



**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U  
NOVOM SADU**

---



Stefan Đorđević

# **VELIKI PODACI U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA**

Master rad

Mentor:  
Prof. dr Duško Bekut

Novi Sad, 2019.



UNIVERZITET U NOVOM SADU

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

|   |   |
|---|---|
| Redni broj, <b>RBR</b> :  |   |
| Identifikacioni broj, <b>IBR</b> :  |   |
| Tip dokumentacije, <b>TD</b> :  | Monografska publikacija   |
| Tip zapisa, <b>TZ</b> :   | Tekstualni štampani materijal   |
| Vrsta rada, <b>VR</b> :   | Master rad  |
| Autor, <b>AU</b> :  | Stefan Đorđević   |
| Mentor, <b>MN</b> :   | Prof. dr Duško Bekut  |
| Naslov rada, <b>NR</b> :  | Veliki podaci u elektroenergetskim sistemima  |
| Jezik publikacije, <b>JP</b> :  | Srpski  |
| Jezik izvoda, <b>Ji</b> :   | Srpski  |
| Zemlja publikovanja, <b>ZP</b> :  | Republika Srbija  |
| Uže geografsko područje, <b>UGP</b> :   | AP Vojvodina  |
| Godina, <b>GO</b> :   | 2019.   |
| Izdavač, <b>IZ</b> :  | Autorski reprint  |
| Mesto i adresa, <b>MA</b> :   | 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, Fakultet Tehničkih Nauka   |
| Fizički opis rada, <b>FO</b> :<br>(poglavlja/strana/ citata/tabela/slika/grafika/priloga) | 9/55/0/4/18/0/0   |
| Naučna oblast, <b>NO</b> :  | Elektrotehnika  |
| Naučna disciplina, <b>ND</b> :  | Elektroenergetika   |
| Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO</b> :   | Veliki podaci; Elektroenergetski sistemi; Relejna zaštita; Pametna mreža;   |
| <b>UDK</b>  |   |
| Čuva se, <b>ČU</b> :  | Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6   |
| Važna napomena, <b>VN</b> :   |   |
| Izvod, <b>IZ</b> :  | U radu su predstavljeni tehnologija velikih podataka i načini primene velikih podataka u elektroenergetskim sistemima. Nakon predstavljanja koncepta veliki podataka, tehnika za prikupljanje, obradu i skladištenje podataka, komunikacione infrastrukture i analitičkih metoda za analizu podataka, predloženi su primeri primene i benefita analize velikog skupa podataka u mnogobrojnim procesima električnih mreža, kao i uticaja na relejnu zaštitu. |
| Datum prihvatanja teme, <b>DP</b> :   |   |
| Datum odbrane, <b>DO</b> :  |   |
| Članovi komisije, <b>KO</b> :   |   |
| Predsednik:   | dr Goran Švenda, red. prof. FTN Novi Sad  |
| Član:   | dr Srđan Vukmirović, doc. FTN Novi Sad  |
| Član, mentor:   | dr Duško Bekut, red. prof. FTN Novi Sad   |
|   | Potpis mentora  |

Obrazac Q2.HA.04-05-Izdanje 1



UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

KEY WORDS DOCUMENTATION

|  |   |  |               |
|--|---|--|---------------|
| Accession number, <b>ANO</b> :   |   |  |               |
| Identification number, <b>INO</b> :  |   |  |               |
| Document type, <b>DT</b> :   | Monographic publication   |  |               |
| Type of record, <b>TR</b> :  | Textual printed material  |  |               |
| Contents code, <b>CC</b> :   | Master Thesis   |  |               |
| Author, <b>AU</b> :  | Stefan Dorđević   |  |               |
| Mentor, <b>MN</b> :  | Ph.D. Duško Bekut, professor  |  |               |
| Title, <b>TI</b> :   | Big Data in Power Systems   |  |               |
| Language of text, <b>LT</b> :  | Serbian   |  |               |
| Language of abstract, <b>LA</b> :  | English   |  |               |
| Country of publication, <b>CP</b> :  | Republic of Serbia  |  |               |
| Locality of publication, <b>LP</b> :   | AP Vojvodina  |  |               |
| Publication year, <b>PY</b> :  | 2019.   |  |               |
| Publisher, <b>PB</b> :   | Author's reprint  |  |               |
| Publication place, <b>PP</b> :   | 21000 Novi Sad, Faculty of technical sciences, Trg Dositeja Obradovića 6  |  |               |
| Physical description, <b>PD</b> :<br>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes) | 9/55/0/4/18/0/0   |  |               |
| Scientific field, <b>SF</b> :  | Electrical engineering  |  |               |
| Scientific discipline, <b>SD</b> :   | Power systems   |  |               |
| Subject/Key words, <b>S/KW</b> :   | Big data; Power systems; Relay protection; Smart grid;  |  |               |
| <b>UC</b>  |   |  |               |
| Holding data, <b>HD</b> :  | The Library of Faculty of technical sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad   |  |               |
| Note, <b>N</b> :   |   |  |               |
| Abstract, <b>AB</b> :  | 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, communication infrastructures and analytical methods for data analysis, examples of the application and benefits of big data analysis in many electrical grid processes, as well as impacts on relay protection, are proposed. |  |               |
| Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :  |   |  |               |
| Defended on, <b>DE</b> :   |   |  |               |
| Defended Board, <b>DB</b> :  | President:  | prof. Goran Švenda, Ph.D. FTN Novi Sad | Mentor's sign |
|  | Member:   | Srdan Vukmirović, Ph.D. FTN Novi Sad   |               |
|  | Member, Mentor:   | prof. Duško Bekut, Ph.D. FTN Novi Sad  |               |

Obrazac Q2.HA.04-05-Izdanje 1

|   |   |          |
|---|---|----------|
|  | <b>UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET<br/>TEHNIČKIH NAUKA</b><br>21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6 | Datum:   |
|   | <b>ZADATAK ZA IZRADU DIPLOMSKOG<br/>(MASTER) RADA</b>   | Listova: |

(Podatke unosi predmetni nastavnik – mentor)

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Vrsta studija:                   | Master akademske studije                   |
| Studijski program:               | Energetika, elektronika i telekomunikacije |
| Rukovodilac studijskog programa: | Dr Milan Sečujski                          |

|  |                           |               |             |
|--|---------------------------|---------------|-------------|
| Student:   | Stefan Đorđević           | Broj indeksa: | E1 133/2016 |
| Oblast:  | Elektroenergetski sistemi |               |             |
| Mentor:  | prof. dr Duško Bekut      |               |             |
| NA OSNOVU PODNETE PRIJAVE, PRILOŽENE DOKUMENTACIJE I ODREDBI STATUTA FAKULTETA<br>IZDAJE SE ZADATAK ZA ZAVRŠNI (MASTER) RAD, SA SLEDEĆIM ELEMENTIMA:   |                           |               |             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>– problem – tema rada;</li><li>– način rešavanja problema i način praktične provere rezultata rada, ako je takva provera neophodna;</li><li>– literatura</li></ul> |                           |               |             |

### NASLOV ZAVRŠNOG (MASTER) RADA:

VELIKI PODACI U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

### TEKST ZADATKA:

U radu pod naslovom „Veliki podaci u elektroenergetskim sistemima“ potrebno je:

- predstaviti koncept velikih podataka,
- objasniti ulogu velikih podataka u elektroenergetici,
- predstaviti tehnologiju velikih podataka,
- opisati moguće primene analitike velikih podataka u procesima elektroenergetskog sistema,
- opisati uticaj velikih podataka na relejnu zaštitu i moguće primene i
- predstaviti izazove u primeni tehnologije velikih podataka.

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| Rukovodilac studijskog programa: | Mentor rada: |
|                                  |              |

Primerak za: ☐ – Studenta; ☐ – Studentsku službu fakulteta

Obrazac Q2.NA.11–03 – Izdanje

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD.....  | 1  |
| 2. KONCEPT VELIKIH PODATAKA .....                                       | 2  |
| 2.1. Različiti načini na koje veliki podaci mogu kreirati vrednost..... | 3  |
| 2.2. „Veliki podaci“ kao nov pojam .....                                | 4  |
| 3. ULOGA VELIKIH PODATAKA U ELEKTROENERGETICI .....                     | 6  |
| 3.1. Pametna mreža.....   | 8  |
| 3.2. Put ka pametnoj mreži .....  | 9  |
| 3.3. Vrednost koju energetske veliki podaci donose.....                 | 14 |
| 3.4. Karakteristike velikih podataka .....                              | 17 |
| 4. TEHNOLOGIJA VELIKIH PODATAKA .....                                   | 20 |
| 4.1. Izvori i prikupljanje podataka.....                                | 21 |
| 4.2. Skladištenje i predobrada podataka .....                           | 23 |
| 4.3. Komunikaciona infrastruktura .....                                 | 24 |
| 4.4. Analiza podataka i analitika .....                                 | 25 |
| 4.5. Vizuelizacija i alati za analizu podataka .....                    | 28 |
| 5. PRIMENE VELIKIH PODATAKA U EES .....                                 | 29 |
| 5.1. Prognoza proizvodnje distributivnih izvora .....                   | 29 |
| 5.2. Prognoza i profilisanje potrošnje.....                             | 30 |
| 5.3. Efikasno korišćenje električne energije.....                       | 32 |
| 5.4. Efikasna tržišta električne energije.....                          | 34 |
| 5.5. Detekcija i predviđanje prekida.....                               | 36 |
| 5.6. Predviđanje kvara opreme .....                                     | 38 |
| 5.7. Električna vozila.....   | 39 |
| 5.8. Lokacija niskog napona.....  | 40 |
| 5.9. Detekcija netehničkih gubitaka .....                               | 40 |
| 5.10. Planiranje mreže .....  | 41 |
| 5.11. Primena PMU podataka.....   | 41 |
| 6. VELIKI PODACI U RELEJNOJ ZAŠTITI .....                               | 43 |
| 6.1. Mogućnosti relejne zaštite.....                                    | 43 |
| 6.2. Primene velikih podataka u relejnoj zaštiti .....                  | 44 |
| 7. IZAZOVI U PRIMENI VELIKIH PODATAKA .....                             | 47 |
| 8. ZAKLJUČAK.....   | 49 |
| 9. LITERATURA .....   | 51 |

## 1. UVOD

Veliki podaci (engl. *Big data*) označavaju velike i kompleksne skupove podataka kod kojih tradicionalne aplikacije za obradu podataka nisu primenljive. Te skupove podataka karakterišu raznovrsnost formata, velike brzine obrade i veliki obim informacija. 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 elektroenergetskoj industriji tehnologija velikih podataka može učiniti rad elektroenergetskog sistema pouzdanijim i efikasnijim, poboljšati upravljanje poslovnim i električnim procesima i poboljšati rad relejne zaštite.

U poglavlju 2 ovog rada biće predstavljeno razmatranje koncepta velikih podataka koji uključuje opšte definicije velikih podataka i promenu razmišljanja koja će nastupiti u raznim poslovnim procesima raznih industrija. Šta primena velikih podataka donosi elektroenergetskoj industriji i kakav značaj može imati biće predstavljeno u poglavlju 3 kroz opis pametne mreže, razvoj trenutnog sistema da postane inteligentan, do konačnih opisa na koji način analiza podataka može doprineti odlukama u procesima elektroenergetskog sistema i pametne mreže. Na samom kraju poglavlja 3, biće reči o glavnim karakteristikama velikih podataka. Poglavlje 4 opisaće detaljnije samu tehnologiju velikih podataka kroz predstavljenu komunikacionu infrastrukturu, sa izvorima podataka i načinima prikupljanja, predobrade i skladištenja, do samih analitičkih metoda kojim se analiziraju prikupljeni podaci. Biće predstavljene i srodne tehnologije uz čiju pomoć se dolazi do korisnih odluka na osnovu obrađenih podataka. Sve prethodno biće implementirano u poglavlju 5 kroz primene u procesima elektroenergetskog sistema (prognoziranje proizvodnje/potrošnje, efikasno korišćenje energije, detekcija i predviđanje kvarova i drugo). Osim tih primena, ogroman značaj veliki podaci mogu ostvariti kroz primene u relejnoj zaštiti. Kombinovanje tradicionalnih i modernih električnih podataka, kao i podataka iz raznih sistema izvan električne mreže, u cilju podešenja releja biće razmatrano u delu pod brojem 6 ovog rada. Na kraju, ispred donetih zaključaka i korišćene literature, u poglavlju 7 predstaviće se izazovi implementacije velikih podataka.

## 2. KONCEPT VELIKIH PODATAKA

Često se u sferi poslovanja može čuti rečenica: „Pokažite nam podatke i mi ćemo doneti ispravnu odluku!“ Da bi se donele ispravne odluke, moraju se identifikovati podaci koje treba prikupiti, pronaći rešenja kada nisu pouzdani, sprovesti odgovarajuće analize i prezentovati ih u lako razumljivim formama [1]. Kako se to može uraditi kada količina podataka postane ogromno velika?

Kako se svest o „velikim podacima“ povećava, više industrija je počelo da prihvata analitiku da bi iskoristilo vrednost svih ovih podataka. Kako naziv implicira, veliki podaci doslovno znače velike zbirke skupova podataka koji sadrže obilje informacija. Međutim, pored ogromne količine koja eksponencijalno raste, oni imaju neke posebne karakteristike. Te karakteristike ga razlikuju od „veoma velikih podataka“ ili „masovnih podataka“, koji su jednostavno ogromne zbirke zapisa jednostavnog formata i koji su obično ekvivalentni ogromnim tabelama. Veliki podaci, koji uključuju heterogenu masu strukturiranih i nestrukturiranih podataka, izuzetno su složeni za rešavanje putem tradicionalnih pristupa i zahtevaju analizu u relanom vremenu [2].

