Prognoza proizvodnje distributivnih izvora

Pošto su kapaciteti za proizvodnju električne energije distributivnih resursa (PV i vetroelektrane) usko povezani sa klimatskim uslovima koji karakterišu slučajnost i intermitentnost, izazov je povezati ih sa električnim mrežama. Njima se može upravljati efikasnom analizom velikih podataka koja omogućava precizniju prognozu proizvodnje. Podaci koji omogućavaju prognozu su: temperatura vazduha, oblačnost, prelazak oblaka preko sunca, zračenje sunca, brzina i snaga vetra, smer i pravac vetra, izlazne snage, položaj panela/vetroturbin, istorijska proizvodnja, GIS podaci, satelitski snimci, topografski podaci itd. A

vrednost izvučena iz analize može se primeniti za balansiranje energijom u mreži, efikasno upravljanje tržištom energije kao i efikasno korišćenje energije.

Prognoza potrošnje

Faktori koji utiču na prognoziranje potrošnje mogu se podeliti u dve kategorije:

- 1) tradicionalni faktori – vremenski uslovi, doba dana, godišnje doba, slučajni događaji i poremećaji u mreži,
- 2) faktori pametne mreže – cene električne energije, distribuirani izvori energije, električna vozila, pojedinačna upotreba kućnih aparata, društveni događaji, uređaji za grejanje/hlađenje.

Na osnovu prethodnih podataka, kroz analizu, može se analizirati ponašanje potrošača pri potrošnji električne energije i pružiti raznovrsne i personalizirane usluge i ohrabriti kupce da učestvuju u balansiranju proizvodnje i potrošnje i programima energetske efikasnosti.

Detekcija i predviđanje prekida

Veliki podaci nude načine da se efikasnije reaguje na retke događaje koje izazivaju kvarove. Podaci o vremenskim prilikama u realnom vremenu i istorijski podaci o vremenu, kao i podaci GIS-a, u kombinaciji sa istorijskim podacima o kvarovima i ispadima u određenom delu fidera, podacima o stanju energetske opreme, podacima iz merenja i zaštite (pametna brojila, IED, SCADA, PMU) koji proširuju nadzor i svesnost situacije na fideru mogu se iskoristiti za brzo određivanje uzroka kvara (oluje, grmljavine, poplave, požari, snežni nanosi), ali i za preventivno delovanje i bolju pripremu za nastupajuće poremećaje (npr. isključivanje dela mreže i obezbeđivanje rezervnog napajanja, sprečavajući oštećenje opreme, kolaps u sistemu i finansijske i životne gubitke kod potrošača). Takođe, može se predvideti gde će doći do sledećeg prekida.

Preko pametnih brojila i prognoziranja potrošnje može se predvideti preopterećenje dela mreže, brzo delovati i sprečiti potencijalni ispadi u napajanju.

Mogu se koristiti podaci i analiza koja može predvideti rast vegetacije na osnovu tipa zemljišta, tipa vegetacije i nivoa padavina. Na taj način se mogu identifikovati potencijalna rizična područja za kontakte drveća sa prenosnim ili distributivnim vodovima i na taj način sprečiti poremećaj u mreži pre nego što se desi.

Dodatna upotreba podataka o preletu iz dronova za mapiranje palih stabala, oboreni vodova i poplavnih područja mogu se koristiti za detekciju, predviđanje kvarova, kao i za optimizaciju restauracije napajanja.

Kao društveni senzor u realnom vremenu za pametnu mrežu, društveni mediji kao što su Twitter ili Fejsbuk mogu sadržati potencijalne informacije koje ukazuju na pojavu nestanka struje u određenom području i njegovo efikasno lociranje.

Predviđanje kvara opreme

Na osnovu SCADA podataka, relejne zaštite, senzora, i podataka o broju okidanja prekidača i vremenu okidanja (da li traje predugo) može se identifikovati prekidač koji

će verovatno ubrzo propasti i unapred isplanirati njegova zamena i tako sprečiti budući kvar. Ili da se u toku rada, iskoristi za manipulaciju drugi prekidač koji ima veći preostali kapacitet prekidanja.

Podaci dobijeni iz preleta dronova mogu pomoći da se identifikuju oštećeni vodovi i oštećeni izolatori bez ugrožavanja zaposlenih. GIS i slikovni podaci mogu se koristiti za identifikaciju problema. Npr. život transformatora se može predvideti posmatranjem modela opterećenja tokom godine.

Električna vozila

Električna vozila (EV) pune svoje baterije preko mreže, što nameće značajan uticaj na mreže elektroenergetskih sistema. Na primer, punjenje EV-a u naseljenom području tokom vremena vršne potrošnje može imati posledice kao što su ispadanje osigurača, smanjena efikasnost i degradacija transformatora. Kroz svoju dvosmernu komunikacionu tehnologiju, pametne mreže mogu ovo rešiti tako što će raspoređivati punjenje EV-a za časove van vršne potrošnje. A to će omogućiti veliki podaci kroz formiranja obrazaca punjenja i praznjenja EV-a.