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. To znači da:

- 1) skupovi podataka se znatno povećavaju i znatno se razlikuju,
- 2) tradicionalne tehnologije baza podataka ne mogu da podrže sve veće količine podataka.

Pored razvoja pravilne definicije, istraživanje velikih podataka trebalo bi da se fokusira i na to kako da se izvuče njihova vrednost, kako da se koriste podaci i kako da se transformišu „hrpa podataka“ u „velike podatke“ [3]. Postaje sve važnije kako dešifrovati informacije koje su važne, tako i otkriti skrivene obrasce i nepoznate korelacije u cilju boljeg donošenja odluka. Sama dostupnost podataka, sama po sebi, neće dovesti do povećane svesti o situaciji i operative inteligencije. Podaci moraju biti upareni sa korisnom analitikom da bi se ti podaci transformisali u informacije koje se mogu iskoristiti, odnosno da bi se transformisali u akcijske uvide.

Tradicionalni pristupi analizi podataka su neadekvatni da bi se nosili sa velikom količinom i učestalošću podataka generisanih raznovrsnim i mnogobrojnim izvorima. 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 sprovodile proaktivne akcije. Takođe, mora i da obezbedi takvu platformu koja ima sposobnost da automatizuje ceo proces [4,5]. U suštini, analitika velikih podataka, predstavlja naprednu analitiku i tehnologije, kao što su prediktivna analitika, rudarenje podataka, statistička analiza, mašinsko učenje, tehnike veštačke inteligencije i druge, koje rade na velikim skupovima podataka [4]. Prednosti koje se dobijaju od sposobnosti obrade velikih količina informacija je glavna atrakcija analitike velikih podataka. Smatra se da je bolje imati više podataka nego imati bolje modele, jer čak i jednostavni matematički pristupi mogu dati odlične rezultate s obzirom na velike količine podataka [6].

Na kraju, izvučeni uvidi iz analize moraju biti vizuelizovani za lako i efikasno razumevanje. Neophodno je predstavljanje rezultata analitike velikih podataka na razumljiv način manje tehnički obrazovanoj publici. Samo tako bi tim za upravljanje na osnovu iznetih podataka mogao doneti ispravne odluke. Pored toga, efikasna vizuelizacija je neophodna i za komunikaciju i dogovor sa zainteresovanim trećim stranama u poslovanju.

## **2.1. Različiti načini na koje veliki podaci mogu kreirati vrednost**

Postepeno, veliki podaci i njihova analiza duboko utiču na načine razmišljanja. Revolucija razmišljanja izazvana velikim podacima može se sažeti na sledeći način [3]:

- Tokom analize podataka, proba se da se iskoriste svi podaci, a ne da se samo analizira mali skup uzorka podataka.
- U poređenju sa tačnim podacima, postoji želja da se prihvate i brojni i komplikovani podaci.
- Posvećuje se veća pažnja korelacijama između drugih stvari osim istraživanja uzročne veze.
- Jednostavni algoritmi velikih podataka su efikasniji od složenih algoritama malih podataka.
- Analitički rezultati velikih podataka će smanjiti brzopletost i subjektivne faktore tokom donošenja odluka, a naučnici koji se bave podacima će zameniti „stručnjake“.

Korišćenje aplikacija za velike podatke će biti sledeći značajan način za dalje povećanje produktivnosti. To bi čak moglo postati ključni način za kompanije da nadmaše svoje rivale. Razmotriće se nekoliko načina kako veliki podaci mogu da stvore vrednost. Postoje i drugi načini od ovih koji su dole spomenuti, ali ovo su neki od najverovatnijih koji će se koristiti u sektoru energetike [6]:

- stvaranje transparentnosti,
- inovacija novih poslovnih modela, proizvoda i usluga,
- zamena/podrška donošenju ljudskih odluka pomoću automatizovanih sistema,
- otkrivanje nepredviđenih potreba i otkrivanje varijabilnosti.



## 2.2. „Veliki podaci“ kao nov pojam

Tokom poslednje decenije svet se suočio sa digitalnom revolucijom. Povećana digitalizacija različitih sektora, zajedno sa pojavljivanjem društvenih medija i povećanjem broja povezanih uređaja, rezultirali su akumulacijom velikih količina podataka. Količina podataka je stalno u porastu i očekuje se da će do 2020. godine stvoreni i razmenjeni podaci dosegnuti 44 ZB<sup>1</sup> (2011. godine ta cifra je iznosila 1,8 ZB [8]). Uviđajući stvarne potencijale podataka, preduzeća ne koriste samo to kao izvor odlučivanja, već kao novi tok prihoda. Velike prilike koje se pojavljuju su preoblikovanje poslovnih modela mnogih kompanija širom sveta [5,9].

Danas se živi u eri „poplava“ podataka i kao rezultat toga, pojam „veliki podaci“ pojavljuje se u mnogim kontekstima, od meteorologije, simulacija složene fizike, bioloških i ekoloških istraživanja, finansija i biznisa do zdravstvene zaštite i elektroenergetike [2]. Analitika velikih podataka je revolucionirala mnoge industrije. Takodje, mnoge vladine agencije objavile su velike planove za ubrzavanje istraživanja i primena velikih podataka. Na primer, nacionalna vlada SAD-a je 2012. godine je investirala 200 miliona dolara za pokretanje istraživanja i razvoja velikih podataka [3]. Jedan zanimljiv primer je da je u saopštenju za štampu SAP AG, 11. juna 2014. godine, saopšteno: „SAP i Nemački fudbalski savez pretvaraju velike podatke u pametne odluke kako bi poboljšali performanse igrača na Svetskom prvenstvu u Brazilu” [2]. Danas, većina popularnih kompjuterskih i veb aplikacija pokreću algoritmi analitike velikih podataka. Skoro sve velike kompanije, uključujući „Oracle“, „IBM“, „Microsoft“, „Google“, „Amazon“ i „Facebook“, pokrenule su svoje projekte velikih podataka. „IBM“ je npr. od 2005. godine uložio 16 milijardi dolara u 30 akvizicija vezanih za velike podatke [3]. Veliki svetski internet komercijalni igrač, kao što su „Alibaba“ i „Amazon“, u velikoj meri se oslanjaju na analitiku velikih podataka kako bi iskoristili interesovanja kupaca pri kupovini i ponašanja prilikom pretraživanja veba u svrhu prilagođenog marketinga [2,8]. Slično tome, korišćenjem milijardi stranica prevoda koji su veoma različitog kvaliteta, „Google“-ov prevodilački sistem je postao tačniji od onih u drugim sistemima.

Sa industrijske tačke gledišta, veliki podaci će igrati važnu ulogu u četvrtoj industrijskoj revoluciji. Prva industrijska revolucija (od kraja 18. do početka 20. veka) zavisila je od vode i pare, a druga (od početka 20. veka do ranih sedamdesetih) zavisila je od masovne proizvodnje, zasnovane na podeli rada i električnoj energiji, a treći (od početka sedamdesetih do danas) zavisio je od elektronike i informacione tehnologije za dalju automatizaciju proizvodnje. Gorivo četvrte industrijske revolucije biće veliki podaci koji će biti dostupni preko sajber-fizičkih sistema [2].

Efikasno prikupljanje i analiza velikih podataka ima potencijal da poveća produktivnost preduzeća. Podaci, koje šalju pametni uređaji, mogu pomoći proizvođaču da precizno odredi preferencije potrošača i na taj način oblikuje buduće proizvode. Pored toga, pravilnim tumačenjem velikih podataka mogu se kreirati efikasniji sistemi za upravljanje rizicima koji pomažu menadžmentu kompanije da donese bolje odluke i poboljša korporativno upravljanje.

Tokom pandemije gripa 2009. godine, „Google“ je prikupio pravovremene informacije analizirajući velike podatke, koji su čak dali vrednije informacije od onih koje pružaju centri za prevenciju bolesti. Gotovo sve zemlje zahtevaju da bolnice informišu agencije kao što su centri

---

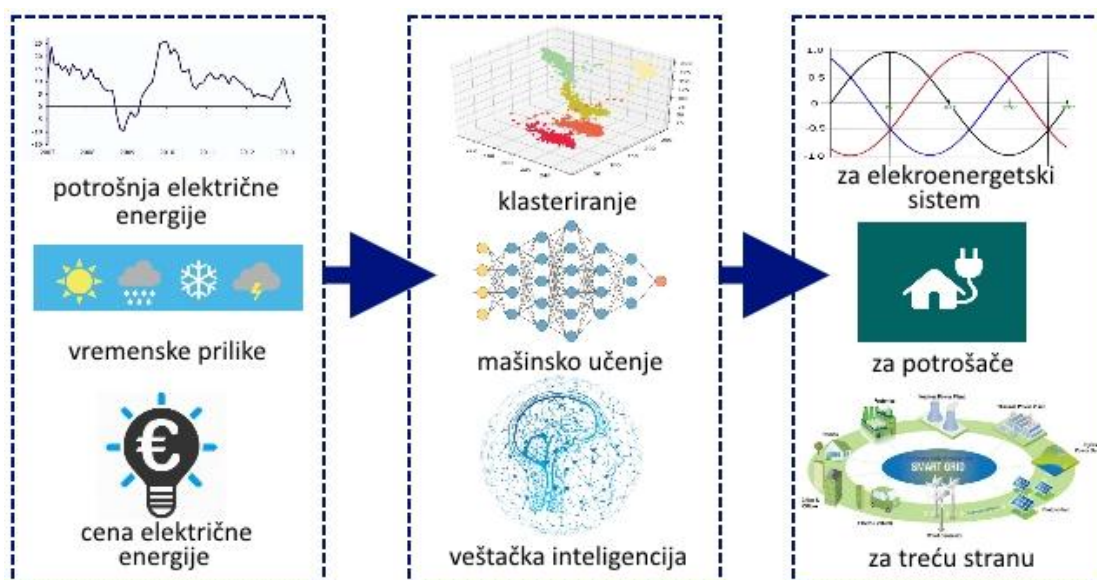
<sup>1</sup> ZB (zetabajt) – oznaka za jedinicu količine podataka u iznosu 10<sup>21</sup> bajta [7].

za prevenciju bolesti novog tipa slučajeva gripa. Međutim, pacijenti obično nisu odmah videli lekare kada su se zarazili. Trebalo je i određeno vreme za slanje informacija iz bolnica centrima za prevenciju bolesti i za analiziranje takvih informacija. Stoga, dok javnost bude svesna pandemije novog tipa gripa, grip se možda već proširio na jednu do dve sedmice sa rizičnim posledicama. „Google“ je utvrdio da će se tokom širenja gripa unosi koji se često traže u njegovim pretraživačima razlikovati od onih u običnim vremenima, a da je učestalost pretraživanja u uzajamnoj vezi sa širenjem gripa i u pogledu vremena i lokacije. „Google“ je pronašao 45 pretraživačkih grupa koje su bile blisko povezane sa izbijanjem gripa i uključio ih je u specifične matematičke modele kako bi prognozirali širenje gripa, pa čak i predvideli mesta odakle se grip počeo širiti [3]. Ova činjenica samo potvrđuje važnost i vrednost velikih podataka.

### **3. ULOGA VELIKIH PODATAKA U ELEKTROENERGETICI**

U elektroenergetskom sektoru, uz primenu koncepta pametnih mreža i sve većeg prodora informacionih i komunikacionih tehnologija, digitalizacija je stvarnost. Ova digitalizacija se može videti u svim sferama elektroprivrede, od proizvodnje do distribucije/maloprodaje. 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 razmatranjem pitanja okoline, između ostalog, a samim tim 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 [9]. Vredne informacione 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. Slučajevi upotrebe uključuju predviđanje šteta od oluje, visokorizična procena fidera i mnogo toga drugog. Na mestu nekog ko je elektroenergetski inženjer ovo otvara toliko novih mogućnosti za rešavanje velikih problema sa ogromnim društvenim uticajem.

Slika 3.1. prikazuje obrazac primene analitike velikih podataka u aplikacijama elektroenergetskog sistema. Proces prikupljanja podataka počinje sa različitim izvorima kao što su pametna brojila, 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 [8]. 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 3.1. – Obrazac primene tehnologije velikih podataka u elektroenergetici*

Vrednost podataka verovatno će energetskej industriji pružiti obnovljenu paradigmu koja vodi renesansi njenih poslovnih modela. 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 u portfoliju proizvodnje. Drugi glavni uzrok je povećanje nivoa korišćenja distributivne mreže u odnosu na prenosnu mrežu na velikoprodajnom nivou [10]. Ovo pokreće osnovna pitanja za korišćenje i rad sistema u budućnosti. Koji bi bio novi poslovni model koji bi uskladio interese različitih aktera u novom okruženju? Kako bi energetska preduzeća trebala redefinisati svoje poslovne modele tako da njihovi deoničari (uključujući potrošače usluga, dobavljače distribuiranih resursa, vlasnike infrastrukture, systemske operatore i prodavce) mogu na adekvantan način međusobno funkcionisati u takvom okruženju? Još jedno ključno pitanje je kako zadržati podatke u bliskoj vezi sa fizičkim modelima? Kakva treba biti integracija podataka sa osnovnim fizičkim modelima? Ne bi bilo mudro odbaciti sva čudesna znanja koja su inženjeri i istraživači akumulirali tokom decenija i započeti potpuno novi pristup energetskeim sistemima zasnovan samo na podacima. Umesto toga, takvi modeli i fizički principi nude ogroman uvid u aspekte učenja u sferi otkrivanja novih rešenja koristeći podatke.

U ovom izazovu, podaci bi verovatno igrali važnu ulogu. Mnoge usluge sa dodatnim ponudama iz energetskeih preduzeća mogu vrlo lako postati nove mogućnosti za inovacije i poslovne prilike. Primeri uključuju savetovanje o energetskej efikasnosti domaćinstva, popust na cenu izvan vršnog opterećenja itd. Za sve ovo bi bila potrebna nova osnova buduće energetske industrije – stručnjaci za velike podatke. Baš kao što podaci menjaju način na koji ljudi vode maloprodaju, hotelijerstvo i mnoge druge kompanije, podaci će verovatno imati veliki uticaj na modernizaciju električne mreže [1,10]. Da bi se odgovorilo na gore navedene izazove, potrebna je visoko skalabilna i efektivna platforma za analizu podataka koja može automatizovati ceo proces. Samim tim, tehnologija velikih podataka u svemu tome može imati presudnu ulogu.

### 3.1. Pametna mreža

Iako se popularno naziva krajnjim rešenjem za sve probleme trenutnog elektroenergetskog sistema, pametna mreža je još uvek rastući i nestabilan koncept. Obično se smatra skupom naprednih karakteristika koje pokreću obećavajuća tehnološka rešenja. Ona još uvek nema jedinstvenu definiciju. Dve najšire prihvaćene definicije pametne mreže su sledeće [11]:

- 1) Američko ministarstvo energetike: „Pametna mreža koristi digitalnu tehnologiju za poboljšanje pouzdanosti, sigurnosti i efikasnosti elektroenergetskog sistema od proizvodnje, preko sistema prenosa do potrošača električne energije i sve većeg broja distributivnih resursa za proizvodnju i resursa za skladištenje.“
- 2) Evropska tehnološka platforma za pametnu mrežu: „Pametna mreža je elektroenergetska mreža koja može inteligentno integrisati rad svih korisnika koji su s njom povezani – proizvođače, potrošače i one koji vrše obe funkcije – kako bi efikasno isporučili održivu, ekonomsku i sigurnu električnu energiju.“

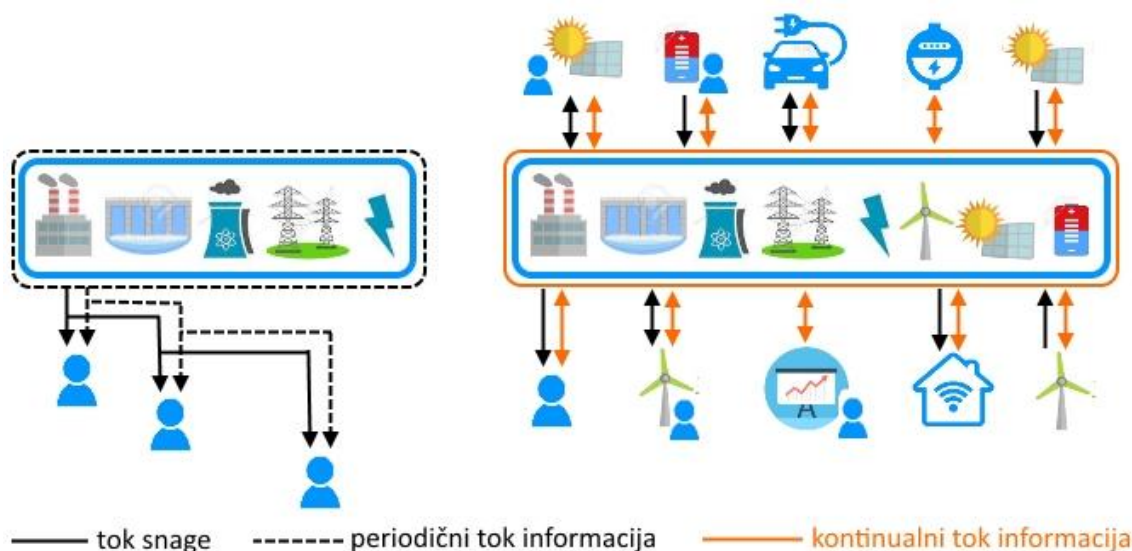
Pristup u obe definicije u velikoj meri zavisi od toga koji su akteri ili delovi sistema fokusirani. Iako definicija SAD-a posvećuje više pažnje ukupnom sistemu i obećavajućim tehnološkim rešenjima, evropska definicija teži ka krajnjim potrošačima [11,12]. U suštini, iako se granica pametne mreže stalno širi, uključujući sve više i više socijalnih i tehnoloških rešenja, glavno je da se osnovni koncept pametne mreže oslanja na napredne digitalne informacione i komunikacione tehnologije. Pametna mreža je važan pravac istraživanja i razvoja u energetske industriji.

Opšte je prihvaćeno da se većina funkcija pametnih mreža napaja ogromnom količinom podataka generisanih velikim brojem automatizovanih/kontrolnih/programabilnih uređaja povezanih internetom. U stvari, 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 efikasnosti, pouzdanosti i održivosti elektroenergetske mreže kroz različite slučajeve upotrebe, kao što su otkrivanje i obnavljanje prekida, preventivno održavanje, oblikovanje obrazaca potrošnje potrošača, odgovor na potražnju (engl. *Demand Response*, skraćenica DR), automatizacija distributivnog sistema i kontrola emisije [11,13]. Drugim rečima, veruje se da će pamet koncepta pametnih mreža biti doneta snagom analitike velikih podataka, koja će i omogućiti optimizovan rad takvog sistema.

Pametna mreža omogućava elektroprivredi da angažuje potrošače u proizvodnji električne energije na stambenom i industrijskom nivou i mogu da sprovedu dvosmernu razmenu električne energije – između dobavljača i potrošača. Da bi se omogućilo „pametno“, ogromna količina podataka se razmenjuje između komponenti mreže i poslovnih sistema koji upravljaju ovim komponentama. Razmena podataka je neophodna za kontrolu, nadzor i koordinaciju između pametne opreme u podsistemu pametne mreže. Za optimalne performanse, analitika velikih podataka je neophodna, a lokalna autonomna kontrola se postiže kada se veštačka inteligencija primeni tehnikama mašinskog učenja [4,12].

Dvosmerni protok energije i informacija je bitno polje u pametnoj mreži. Sa rastućim snabdevanjem električnom energijom iz manjih, decentralizovanih generatora, tj. vetroelektrana

i stambenih krovnih fotonaponskih panela i mikromreža, napredne tehnologije senzora i merenja sa integrisanim bezbednosnim protokolima omogućavaju predviđene napredne karakteristike pametne mreže, kao što su, pored odgovora na potražnju, i autonomna kontrola, samopopravljanje i samopodešavanje. U suštini, pametna mreža obezbeđuje značajna poboljšanja u tradicionalnim sistemima napajanja koji uključuju šest osnovnih blokova, naime, mrežu, korisnike, hardver, softver, servere i podatke [11].



*Slika 3.2. – Tradicionalna mreža naspram pametne mreže*

Na slici 3.2. 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. Ova infrastruktura omogućava potrošačima i proizvođačima mikroenergije da preuzmu aktivniju ulogu na tržištu električne energije i u dinamičkom upravljanju energijom [11,13].

### 3.2. Put ka pametnoj mreži

Naše sadašnje društvo je izgrađeno oko koncepta stalnog ekonomskog rasta. Kao rezultat toga, od 19. veka, ranih dana industrijalizacije, stalno raste. Ova ideologija je imala najveći uticaj na industriju jer njen nivo često određuje tempo ekonomskog rasta. Da bi zadovoljila zahteve za većim rastom, industrija je konstantno usavršavala i poboljšavala svoje procese. Ovo se posebno odnosi na distribuciju i proizvodnju električne energije. Davno su prošli dani kada su jednostavni analogni releji predstavljali poboljšanje u odnosu na prethodne tehnologije. Kako smo ušli u informaciono doba, pristupačni personalni računar postao je glavni način poboljšanja efikasnosti. Sada kada je upotreba računara postala raširena i sazrela kao tehnologija, rešenja postaju sve kompleksnija. Poboljšati ih predstavlja još veći izazov, jer zahteva znatnu količinu istraživanja, razvoja i preuzimanja rizika. Da bi se održao rast, konstantno se razmatraju novi načini poboljšanja efikasnosti, za koje se trenutno smatra da najviše obećava automatizovana analiza ogromnih masa podataka – velikih podataka.

Više od 100 godina osnovna struktura elektroenergetske mreže ostala je ista. Praktična iskustva su pokazala da hijerarhijska, uglavnom ručno kontrolisana mreža 20. veka nije pogodna za potrebe savremenog sveta. Sistemi za distribuciju električne energije prolaze kroz duboke promene uslovljene brojnim potrebama. Postoji potreba za ekološki održivim distribuiranim energetske resursima i opštim očuvanjem energije. Starosna infrastruktura postavlja zahteve za boljom pouzdanošću mreže, dok istovremeno postoji potreba za poboljšanjem operativne efikasnosti. Potrebne promene su značajne za elektroenergetske distributivne sisteme, ali se mogu postići dodavanjem automatizacije već postojećim sistemima i time stvaranjem „pametnije električne mreže“. Pametna mreža će biti moderna elektroenergetska mrežna infrastruktura za poboljšanu efikasnost i pouzdanost kroz automatizovanu kontrolu, visoke energetske pretvarače i moderne komunikacione infrastrukture i tehnologija za detekciju i merenje. Sa sigurnošću se može reći da ove potrebe i promene predstavljaju za energetske sektor najveći izazov sa kojim se suočio. Međutim, promene se neće dogoditi preko noći, već će se „prirodno“ menjati [6].

### **3.2.1. Trenutni prenosni sistem**

Elektroenergetsku mrežu mediji često i opisuju kao stogodišnje sisteme, koja koristi zastarele tehnologije i veoma „ranjive“. Činjenica da se pokušava da se izgradi pametna mreža ne znači da se trenutna mreža pasivno ili ručno upravlja. Prenosna infrastruktura je nekim delovima sveta već veoma pametna sa velikim brojem senzora i automatizovane opreme. Prati se i reguliše svake sekunde izuzetno komplikovanim algoritmima, održavajući stabilnost 24 sata dnevno, 7 dana u nedelji. Visokonaponski dalekovodi su postavljeni kao „upetljana mreža“, tako da sistem još uvek može funkcionisati u slučaju gubitka jedne ili čak više jedinica. Operatori prenosnog sistema mogu da nadgledaju, analiziraju i prilagođavaju tokove električne energije daljinski iz kontrolnog centra.

Visoko kompleksna infrastruktura elektroenergetske mreže je dizajnirana i radi tako da služi jedinstvenoj svrsi: balansiranje između potrošnje i proizvodnje električne energije. Ovo je izazovan zadatak, jer do sada ne postoji tehnologija koja nam omogućava efikasno skladištenje ogromne količine električne energije pri prihvatljivim troškovima. Osim toga, potrošnja je nestabilan parametar i može se prognozirati na određeni nivo tačnosti u određenim uslovima. Štaviše, uvek postoje neočekivani događaji u mreži. Stoga, usklađivanje proizvodnje i potražnje za energijom zahteva puno planiranja u različitim vremenskim okvirima – od godina do sekundi. U trenutnim prenosnim mrežama, područje balansiranja se može smatrati da je obično veoma veliko [11].

### **3.2.2. Trenutni distributivni sistem**

Za razliku od prenosne mreže, većina postojećih distributivnih sistema se sastoji od jednostavnih radijalnih struktura. Distributivni fider obično ima jedan koren odakle snaga teče u mnoge grane i gde izlazi na potrošače, odnosno kupce. Ako se nešto dogodi na fideru (npr. pad drveta na električni vod, ili udari munja u transformator), napajanje čitavog fidera može se automatski isključiti pomoću prekidača. Iznenadjujuće, tipični operateri distributivnih sistema nisu u stanju da otkriju ove događaje dok ih neki klijent (potrošač) ne pozove. Zaista, tradicionalna uloga distributivnog sistema je „izgradnja i povezivanje“, uz minimalan napor koji se plaća na upravljanje mrežom. Oni prikupljaju veoma retke informacije i upravljaju

niskonaponskom distributivnom mrežom sa veoma ograničenom automatizacijom. Ovo objašnjava zašto se gotovo 90% svih prekida i poremećaja u sistemima javlja u distributivnoj mreži [11].

### 3.2.3. Pokretači promena u električnoj mreži

Postoje tri glavne vrste promena ili pokretača promena u elektroindustriji koje donose velike izazove, ali istovremeno i velike mogućnosti za razvoj [6]. Tehnologija velikih podataka će omogućiti važnu osnovu elektroenergetskom sistemu da se nosi sa takvim izazovima:

- 1) Prvi je organizaciona promena. Snabdevanje električnom energijom je postalo konkurentno tako da potrošači sada mogu slobodno da biraju pružaoce usluga tamo gde je najjeftinije. Ovo ima sve manji efekat na ulogu regionalnog operatora mreže i otvara tržište za konkurenciju i razvoj.
- 2) Drugi pokretač promena je pitanje očiglednih ekoloških problema i održivih izvora energije. Težnja ka smanjenju ugljen dioksida i čistijoj obnovljivoj energiji će na kraju dovesti do decentralizovane proizvodnje.
- 3) Treći pokretač je tehnološki napredak kao što je distributivna proizvodnja malih razmera postala ekonomična. Razvoj senzorskih i komunikacionih tehnologija omogućava učesnicima mreže da odgovore na systemske uslove i cene električne energije čineći decentralizovanu proizvodnju održivom. Takođe, poboljšanja u tehnologijama zaštitnih uređaja za distributivni i prenosni sistem podstiču promene. Sva ova tehnologija generiše ogromne količine sirovih podataka koje treba obraditi. Ovo predstavlja izazov za buduće informacione i komunikacione tehnologije. Da bi sistemi ispravno funkcionisali, svim ovim podacima se mora upravljati i moraju se izvući bitni zaključci iz njih. Razvoj analize velikih podataka postaje presudan [6]. Takođe, izazov predstavlja i sve veća potražnja za električnom energijom, popularnost električnih vozila (skraćenica EV) i aktivno učešće krajnjih potrošača [11].