Primene u relejnoj zaštiti

Relej je uređaj koji služi za detekciju nenormalnih pogonskih stanja uređaja i delova elektroenergetskih sistema i inicijalizaciju odgovarajućih upravljačkih akcija za obezbeđenje normalnog pogona [8]. Analiza velikih podataka, koji pristižu iz različitih izvora, mogu uticati na podešenje relejne zaštite. Taj uticaj ima za razultat poboljšanje reagovanja releja na poremećaje u mreži, ostvarujući na taj način veću pouzdanost i sigurnost u sistemu.

Jedan od primera gde bi primena velikih podataka i adaptivne zaštite dala veoma dobre rezultate je termička zaštita elemenata elektroenergetskog sistema. Ako bi se pored vrednosti struje, analizirali i podaci o temperaturi okoline i brzini vetra, moglo bi se u određenim uslovima (hladno vreme sa vetrom), bez posledica po štice element, dopustiti i trajno preopterećenje elementa.

Analizom podataka, koji su potrebni za predviđanje potrošnje potrošača u određenom periodu i podataka o nastupajućem društvenom dešavanju koje se dešava i traje određeno kratko vreme, može se dopustiti preopterećenje elemenata (fider, transformator) u mreži. Na osnovu toga može se prepodesiti relejna prekomerna zaštita na taj određeni period kako ne bi delovala zbog manjeg prekoračenja podešene vrednosti. Sve pod uslovom da takvo preopterećenje neće drastično uticati na stanje elemenata. Na osnovu podataka o istorijskom i trenutnom stanju elemenata, predviđenom životnom veku, isplativosti remonta, odredilo bi se da li je takva odluka efikasna, dovoljno bezbedna za stanje elemenata i isplativa za samo preduzeće.

Izazovi za analitiku velikih podataka su višestruki. Postoje i tehnički izazovi koji proističu iz karakteristika elektroenergetskog sistema i netehnički izazovi. Pre svega, treba prvo napomenuti da većina elektroenergetskih kompanija još uvek nije sigurna u analitiku velikih podataka, mašinsko učenje i veštačku

inteligenciju [4]. Potrebne su korenite promene. Izazovi su:

- dominacija energetske elektronike
- standardizacija za primenu tehnika velikih podataka
- privatnost i zaštita poverljivosti podataka
- obuka stručnjaka za podatke
- regulative i zakoni

5. ZAKLJUČAK

Tehnologija velikih podataka u elektroindustriji dobija bitnu ulogu koja će omogućiti ubzan razvoj, bolje planiranje i efikasniji rad elektroenergetskog sistema, kao i trenutno prilagođavanje novonastalim događajima i sve zahtevnijim potrebama potrošača. Funkcionisanje moderne električne mreže i upravljanje fleksibilnijom proizvodnjom/potrošnjom, neće biti moguće bez odgovarajućih naprednih komunikacija i tehnologija obrade i analize velikih podataka, koje su u stanju da prikupe ogromnu količinu heterogenih podataka i obrade u realnom vremenu. Primenom analitike i veštačke inteligencije, sistem će automatizovano donositi najbolje odluke i proaktivno delovati, kako bi održavao stabilan rad, smanjio posledice i predvidio stanje kvara, sačuvao opremu mreže i obezbedio efikasnije korišćenje električne energije. Sve ovo donosi korist, kako elektroprivredi i samom elektroenergetskom sistemu u vidu smanjenja troškova i pouzdanijeg rada, tako i samim potrošačima u pogledu njihovog zadovoljstva kvalitetom napajanja.

6. LITERATURA

1. M.Henderson: *We Have the Data: Making It Work for Us*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.4–100, May 2018.
2. N.Amaro, J.M.Pina: *Big Data in Power Systems*, IEEE, International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Funchal, Portugal, 2017.
3. Working Group on Big Data Analytics, Machine Learning and Artificial Intelligence in the Smart Grid: *Big Data Analytics in the Smart Grid*, White Paper, IEEE Smart Grid
4. L.Xie: *Data Technology: The New Normal*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.108–106, May 2018.
5. J.Puurttinen: *Big data mining as a part of substation automation and network management*, Master of Science Thesis, Tampere University of Technology, May 2014.
6. D.Cai, H.Tian, Y.Wang, H.Wang, H.Zheng, K.Cao, C.Zhou: *Electric Power Big Data and Its Applications*, Atlantis Press, 2016.
7. Y.Zhang, T.Huang, E.F.Bompard: *Big data analytics in smart grids: a review*, Energy Informatics, Vol.1, No.8, 2018.
8. D.Bekut: *Relejna zaštita*, Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2009.

Kratka biografija:



Stefan Dorđević rođen je u Smederevu 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio je 2019. god.