Pored tradicionalnih centralizovanih fleksibilnih izvora kao što su veliki generatori (ponekad i veliki potrošači), sada se fleksibilnost električne energije može omogućiti i kod krajnjih potrošača preko pametnih uređaja, EV i dr. Ovi distributivni fleksibilni izvori mogu se koristiti za povećanje kapaciteta mreže, efikasnosti, pouzdanosti i sigurnosti. Čitav proces se obično naziva „odgovor na potražnju“ (DR), što je jedan od ključnih koncepata pametne mreže. Nešto više o samom ovom procesu sledi u nastavku rada.

Štaviše, pod pritiskom klimatskih promena i iscrpljivanja fosilnih goriva, više obnovljivih izvora energije treba uključiti u proizvodni miks. U okviru ove kombinacije obnovljivih izvora energije, očekuje se da će distribuirana obnovljiva energija preuzeti glavnu ulogu, jer se efikasnost i ekonomičnost vetroagregata i solarnih panela na krovu postepeno povećavaju. Međutim, većina ovih obnovljivih izvora su intermitentni i jako zavise od vremenskih uslova. Bez dodatne fleksibilnosti prikupljene iz DR programa i korišćenja prednosti velikih podataka, troškovi integracije ovih visoko varijabilnih izvora energije će biti ogromni [11].

Kao što se lako može videti, polazna tačka za pametnu mrežu je postavljena na distributivne sisteme. Oni su koreni većine tradicionalnih i modernih problema. Da bi se sve ove komponente mogle integrisati, prvi korak je da operateri distributivnih sistema moraju instalirati naprednu infrastrukturu merenja (engl. *Advanced metering infrastructure*, skraćenica AMI), koja



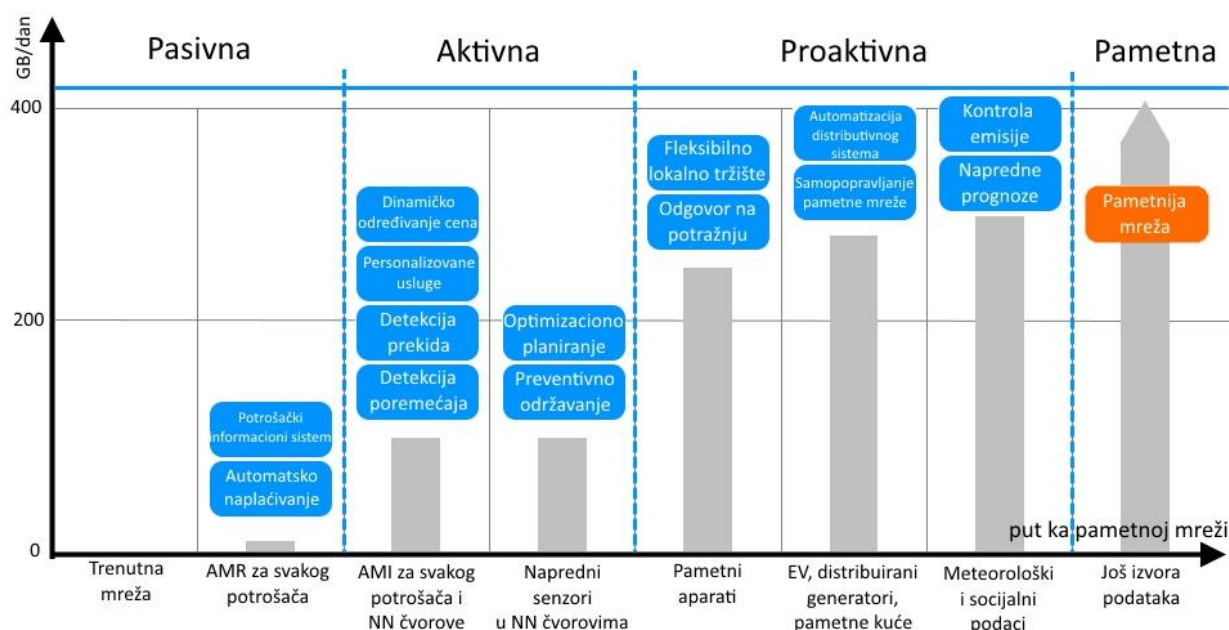
osigurava dvosmerne komunikacijske veze do brojila. Operateri distributivnih sistema mogu preko AMI-a dobiti trenutne podatke o pojedinačnoj ili grupnoj potrošnji i proceniti stanje mreže. Oni mogu nametnuti kapacitet potrošnje, ili implementirati DR strategiju putem direktne kontrole ili dinamičkog određivanja cena. Iako su hardverski i komunikacioni troškovi AMI opreme postali mnogo niži nego ranije, još uvek je previsok za distribucije da instaliraju AMI u celom distributivnom sistemu. Umesto toga, postojaće tehnološki rast novih distributivnih sistema, koji uključuje napredne tehnologije, ali potpuno kompatibilan sa postojećim nasleđenim sistemima [11].

Smatra se da će se sadašnja mreža razviti u pametnu na taj način da pametna mreža neće zameniti već koegzistirati sa postojećom električnom mrežom. To će biti dopuna postojećoj mreži sa dodatnim karakteristikama, mogućnostima i kapacitetima. Ovaj proces će početi na nivou distribucije gde pametne i stare distributivne mreže funkcionišu „rame uz rame“. Pametni distributivni sistem, u zavisnosti od geografije, raznolikosti opterećenja i izvora energije, kao i nivoa investicija, mogao bi biti izgrađen da podrži različite funkcionalnosti. Distributivna mreža radiće na osnovu tržišnog kontrolnog mehanizma. Fleksibilnosti se prikupljaju iz pametnih EV, pametnih kancelarija, potrošača i mikromreža, a trguje se na maloprodajnom fleksibilnom tržištu. Dobavljači su odgovorni za ugovaranje sa fleksibilnim vlasnicima, dok ih agregatori kupuju od dobavljača ili krajnjih korisnika, akumuliraju i trguju na tržištu. Ovu fleksibilnost mogu koristiti operateri distribucijskih sistema za rešavanje tačaka zagušenja ili smanjenje vršnih opterećenja. Štaviše, zahvaljujući pametnim brojilima i kontrolnim jedinicama priključenim u razvodnim postrojenjima, vodovima i transformatorima, distribucije su u mogućnosti da implementiraju automatizaciju distributivnog sistema. Distributivna mreža će se na taj način takođe razviti u upetljanu mrežu sa redundantnim vezama. Pored toga, celokupna ili deo pametne distributivne mreže može evoluirati u pametnu mikromrežu. Mikromreža je međusobno povezana mreža koja može da funkcioniše bez obzira da li je povezana ili odvojena od glavne mreže [11].

Elektroenergetska preduzeća ne mogu jednostavno da primene veliku naprednu infrastrukturu za merenje, gde je svaka relevantna komponenta povezana odgovarajućom pametnom opremom. Ovo je preskupo da bi bilo izvodljivo. Umesto toga, ovaj proces bi trebalo da se radi korak po korak, gde koristi generisane iz određenog koraka mogu delimično pokriti troškove implementacije sledećeg koraka. Ovo je mesto gde veliki podaci dolaze u procesu tranzicije električnih mreža. Većina slučajeva korišćenja pametnih mreža karakteriše ogromna količina podataka prikupljenih od svih povezanih pametnih uređaja u skoro realnom vremenu. Veliki podaci su skup alata koji omogućavaju kompanijama da upravljaju i transformišu ove velike količine podataka velike brzine u vrednosti. Veliki podaci predstavljaju rešenje i glavnu pokretačku snagu tranzicije elektroenergetskog sistema [11].

Veliki alati za analizu podataka mogu otkriti skrivene modele ili korelacije iz mora senzorskih podataka. Ovi uvidi se mogu koristiti za vizualizaciju, optimizaciju ili automatizaciju operacija mreže. Kad god se priključi novi izvor podataka, mogu se implementirati određene aplikacije velikih podataka, koje mogu dodati nove prednosti i kreirati nove vrednosti iz podataka. Ove vrednosti će podstaknuti organizacioni, tehnološki i energetski rast elektroenergetskog sistema, što dovodi do daljih ulaganja i povezanih izvora podataka. Slika 3.3. opisuje kako trenutna pasivna distributivna mreža može postati aktivna, zatim proaktivna i konačno pametna mreža [11]. Potencijal generisanja podataka u svakom koraku je takođe

ilustrovan da grubo pokaže koliko su veliki podaci koje mora da se obrade. O samim izvorima biće u nastavku rada.



Slika 3.3. – Evolucijski put ka pametnoj mreži, gde svaki korak podrazumeva povezivanje više izvora podataka i stvaranje više vrednosti primenom odgovarajućih aplikacija velikih podataka

### 3.2.4. Odgovor na potražnju

„Zvanična“ definicija fenomena „odgovor na potražnju“ (DR) mogla bi da glasi kao [5]: promene u korišćenju električne energije od strane krajnjih potrošača, iz njihovih uobičajenih obrazaca potrošnje, kao odgovor na promene u ceni električne energije tokom vremena ili na podsticajne isplate koje su usmerene na smanjenje potrošnje električne energije u vreme visokih veleprodajnih tržišnih cena ili kada je ugrožena pouzdanost sistema.

DR i njegovi uticaji na ponašanje potrošača zahtevaju brzo prilagođavanje poslovnih modela pružaocima elektroenergetskih usluga.

DR može pružiti [5]:

- pritisak konkurencije da bi se smanjile veleprodajne cene električne energije,
- povećanu svest o korišćenju energije,
- efikasnije poslovanje tržišta,
- blažu tržišnu moć,
- povećanu pouzdanost i
- u kombinaciji sa određenim novim tehnologijama, može podržati korišćenje obnovljivih izvora energije, distribuirane proizvodnje i naprednog merenja.

Na ovaj način, omogućavanjem resursa na strani potrošnje, kao i resursa na strani proizvodnje, poboljšava ekonomsko funkcionisanje tržišta električne energije usklađivanjem cena sa većim uticajem vrednosti potrošača na električnu energiju.

Tradicionalno, učesnici elektroenergetskog sistema su bili isključivo proizvođači ili potrošači električne energije. Problemi DR i pouzdanosti sa konvencionalnim modelima

distribucije električne energije na strani potrošača uzrokuju veliki trend u motivisanju potrošača da proizvode električnu energiju na domaćem nivou, uglavnom koristeći metode proizvodnje obnovljive energije. „Prosumer“ (potencijalni potrošač koji je uključen u projektovanje, proizvodnju ili razvoj proizvoda ili usluge) je novi termin koji se koristi za ekonomski motivisani entitet, tj. on [5]:

- konzumira, proizvodi i skladišti energiju,
- vodi ili poseduje malu ili veliku električnu mrežu i time prenosi električnu energiju i
- optimizuje ekonomske odluke koje se odnose na njega.

Postojeće elektroenergetske mreže podržavaju jednosmerne modele distribucije i po svojoj prirodi su centralizovane. One imaju veoma ograničenu sposobnost da se nose sa potrebama potrošača. Gubici vodova i hijerarhijska topologija čine ih manje pouzdanim. One obično postaju usko grlo kada su potrebne brze adaptacije na DR. Očekuje se da će električna mreža sledeće generacije rešiti glavne nedostatke postojeće mreže. U suštini, pametna mreža treba da pruži preduzećima:

- potpunu vidljivost i sveobuhvatnu kontrolu nad svojom imovinom i uslugama,
- potrebno je da pametna mreža bude samoizlečiva i otporna na sistemske anomalije
- i na kraju, ali ne i najmanje važno, pametne mreže treba da osnaže svoje zainteresovane strane da definišu i ostvare nove načine međusobnog angažovanja i obavljanja energetskih transakcija širom sistema.

### **3.2.5. Pokretači primene analitike velikih podataka**

- 1) Niži troškovi za skladištenje podataka i
- 2) prikupljanje podataka u sistemu električne energije (posebno distribucije)

su dve glavne pokretačke snage za analitiku velikih podataka. Brzo opadanje troškova digitalnog skladištenja predvodilo je većinu industrija u doba velikih podataka. Napredni senzorski sistem kao što je AMI i odgovarajuća komunikaciona mreža značajno smanjuju troškove prikupljanja podataka u distributivnim sistemima. Na primer, pametna brojila sa ugrađenim dvosmernim sistemom komunikacije razvijenim u poslednjih 5 do 10 godina omogućila su lakšu razmenu informacija između preduzeća i potrošača. Pored toga, zbog inicijativa pametnih mreža širom sveta, broj i raznolikost uređaja i opreme za distribuciju koje treba pratiti i kontrolisati i dalje se povećava. Ovo je uglavnom vođeno državnim politikama koje podstiču usvajanje distribuirane proizvodnje, skladištenja energije, EV, direktne kontrole potrošnje i sistema automatizacije distributivnih sistema. Od danas, količina informacija o kupcima i opremi koja se prikuplja u distributivnim sistemima potpuno je preplavila tradicionalne alate koji su korišćeni za njihovu obradu. Ukratko, sistemski operator i planer se sada suočavaju sa heterogenim i složenim velikim skupom podataka koji eksponencijalno raste. Ovo zahteva dramatičnu promenu u načinu na koji se obrađuju i analiziraju podaci [14].

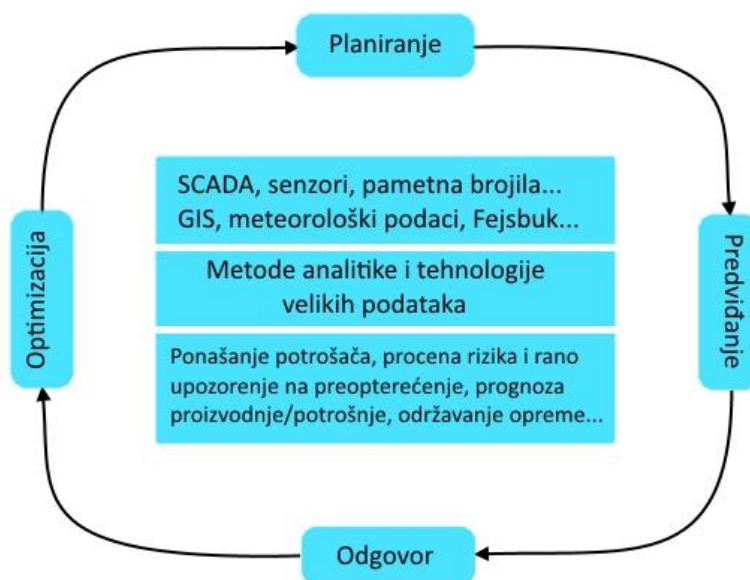
### **3.3. Vrednost koju energetski veliki podaci donose**

Sa sveobuhvatnom konstrukcijom pametne mreže, resursi elektroenergetskih podataka naglo rastu. U potpunosti iskoristiti elektroenergetske velike podatke može pružiti efikasan način

za siguran rad elektroenergetske mreže i visokokvalitetnog napajanja električnom energijom [15]. 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, podaci o istoriji i drugo [6]. 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 [15].

Na primer, budući trendovi u korišćenju električnih vozila i sve veća integracija mrežnih sistema na tržišta električne energije znače da elektroenergetske službe moraju obraditi sve veće količine složenih događaja. Pojava distributivnih energetskih resursa dodatno komplikuje izazov upravljanja podacima. Međutim, jasno je da široka paleta dostupnih podataka uz primenu analize podataka stvara mogućnosti za poboljšanje poslovanja i donošenja odluka u mnogim različitim nivoima sistema i poslovnim procesima [6]. Na slici 3.4. navedeni su pojedini izvori za velike podatke u elektroenergetskom preduzeću. Ona takođe ilustruje kako se nalazi velikih podataka kontinualno koriste za poboljšanje poslovanja kompanije.



Slika 3.4. – Proces kako veliki podaci mogu stvoriti prednosti kod preduzeća sledeće generacije

Elektroenergetska preduzeća koriste podatke prikupljene od terenskih uređaja kako bi se informisali i doneli odluke za različite operacije, uključujući operacije na mreži, planiranje

električnog sistema, učešće na veleprodajnom tržištu i rasprave o politikama elektroenergetskog preduzeća. Istorijski, terenski uređaji su bili sposobni za praćenje napajanja, a visoki troškovi su ograničili implementaciju na veću infrastrukturu, uključujući prenosne i distributivne podstanice. Retko je da implementacija pre-AMI-ja ima vidljivost izvan distributivne podstanice, osim podataka o mesečnim naplatama. Ograničena vidljivost postaje još veći problem kada pokušavate predvideti promene koje se dešavaju na nivou distribucije, kao što su usvajanje fotonaponskih elektrana (skraćenica PV) i EV. Količina podataka postaje previsoka za analizu korišćenjem sveprisutnog softvera kao što je Majkrosoft Eksel (engl. *Microsoft Excel*) i mora se analizirati u okruženju velikih podataka [14]. Kada se ovaj izazov prevaziđe, postoji mogućnost da komunalne službe poboljšaju donošenje odluka.

Na potražnju za električnom energijom i obnovljive izvore energije u okruženju pametnih mreža utiče nekoliko faktora, uključujući vremenske uslove, mikroklimatske varijacije, doba dana, slučajne poremećaje u sistemu, cene električne energije, DR, obnovljivi izvori energije, ćelije za skladištenje, mikro-mreže i razvoj EV-ova. Visoka preciznost prognoziranja prilagođava planiranje proizvodnje i prenosa, tj. odlučivanje o tome koje elektrane će raditi i kolika će im biti snaga u određenom vremenskom periodu, sa ciljem da se smanje operativni troškovi i poveća pouzdanost. Takođe omogućava elektroprivredi da sukcesivno procenjuje troškove električne energije i ispravno odrede cene električne energije, uzimajući u obzir međuzavisnost između potražnje za energijom i cena. Električna mreža, koja se sastoji od više komponenti kao što su releji, prekidači, transformatori i podstanice, mora se pažljivo pratiti. Stoga, pametna mreža zahteva inteligentne tehnike praćenja u realnom vremenu kako bi bile u stanju da otkriju abnormalne događaje, pronađu njihovu lokaciju i uzroke i što je najvažnije, predviđaju i uklanjaju kvarove pre nego što se oni dese. Ovakvo samoisceljujuće ponašanje, čini električnu mrežu pravim „imunološkim sistemom“, što je jedna od najvažnijih karakteristika okvira pametne mreže, koji cilja na neprekidno napajanje električnom energijom [13].

Analizirajući podatke u inteligentnoj mreži, moguće je identifikovati klastere koji imaju prekomerno električno opterećenje, klastere koji imaju visoku učestalost prekida napajanja ili prenosne vodove s visokom verovatnoćom kvara. Kao rezultat, moguće je, na primer, planirati nadogradnju mreže, transformacije i održavanje i efikasno predvideti upravljanje energijom. Kao što je u prethodnim delovima rada navedeno, idealna električna mreža stalno balansira proizvodnju i potrošnju električne energije u cilju stabilnosti mreže. Moderni elektroenergetski sistem se razvija od koncentrisane elektrane do mikroelektrane, gde svaki lokalni potrošač može postati proizvođač, na primer, fotonaponskim panelima instaliranim kod kuće i skladištenjem. U ovom novom scenariju, elektronsko brojilo je kapija koja povezuje „potrošača–proizvođača“ sa električnom mrežom [16]. To je ključni uređaj za velike podatke: podaci se često i brzo pribavljaju i zatim analiziraju od strane elektroprivreda.

Uvek postoji mogućnost pojave oštrijih oluja koje za posledicu mogu dovesti do prekida u mreži koji mogu trajati i do par dana. Veliki podaci nude elektroprivredi načine da efikasnije reaguju na takve i slične retke događaje. Prediktivna rešenja kao što je procena „zdravlja“ mrežne opreme koriste analitiku realnog vremena za otkrivanje potencijalnih ili razvojnih situacija. Merenja u realnom vremenu i operativna istorija mogu se koristiti za označavanje one opreme koja se kreće ka tome da se pokvari, tako da se akcija može preduzeti pre stvarnih kvarova.

Da bi se nosili sa visokim nivoom nepouzdanosti u distributivnim mrežama, ekstremnom veličinom podataka i potrebom za donošenjem odluka za upravljanje mrežom u realnom

vremenu, pametna mreža zahteva napredne tehnike za analitiku podataka, upravljanje velikim podacima i moćne tehnike nadzora stanja mreže [13]. Tradicionalni pristupi analizi podataka su neadekvatni da bi se nosili sa takvom velikom količinom i učestalošću podataka generisanih u paradigmi pametne mreže različitim distribuiranim izvorima. Ovo čini optimizaciju i pametno upravljanje izazovnim i kompjuterski intenzivnim. Kao što smo već zaključili, podaci se generišu iz više heterogenih izvora. Podaci moraju biti transformisani u akcijske uvide uz pomoć upravljanja velikim količinama podataka i napredne analitike. Takođe, lokalne i distribuirane upravljačke arhitekture mogu pružiti rešenja koja mogu smanjiti opterećenje prenosa podataka i potrebne računске resurse, za razliku od centralnog kontrolnog odlučivanja [4]. Tako da tehnike analitike i tehnologija velikih podataka moraju se koristiti kako bi se osigurao nesmetan rad mreže.

Analitika velikih podataka se oslanja na algoritme za prikupljanje podataka i modelovanje koji olakšavaju korektivne, prediktivne, distribuirane i adaptivne tehnike donošenja odluka. Raznolikost informacija u izvorima velikih podataka u elektroenergetskoj mreži zahteva upotrebu interaktivnih metoda obrade za optimalno rukovanje na osnovu atributa podataka [12]. Atributi velikih podataka mogu se opisati modelom 5V, a veliki podaci u pametnim mrežama imaju i dodatne 3E karakteristike koje će zajedno biti objašnjene u nastavku rada.

### **3.4. Karakteristike velikih podataka**

Veliki podaci se odnose na više od obične zbirke podataka. Uobičajena definicija velikih podataka uključuje klasifikaciju njenih karakteristika pomoću 5V-a. Ove karakteristike su primenjive na različite sektore koji mogu imati koristi od primene velikih podataka. Uzimajući u obzir specifičnosti elektroenergetskog energetskog sektora, **5V** se mogu ukratko objasniti na sledeći način [5,6,9,12,17]:

1) OBIM (engl. *Volume*)

Odnosi se na ogromnu količinu generisanih podataka, što čini skupove podataka prevelikim za skladištenje i analizu pomoću tradicionalne tehnologije baze podataka. Moguće rešenje ovog problema su distribuirani sistemi za skladištenje podataka na različitim lokacijama, povezivanje preko mreža i njihovo povezivanje pomoću softvera. Digitalizacija elektroenergetskog sistema uključuje široko rasprostranjenu primenu pametnih brojila i napredne senzorske tehnologije koji pružaju veliku količinu podataka.

2) BRZINA (engl. *Velocity*)

Odnosi se na brzinu prenosa, skladištenja, obrade i analize podataka. Brzina je ključna i veliki izazov za slučajeve upotrebe koji moraju obraditi ogromne količine podataka u realnom vremenu u cilju donošenja brzih i blagovremenih odluka. Ova sposobnost, između ostalog, omogućava elektroenergetskim sistemima detekciju kvarova putem brzih mernih uređaja i samopopravljanje.

3) RAZNOVRSNOST (engl. *Variety*)

Odnosi se na strukturu podataka. U prošlosti se fokusiralo na strukturirane podatke koji se savršeno uklapaju u tabele ili racionalne baze podataka kao što su finansijski ili

meteorološki podaci. Sa tehnologijom velikih podataka moraju da se obrade različite vrste polustrukturiranih i nestrukturiranih podataka kao što su e-mailovi, razgovori u društvenim medijima, tekstualne datoteke, fotografije, podatke senzora, glasovne zapise i da se povežu sa tradicionalnijim, strukturiranim podacima. Prema obimnim izvorima podataka u pametnoj mreži, formati i dimenzije podataka su različiti po strukturi. Raznovrsnost podataka predstavlja ozbiljan izazov za primene velikih podataka. Samo u retkim prilikama podaci se predstavljaju u savršeno uređenom obliku i spremni za obradu. Više reči o vrstama i izvorima podataka biće u nastavku rada.

#### 4) TAČNOST (engl. *Veracity*)

Odnosi se na potrebu uzimanja u obzir pouzdanost i doslednost korišćenih podataka. Kvalitet i preciznost su manje pouzdani sa tako velikom količinom podataka. Takođe, veoma je retko pronaći podatke u apsolutno konzistentnim formatima. Većinu vremena će neke vrednosti nedostajati ili će podaci biti u pogrešnom formatu. Za dobru analizu, mora se voditi računa o takvim nedoslednostima i greškama u podacima. Npr. greške merenja u mreži mogu postojati zbog nesavršenosti uređaja ili grešaka u prenosu podataka.

#### 5) VREDNOST (engl. *Value*)

Odnosi se na sposobnost da se izvuku vredne informacije iz ogromne količine podataka i jasnog razumevanja vrednosti koju donosi. Što je veća količina podataka, to će biti manja gustina vrednih informacija. Unapređenjem inteligentnih uređaja usvojenih u pametnim mrežama, sve se više otkriva vrednost i prednost analitike velikih podataka na osnovu različitih primena. Energetski veliki podaci imaju vrednost kad su jednom prošli kroz računanje kako bi podržali poslovne odluke ili pomogli potrošačima.



Slika 3.5. – 5V velikih podataka

Uzimajući u obzir specifičnu primenu u oblasti elektroenergetskog sistema, ova 5V svojstva mogu biti dopunjena sa **3E** [9,15]:

1) ENERGIJA (engl. *Energy*)

Predstavlja uštedu energije i smanjenje gubitaka u elektroenergetici, koja se može postići primenom tehnika velikih podataka.

2) RAZMENA (engl. *Exchange*)

Predstavlja razmenu informacija između energetske i drugih sektora s ciljem poboljšanja vrednosti energetske velikih podataka.

3) EMPATIJA (engl. *Empathy*)

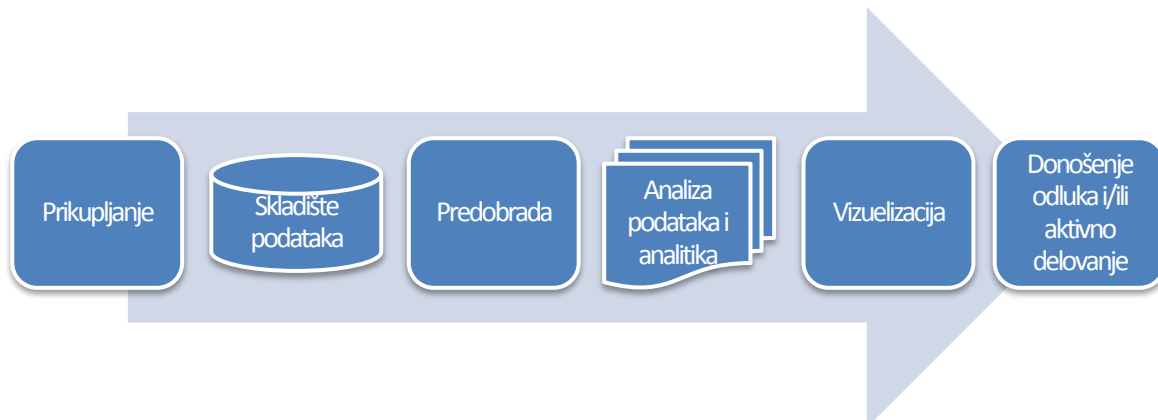
Predstavlja pružanje boljih energetske usluga kojima se mogu ispuniti potrebe korisnika i povećati njihovo zadovoljstvo.



## 4. TEHNOLOGIJA VELIKIH PODATAKA

Pametna mreža prikuplja podatke iz različitih izvora i skladišti ih kako bi ih konzumirali analitičari. Upravljanje pametnim mrežama za pružanje pametne energije zahteva napredne tehnike velikih podataka i srodnih tehnika i tehnologija za automatsko prikupljanje tačnih informacija, automatizaciju donošenja odluka i kontrolu događaja na lokalnom i sistemskom nivou. Međutim, da bi se sprovela analiza, potreban je odgovarajući okvir za prikupljanje, obradu i analizu 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 4.1. [4] Preduzeća i potrošači mogu donositi odluke na osnovu dobijene vrednosti.

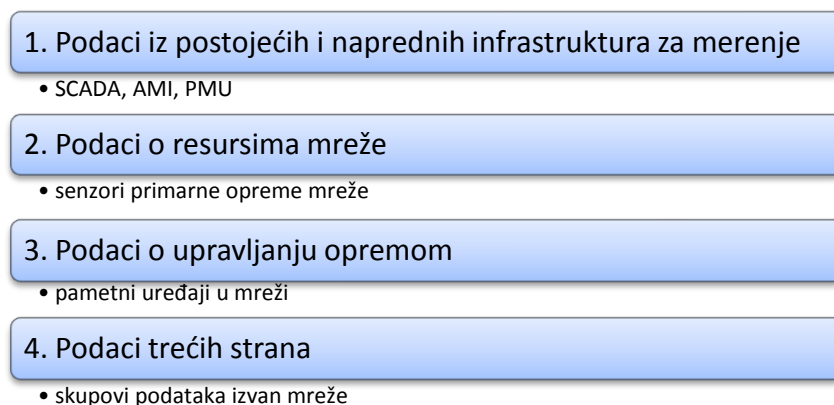


*Slika 4.1. – Tok obrade podataka*

Kao što je prikazano na slici 4.1. 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. 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 (predobrađene) podatke kako bi se izvukla vrednost (tj. informacija) na osnovu koje se mogu izvršiti neke informisane akcije ili odluke. Stručnjak za analitiku podataka zahteva povratnu spregu za jedinicu predobrade kako bi se mogao prilagoditi zahtevima slučajeva upotrebe [4].

## 4.1. Izvori i prikupljanje podataka

U fazi prikupljanja generišu se podaci iz različitih izvora i uređaja u mreži za prikupljanje. Kao inteligentni sistem i energije i informacija, pametna mreža je obilan izvor informacija, koji pokriva podatke iz procesa proizvodnje, prenosa, distribucije i potrošnje električne energije. Ovi podaci uključuju električne informacije iz postrojenja sistema, brojila električne energije i neelektrične informacije kao što su marketinški, meteorološki i regionalni ekonomski podaci. Prikupljanje i analiza tih podataka je od suštinskog značaja za planiranje rada sistema, održavanje energetske opreme, bolje poslovno ponašanje i dr. Jedan od načina da se podele u različite kategorije može biti kao što je dato na slici 4.2. [9].



Slika 4.2. – Jedan od načina podele podataka u elektroindustriji

Elektroenergetski veliki podaci uglavnom dolaze iz sistema i uređaja za prikupljanje i upravljanje podacima koji su dati u tabeli 4.1 [15,17].

Tabela 4.1: Najčešći izvori podataka u sistemu i njihov opis

| Sistem/uređaj za prikupljanje podataka i upravljanje u mreži      | Opis  |
|---|---|
| AMI<br>(engl. <i>Advanced Metering Infrastructure</i> )           | napredna merna infrastruktura za merenje (integracija pametnih brojila – omogućavaju dvosmernu komunikaciju i zahtevaju komunikacionu infrastrukturu za prenos podataka koje generišu.) |
| SCADA<br>(engl. <i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> ) | sistem za merenje, nadzor i kontrolu sistema  |
| PMU<br>(engl. <i>Phasor Measurement Unit</i> )                    | uređaji za merenje fazora   |
| WAMS<br>(engl. <i>Wide Area Monitoring System</i> )               | sistem za praćenje fazora u realnom vremenu putem GPS-a i nadzor dinamičkih karakteristika prenosnih sistema  |
| IED<br>(engl. <i>Intelligent Electronic Device</i> )              | procesorski, pametni električni uređaji za merenje, nadzor i prikupljanje sa različitim zaštitnim funkcijama releja   |

Pored prethodnih navedenih sistema, podaci se mogu generisati i iz DMS, EMS, sistema za praćenje kvaliteta električne energije, sistema za upravljanje proizvodnjom, marketinškog poslovnog sistema, sistema korisničkih usluga, platformi za trgovanje električnom energijom, sistema predviđanja energije vetra i sunca, planiranja resursa preduzeća, sistema pametnih kuća, geografskog informacionog sistema – GIS, satelita za snimanje, sistema vremenske prognoze, sistema za video nadzor, društvenih mreža i tako dalje [14,15,18].

Podaci koji se mogu prikupiti se dele na strukturirane, što većina tradicionalnih podataka i jeste, polustrukturirane i nestrukturirane. Ispod su navedeni neki podaci različitih struktura koji obuhvaćeni analitikom velikih podataka mogu biti od značaja elektroprivredi [3,14,19]:

- podaci o merenjima, upravljanju, kontroli i održavanju uređaja i opreme u mrežama za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije,
- podaci o potrošnji,
- podaci o cenama i ponudama na energetskom tržištu,
- navike korišćenja električne energije,
- podaci iz pametnih kućnih aparata,
- podaci o punjenju električnih vozila,
- podaci o vremenskim prilikama,
- finansijski podaci,
- podaci o stanovništvu,
- razgovori iz pozivnih centara,
- javno prikupljeni popis i tekst,
- fotografije,
- video zapisi (sa sigurnosnih kamera, dronova i dr.),
- sms poruke i e-mail,
- podaci o društvenim događajima (koncerti, festivali i dr.),
- podaci iz razgovora na društvenim mrežama (Tweet, Facebook i sl.) i dr.

Značajan deo pametnih uređaja koji se koriste je povezan sa masovnim širenjem pametnih brojila koje se trenutno odvija u mnogim zemljama. Procenjena instalirana baza pametnih brojila širom sveta će premašiti 1,1 milijardu do 2022. godine, a time će elektroprivreda biti preplavljena sa više od 2 PB<sup>2</sup> podataka godišnje od pametnih brojila [14]. Približno 22 GB podataka iz pametnog brojila generišu 2 miliona potrošača dnevno. Pod pretpostavkom da aplikacija zahteva prikupljanje podataka u intervalima od 15 minuta, 1 milion uređaja bi rezultiralo sa 35,04 milijarde unosa podataka sa ukupnom zapreminom od 2920 Tb godišnje [4]. Kako se prelazi na tzv. internet stvari, a više uređaja je povezano na električnu mrežu, biće proizvedeno još više podataka.

#### **4.1.1. Internet stvari**

Internet stvari (engl. *Internet of Things*, skraćeno IoT) predstavlja međumrežavanje fizičkih objekata (npr. kućni aparati), vozila, zgrada i drugih stvari sa ugrađenom elektronikom, softverom, senzorima i konektivnošću koji omogućavaju objektima da razmenjuju podatke sa

---

<sup>2</sup> Petabajt (PB) – jedinica mere podataka u računarstvu u iznosu od 10<sup>15</sup> bajta [20].

proizvođačem, operaterom i/ili drugim povezanim uređajima [21]. Očekuje se da će do 2020. biti 50 milijardi povezanih uređaja [22]. IoT proizvodi velike količine podataka i deo je pametne mreže. Ti podaci će uticati na dublju analizu mreže na sve granularnijem nivou kako bi se delovalo i reagovalo u realnom vremenu, čime bi se poboljšala efikasnost korišćenja električne energije i optimizovali troškovi [4].

## 4.2. Skladištenje i predobrada podataka

Po završetku prikupljanja neobrađenih podataka, podaci će biti prebačeni u infrastrukturu za skladištenje podataka radi obrade i analize.

Kapacitet tradicionalne centralizovane računarske infrastrukture je takav da se ne može nositi s zahtevima prikupljanja, skladištenja i proračuna tako velike količine podataka. Nova generacija računskih platformi je **računarstvo u oblaku** (engl. *Cloud computing*) koje predstavlja korišćenje mreže udaljenih servera smeštenih na internetu za skladištenje, upravljanje i obradu podataka, umesto na lokalni server ili lični računar (slika 4.3.). Ova platforma je u stanju da raspodeli i harmonizuje različite zadatke proračuna koji se sprovedu preko pametne mreže u lokalnim računarskim objektima (čak i pametna brojlara mogu obavljati neke jednostavne računarske zadatke) da bi isporučili potrebnu snagu računanja i skladištenja [22,23]. Računarstvo u oblaku je pouzdan i efikasan izbor za obavljanje analitike velikih podataka, jer ima bogate resurse dostupne bilo gde i u bilo koje vreme. Može se reći da veliki podaci zavise od računarstva u oblaku kao osnovne infrastrukture za nesmetan rad [3,4].



Slika 4.3. – Platforma računarstva u oblaku

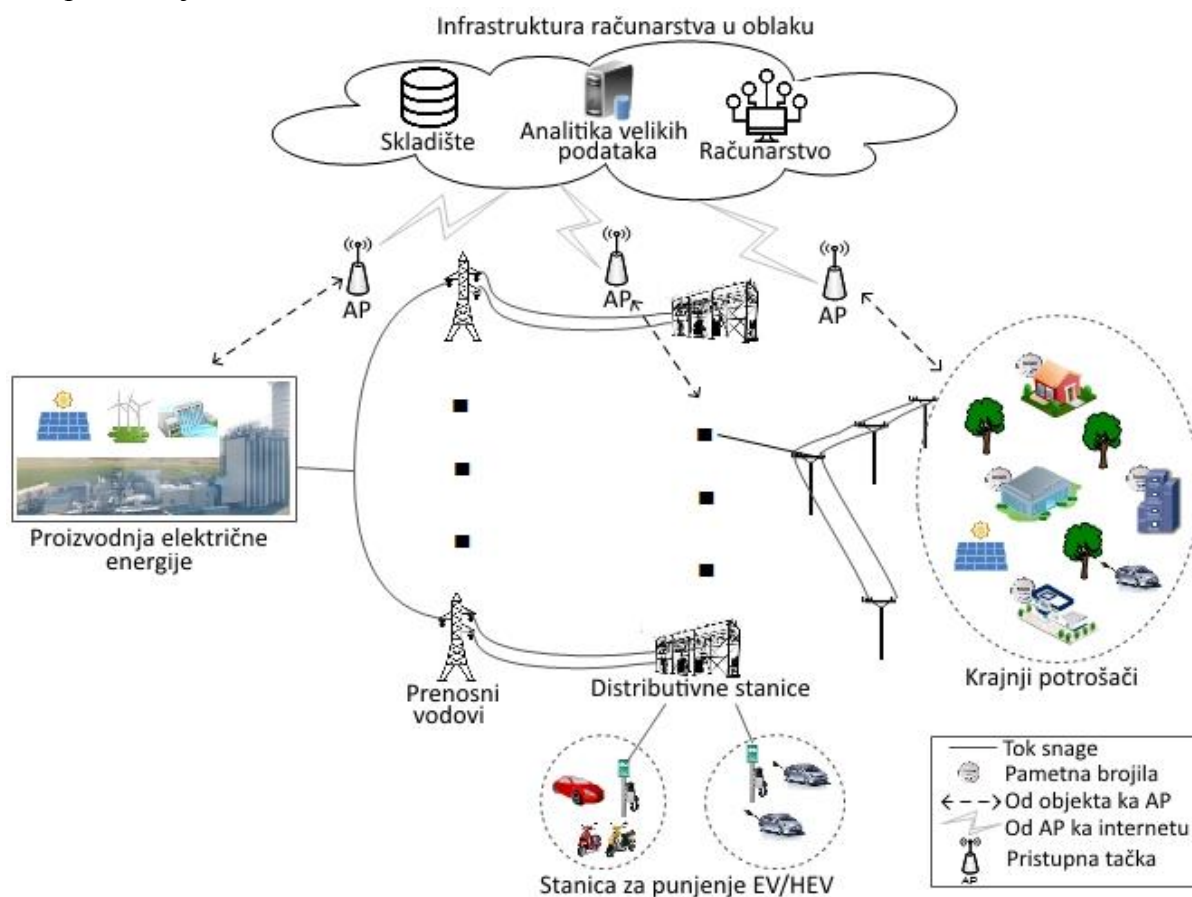
Zbog široke raznolikosti izvora podataka u komplikovanom elektroenergetskom sistemu, baza podataka pametnih mreža uvek sadrži nepotpune, nekonzistentne i neispravljene podatke. Zbog toga je neophodna tehnologija za predobradu podataka kako bi se poboljšao kvalitet podataka, što i same analitičke metode zahtevaju. Stoga, kako bi se omogućila efikasna analiza podataka, pre-procesiraće se podaci kako bi se integrisali podaci iz različitih izvora. Ovo ne samo da smanjuje trošak skladištenja, već i poboljšava tačnost analize. Glavne operacije predobrade podataka date su u tabeli 4.2 [3,19].

Tabela 4.2: Glavne operacije procesa predobrade podataka i njihov opis

| Operacija predobrade podataka        | Opis  |
|--------------------------------------|---|
| Integracija                          | uključuje kombinaciju podataka iz različitih izvora i pruža korisnicima jedinstven pogled na podatke  |
| Čišćenje                             | proces kojim se identifikuju netačni, nepotpuni ili nerazumni podaci, a zatim se menjaju ili brišu takvi podaci radi poboljšanja kvaliteta podataka |
| Redundantna eliminacija i kompresija | odnosi se na suvišne i podatke koji se ponavljaju, kao i na podatke iz masovnih merenja koji se smanjuju u razumnoj meri                            |

### 4.3. Komunikaciona infrastruktura

Osnovni tipovi komunikacionih tehnologija uključuju žičnu i bežičnu infrastrukturu. Tehnologija bežične komunikacije omogućava centru za podatke da, na primer, prikuplja podatke o merenju sa pametnih brojlila. Elektroenergetska komunikacija (PLC i dr.) je ožičena komunikaciona tehnologija dodavanjem moduliranog signala nosioca na energetske kablove i već uspešno implementirana u elektroenergetskom sistemu [6,17]. Npr. PLC tehnologijom se mogu prenositi podaci pametnih brojila na najbliži koncentrador podataka koji se nalazi u SN/NN stanici, a zatim ti podaci slati u distributivne centre podataka za snimanje i analizu podataka. Kako može izgledati jedan opšti okvir za prikupljanje i analizu podataka u pametnoj mreži prikazan je na slici 4.4.



Slika 4.4. – Okvir za prikupljanje i analizu podataka u pametnoj mreži

Entiteti prisutni u okruženju pametne mreže uključuju jedinice za proizvodnju energije, dalekovode, distributivne stanice i krajnje potrošače. Krajnji potrošači mogu biti industrijski, komercijalni ili domaćinstva. Pored ovih, krajnji potrošači uključuju i EV i distributivne izvore, a mogu biti i pametne kuće/kancelarije u pitanju. Podaci se prikupljaju u infrastrukturi oblaka zbog njegovih raznih prednosti, kao što je gore objašnjeno. Kako je informaciona i komunikaciona tehnologija sastavni deo pametne mreže, podaci se mogu lako prikupiti iz pridruženih entiteta. Podaci o pametnim kućama mogu se prikupiti postavljanjem pametnih brojlara i drugih senzora u pametne domove. EV podaci mogu se prikupljati kad god komuniciraju (sa pametnom mrežom ili oblakom) da bi dobili usluge ili razmenili informacije. Pristupne komunikacione tačke (AP, engl. *access point*) se nalaze na odgovarajućim mestima koja pomažu ovim entitetima da direktno ili indirektno razmenjuju informacije putem oblaka i interneta. Podaci prikupljeni od pametnih brojlara u pametnim kućama i kancelarijama šalju se u cloud koristeći AP. Stanice za punjenje koje omogućavaju punjenje ili pražnjenje EV-ova takođe šalju svoje podatke o potrošnji u oblak uz pomoć AP-a. Komunikacione tehnologije koje se obično koriste za prenošenje tako velike količine podataka u oblak su DSA, DSRC/WAVE, Wi-Fi, WiMAX, LTE/LTE-A [4].

#### 4.4. Analiza podataka i analitika

Najvažnija faza sistema obrade velikih podataka je analiza podataka, odnosno analitika koja je osnova za otkrivanje dragocenih informacija i podršku donošenja odluka [17]. Saznanja koja se steknu iz podataka vode do akcije i analiza velikih podataka je u krajnjoj liniji beskorisna ako se ne preduzmu nikakve radnje na datim uvidima. U suštini, upotreba podataka se poboljšava kada se dodaju parametri oko podataka i pređe sa podataka na mudrost, gde se može preduzeti akcija, što se na jednostavnom primeru, datom u tabeli 4.3, može i zaključiti.

Tabela 4.3: Jednostavan primer upotrebe podataka

| OD          |               | DO                         |             |
|-------------|---------------|----------------------------|-------------|
| Podatak     | −3            | Celzijus                   | Informacija |
| Informacija | −3° Celzijusa | Na −3°C napolju je hladno  | Znanje      |
| Znanje      | −3° Celzijusa | Potrebno je obući se toplo | Mudrost     |

Analiza podataka je interdisciplinarno polje informatike. Kao jedna od tehnika analize podataka je rudarenje podataka (koriste se i termini prekopavanje podataka, istraživanje podataka), tehnika koja se primenjuje na velike podatke i oslanja na modelovanje i otkrivanje znanja za prediktivne, a ne čisto deskriptivne svrhe [20,23].

**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. Stoga, mnoge tradicionalne metode analize podataka mogu se još uvek koristiti za analizu velikih podataka [20,23].



Slika 4.5. – Venov dijagram koji ilustruje međusobnu povezanost statistike, analitike podataka, mašinskog učenja i veštačke inteligencije

**Statistika** je proučavanje prikupljanja, analize, interpretacije, prezentacije i organizacije podataka koristeći matematičke metode s ciljem otkrivanja potencijalnih relacija zasnovanih na nekoj hipotezi [4,17].

**Mašinsko učenje** (engl. *Machine learning*) je omogućiti kompjuterskim sistemima da automatski prepoznaju složene obrasce i donose naizgled inteligentne odluke na osnovu podataka na raspolaganju [6].

**Veštačka inteligencija** (engl. *Artificial intelligence*) obuhvata tehnike koje mogu obogatiti objekat ili program inteligencijom nalik ljudskoj. Takođe, uključuje inteligentne agente – entitete koji percipiraju svoju okolinu i preduzimaju akcije zasnovane na toj percepciji [4,17].

Svrha različitih tipova analitike „kao usluge“ se menja kako se kreće duž kontinuuma vrednosti (slika 4.6.) na sledeći način (u zagradama su dati primeri primene u elektroenergetici) [4,18]:

- 1) **Deskriptivna analitika** ima za cilj da pruži informacije o tome šta se dogodilo i sadrži prvi korak koji pokušava da identifikuje korisne podatke za dalju obradu (opisivanje ponašanje potrošača za DR).
- 2) **Dijagnostička analitika** ima za cilj razumevanje uzroka događaja i ponašanja sistema i pokušava da identifikuje izazove i mogućnosti (istraživanje prevara).
- 3) **Prediktivna analitika** se koristi kako bi se napravila verovatna predviđanja kako bi se identifikovali trendovi s ciljem da se utvrdi šta bi se moglo dogoditi u budućnosti (budući trendovi potrošnje).
- 4) **Preskriptivna analitika** se primenjuje da bi se identifikovao najbolji ishod događaja, uzimajući u obzir parametre sistema i strategije za bavljenje sličnim događajima u budućnosti. Koristi tehnike simulacije i podršku u odlučivanju kako bi istražio optimalne strategije kako bi najbolje iskoristio buduću priliku ili ublažio buduću rizik. Pruža uvid u potencijalna rešenja.

Elektroprivreda je trenutno ograničena na upotrebu deskriptivne i dijagnostičke analitike koja ima za cilj da analizira istorijske podatke ili događaje da bi se razumeli razlozi iza njihovih ishoda, npr. upravljanje kvarovima u sistemu ili upravljanje remontom. Međutim, kako energetske sistemi postaju sve decentralizovaniji i oslanjajući se na intermitentne izvore, mora se



primeniti prediktivna analitika kako bi se procenili potencijalni budući scenariji, kao što su procena budućih zahteva za ulaganje u mrežu i predviđanje uticaja potrošnje i monitoringa opreme. Dalje, preskriptivna analitika može da dovede do konkretnih uvida u planiranje proizvodnih i prenosnih/distributivnih kapaciteta ili optimizacije integracije obnovljivih izvora [4].



Slika 4.6. – Statistika, analitika, mašinsko učenje i veštačka inteligencija u kontekstu vrste sprovedene analize

Dostupne tehnike su suviše brojne da bi ih se sve moglo pregledati u okviru ove teze, pa se u nastavku razmatraju najprikladnije za elektroprivredu [6,16,24].

**Učenje pravila asocijacije** je tehnika upravljanja bazom podataka za otkrivanje značajnih odnosa između varijabli u velikim bazama podataka. Ovakav pristup filtriranja podataka zasniva se na uspostavljanju odnosa između događaja koji naizgled nisu međusobno povezani. Slične asocijacije bi se mogle usvojiti u distribuciji električne energije i koristiti za povezivanje događaja u mreži.

**Klaster analiza** je statistička metoda za otkrivanja grupa i struktura u podacima koji su na neki način slični, bez korišćenja već poznatih struktura u podacima: objekti u istoj kategoriji će imati visoku homogenost, dok će oni u različitim kategorijama imati visoku heterogenost.

**Faktorska analiza** opisuje odnose među mnogim elementima sa samo nekoliko faktora koji se zatim koriste za otkrivanje najznačajnijih odnosa u izvornim podacima.

**Korelaciona analiza** je analitički metod za određivanje zakona odnosa između posmatranih fenomena i shodno tome sprovođenje prognoze i upravljanje.

**Regresiona analiza** je matematički alat za otkrivanje korelacija između varijabli i identifikovanje odnosa zavisnosti koji su zaklonjeni slučajnošću među njima.

**A/B testiranje** je tehnika za određivanje kako poboljšati ciljne varijable upoređivanjem testirane grupe.



**Inferencijska statistička analiza** može izvući zaključke iz podataka koji su predmet slučajnih varijacija.

## 4.5. Vizuelizacija i alati za analizu podataka

Vizualizacija rezultata je jedan od najvažnijih zadataka analize velikih podataka. Kako senzori električne mreže prikupljaju velike količine podataka iz različitih izvora, stručnjaci u energetici se suočavaju sa izazovom da pravovremeno vizualizuju takve podatke. Uvek je dobra ideja grafički predstaviti podatke pre nego što formirate bilo koji model, napravite bilo kakve prognoze ili izvučete bilo kakve zaključke. Takođe, postoji jasna granica koliko podataka ljudi mogu da opažaju na jednom mestu. Predstavljanje informacija tako da ljudi mogu efikasno da ih usvoje postaje ključni faktor za uspešno analiziranje velikih podataka. Vizualizacija pruža brži i jednostavniji način interpretiranja informacija, što pomaže u smanjenju vremena donošenja odluka [16,25].

Tradicionalni sistemi za upravljanje i analizu podataka prvenstveno koriste relacione baze podataka optimizovane za strukturirane podatke. Polustrukturirani ili nestrukturirani podaci zahtevaju sve skuplji hardver i relacione baze imaju ograničenja kada se radi sa velikim količinama i heterogenim podacima. „NoSQL“ predstavlja koncept nerelacionih, distribuiranih baza podataka koje omogućavaju brzu analizu velikih neuređenih skupova podataka (vodeća „NoSQL“ baza podataka je „MongoDB“) [16,26]. Softverski okvir „Hadoop“, izgrađen na „MapReduce“-u (koristi se za paralelnu obradu podataka), je jedan od najpoznatijih i najmoćnijih alata za distribuiranu obradu velikih skupova podataka. Na slici 4.7. su navedeni programi koji se mogu koristiti u kombinaciji sa „Hadoop“-om za prikupljanje, prenos, obradu, analizu i vizuelizaciju podataka [5,14]. Pored „Hadoopa“, tu su i „Rapid Miner“, „Weka“ i drugi [16].



*Slika 4.7. – Softveri: Prikupljanje i prenos – Apache Flume, Apache Sqoop; Predobrada – Apache Hive, Cloudera Impala; Analiza i analitika – Apache Mahout, R, Apache Drill*

## **5. PRIMENE VELIKIH PODATAKA U EES**

Sve u svemu, koncept velikih podataka pokušava da odgovori na pitanje kako obraditi sve veće količine veoma različitih podataka. Mora pokrivati kako preneti, skladištiti, kombinovati ako je potrebno, svestrano analizirati i pre svega iskoristiti sve podatke na raspolaganju. Umesto davanja alata za analizu u realnom vremenu i donošenje odluka, koncept velikih podataka ima za cilj da pomogne proaktivno planiranje, koje se zasniva na prikupljanju, kombinovanju i inovativnoj matematičkoj analizi istorijskih podataka koji su prikupljeni tokom određenog vremenskog perioda. U nastavku će se na konkretnim primenama razmotriti kako jedan takav koncept može naći svrhu u današnjem i budućem okruženju elektroenergetskog sistema i kakav značaj za isti može predstavljati.

### **5.1. Prognoza proizvodnje distributivnih izvora**

U ovom trenutku, mnogi novi energetske resursi, kao što su vetar i sunce, mogu biti priključeni na električne mreže. Mogu postojati kao veće elektrane ili se nalaziti na krovovima zgrada, koristeći za prodaju električne energije (u mrežu) ili ličnu upotrebu. Međutim, pošto su kapaciteti za proizvodnju električne energije novih energetskih resursa usko povezani sa klimatskim uslovima koji karakterišu slučajnost i intermitentnost, izazov je povezati ih sa električnim mrežama. Takođe, dosta takvih izvora nalaze se „iza merača“ i na taj način su nedostupni elektroprivredi za detekciju. A i razvoj proizvodnje iz energije vetra i sunca je toliko brz da akumulirani istorijski podaci o PV i vetroelektranama nisu dovoljni za fizički model za simulaciju proizvodnje energije. Ogroman izazov predstavlja upravljanje mrežom, planiranje proizvodnje, planiranje zaštite, planiranje održavanja kao i regulacija. Takvim povremenim obnovljivim izvorima energije (skraćenica OIE) može se efikasno upravljati preko efikasne analize velikih podataka. Analiza velikih podataka može omogućiti precizniju prognozu proizvodnje iz izvora, kao što su solarne i vetroelektrane. Osim u skoro realnom vremenu, moguće je prognozirati za unapred određeni period (sati, dani, meseci). Jedan od skupova podataka koji bi omogućio prognozu je:

- istorijski, trenutni i budući podaci vremenske prognoze iz meteoroloških stanica: temperatura vazduha, pritisak vazduha, oblačnost, prelazak oblaka preko sunca, zračenje sunca, brzina i snaga vetra, smer i pravac vetra,
- informacije o samim elektranama: izlazne snage, položaj panela/vetroturbine, istorijska proizvodnja, kvarovi, radno stanje komponenata, održavanje i tako dalje,
- GIS podaci: lokacija distributivnih izvora,

- satelitski snimci,
- topografski podaci,
- azimutni ugao i
- uslovi plime i oseke.

Na osnovu gore navedenih masovnih podataka, izlazna snaga vetroparka može se predvideti konstruisanjem odgovarajućih modela predviđanja koristeći odgovarajuće metode predviđanja. A vrednost izvučena iz analize može se primeniti za:

- efikasno korišćenje energije,
- upravljanje proizvodnjom i potrošnjom,
- efikasno upravljanje tržištom električne energije,
- stabilnost, upravljanje, održavanje i planiranje sistema (kao što su smanjenje opterećenja, bolja regulacija i profil napona, uticaj na kvalitet električne energije) itd.

Prethodni podaci se osim za prognozu proizvodnje OIE, mogu koristiti i za:

- izbor lokacije izgradnje OIE,
- određivanje optimalnog položaja panela, vetroturbina i
- održavanje i prediktivnu detekciju kvarova opreme.

## 5.2. Prognoza i profilisanje potrošnje

Podaci o potrošnji u okruženju pametne mreže su masivni, dinamični, visokodimenzionalni i heterogeni. Stoga, da bi se izgradio precizan sistem praćenja i predviđanja u realnom vremenu, u dizajniranju sistema moraju se uzeti u obzir dva nova koncepta. Prvo sve dostupne informacije iz različitih izvora, kao što su:

- pojedinačna pametna brojila,
- pametni koncentratori u transformatorskim stanicama,
- pametni uređaji za merenje i
- releji,

moraju biti integrisane. Dok komunikaciona tačka mora biti dizajnirana tako da višestruki veštački eksperti mogu da komuniciraju i donose odluke o podacima. Odgovarajući sistem prognoziranja treba da se osloni na efektivno uzorkovanje podataka, poboljšanu kategorizaciju informacija i uspešno prepoznavanje različitih obrazaca. Drugo, moraju se primeniti odgovarajući adaptivni algoritmi i profili za efektivno dinamično, autonomno, distribuirano, samoorganizovano i brzo donošenje odluka [13].

U suštini, napredni merači omogućavaju pametnim mrežama da obezbede sposobnost odgovora na zahtev za električnom energijom u realnom vremenu, kao i preciznije prognoziranje potrošnje (satne, dnevne, mesečne), za efikasnije i pouzdanije funkcionisanje mreže.

**NIALM uređaji** – Pored ostalih izvora, u pametnoj mreži podaci o potrošnji krajnjih potrošača mogu doći i iz NIALM pametnih uređaja. Oni pružaju podatke o potrošnji energije na nivou uređaja, tj. električne energije koju koriste različiti kućni aparati. Ovo postižu tako što razlikuju električne uređaje na osnovu njihovih „otisaka“ signala (analizirajući promenu napona i struje) [5].

Faktori koji utiču na prognoziranje opterećenja 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, odgovor na potražnju, distribuirani izvori energije, ćelije za skladištenje el. energije, električna vozila, pojedinačna upotreba kućnih aparata, društveni događaji, uređaji za grejanje/hlađenje.

Brojne studije su pokazale da smanjenje grešaka u prognozi od samo 1 do 2% može doneti milione dolara uštede za preduzeća [27].

Efikasno rukovanje velikim podacima iz prethodnih izvora, kroz tehnologije i metode analize i analitike velikih podataka, može se koristiti za izradu karakterističnih obrazaca njihovog ponašanja u korišćenju električne energije. Kao što veliki internet komercijalni igrači koriste analizu velikih podataka kako bi iskoristili interesovanja kupaca pri kupovini i ponašanja prilikom pretraživanja veba u svrhu prilagođenog marketinga, tako isto operatori elektroenergetskih mreža i trgovci električnom energijom mogu da analiziraju ponašanje potrošača pri potrošnji električne energije i pružiti raznovrsne i personalizovane usluge i ohrabriti kupce da učestvuju u balansiranju proizvodnje i potrošnje i programima energetske efikasnosti.

### **5.2.1. Profilisanje potrošača**

Elektroprivredna preduzeća tradicionalno razvrstavaju svoje klijente u tri ili četiri grupe i često se baziraju na naponskim priključcima – stambeni, komercijalni, industrijski i institucionalni tip potrošača. Sa više podataka, ona su u stanju da identifikuju motivaciju i pokretače potrošača za efikasnije korišćenje energije i preuzimanje veće uloge u funkcionisanju elektroenergetskog sistema, te ih dalje segmentiraju u više smislene grupe. Na osnovu toga mogu razviti specifične programe i usluge koje su efikasnije i korisnije za kupce i sama preduzeća, kao i ostalih trgovaca električnom energijom.

Do ove decenije, radne službe su prikupljale informacije o potrošnji od nadzorne kontrole i sistema za prikupljanje podataka, pri čemu su podaci o potrošnji uglavnom korišćeni za prognozu opterećenja sistema ili opterećenja sabirnica. Tokom proteklih nekoliko godina, instalirano je skoro milijardu pametnih brojila. Popularizacija pametnih brojila rezultirala je sve detaljnijim podacima o potrošnji električne energije koji omogućavaju opsežne primene analitike velikih podataka na strani potrošnje. Pošto je nemoguće analizirati sva ta merna brojila jedno po jedno, potrebno je grupisati slične pre nego što se razviju budući modeli. Dobijene grupe se nazivaju klasteri. Takvi zadaci su poznati i kao klastering ili klaster analiza u „data mining“-u.

Na primer, mogu se na taj način:

- segmentirati potrošači po prostornoj potrošnji,
- odvojiti efikasni od neefikasnih potrošača, što može koristiti za donošenje boljih poslovnih odluka preduzeća i podsticaja,
- kategorisati potrošači sa ili bez EV-a ili distributivnih izvora energije,

- identifikovati niskonaponski fideri sa sličnim obrascima opterećenja kako bi se saželi u klastere sa ciljem npr. određivanja reprezentativnih dana za proizvodnju iz vetroelektrana i njihovo uključivanje u mrežu,
- podaci o potrošnji električne energije raznih kućnih aparata u stanu (frižider, šporet, tv itd.) iskoristiti za procenu različitih modela prognoze za predviđanje buduće potrošnje (npr. dnevne potrošnje kućnih aparata) na osnovu prethodnog korišćenja, kao i postizanje boljeg razumevanja ponašanja krajnjih potrošača,
- izračunati osnovno opterećenje zgrada kako bi se identifikovala potrošnja izvan vršnog vremena kada korisnici nisu u zgradi (na osnovu podataka sa kućnih aparata i sezonskih obrazaca potrošnje (doba dana, godišnja doba i vremenske prilike)),
- kategorisati potrošače preko vršne potrošnje u različito doba dana, na primer:
  - 1) sa vršnom potrošnje u podne (potrošači koji nemaju fiksno vreme, nemaju pristup mreži i nemaju kompjutere, npr. farmeri)
  - 2) sa vršnom potrošnjom noću (potrošači koji imaju kompjutere, npr. radnici)
  - 3) sa vršnom potrošnjom pre zore (potrošači koji imaju pristup mreži, ali ne i fiksno okupirano vreme, npr. mladi na mreži)

Analiza podataka pametnih brojila u kombinaciji sa profilisanjem potrošnje može se koristiti za optimizaciju potrošnje potrošača, kao i efikasnog korišćenja električne energije u mreži, o čemu će biti više reči u poglavlju 5.4.

### **5.3. Efikasno korišćenje električne energije**

Idealna električna mreža treba da balansira proizvodnju i potrošnju električne energije. Međutim, tradicionalna elektroenergetska mreža je izgrađena na osnovu jednog smera prenos–transformacija–distribucija–potrošnja, što ne dopušta prilagođavanje proizvodnih kapaciteta prema potražnji za potrošnjom energije, što dovodi do redundancije električne energije i „otpada“.

U prethodnom delu rada zaključilo se da se ubrzanim razvojem kapaciteta za proizvodnju obnovljive energije širom sveta pojavljuju nove neizvesnosti koje se direktno odnose na to koliko energije može biti generisano u narednim minutama, satima, danima i dalje. Slično na strani potrošnje električne energije, neizvesnosti rastu, zbog promena u obrascima potrošnje (električna vozila, proaktivniji potrošači, itd.), ali i za proizvodnju električne energije koja se kreće iza merača [25]. Stoga, pojavom pametnih uređaja za merenje kao što su pametna brojila krajnji potrošači se mogu uključiti u balansiranje proizvodnje i potrošnje na osnovu prognožiranja istih. Veliki podaci za solarne i vetroelektrane, primenom analize velikih podataka, rešavaju problem intermitentnosti obnovljivih izvora i promenljivosti u ponašanju potrošača.

Veliki podaci mogu omogućiti da sistem bude efikasan, kao i efikasno korišćenje električne energije. Nekoliko načina na koji veliki podaci omogućuju efikasnost dati su u nastavku.

### **5.3.1. Prognoziranje OIE**

Na osnovu prognoziranja proizvodnje i potrošnje, koje može biti za naredni sat, dan, omogućava operaterima sistema dinamičko balansiranje energije i efikasnu upotrebu, uz tradicionalne generatore u sistemu.

### **5.3.2. OIE kao podrška u napajanju**

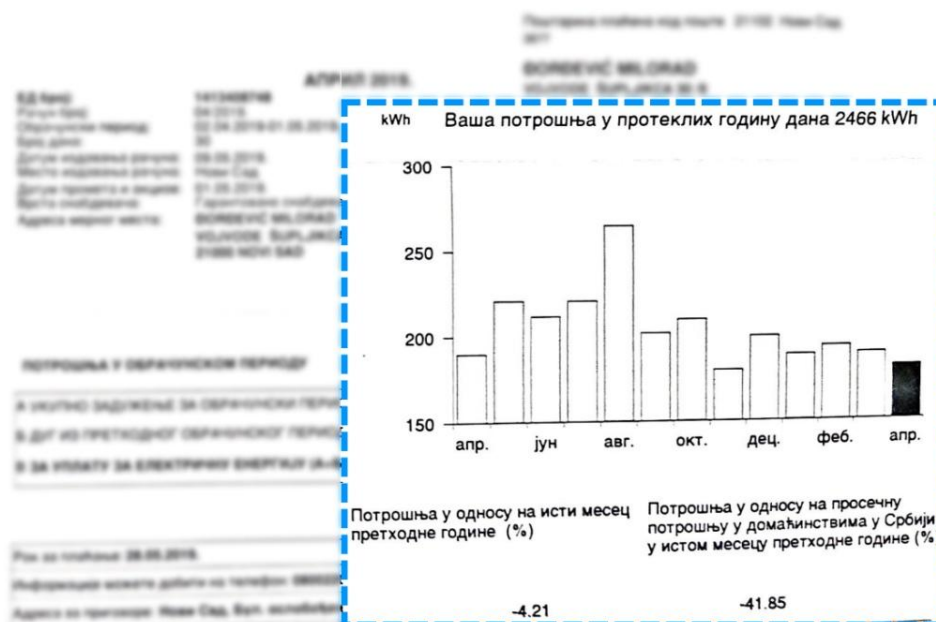
Povremeni obnovljivi izvori se mogu efikasno upravljati tako što se električna energija proizvedena iz njih može dodeliti regijama s nestašicom električne energije. Operatori sistema bi imali uvid u trenutnu i buduću proizvodnju takvih izvora, uvid u očekivanu potrošnju regije sa nestašicom, njihove lokacije i na osnovu toga moglo bi se automatski odrediti koji obnovljivi izvori bi odgovarali za napajanje tog određenog područja

### **5.3.3. Dinamičko određivanje cena**

Korišćenjem velikih podataka i pametnih brojila moguće je smanjiti vršno opterećenje, odnosno smanjiti razliku između vršne i prosečne potrošnje u sistemu koje bi povećalo kapacitet proizvodnje bez potrebe za izgradnjom novih elektrana. To je moguće preko raznih podsticaja potrošača za promenu potrošnje. Jedan od načina je dinamičko, vremenski zavisno, određivanje cena električne energije. Dobavljač električne energije preko pametnog brojila može da čita podatke o potrošnji potrošača na svakih 15 minuta i na taj način može prilagoditi cenu u skladu sa vršnim i niskim periodima potrošnje. Ovo će motivisati potrošača da promeni način svoje potrošnje, prebacivanjem potrošnje energije iz vršnih sati na periode niže cene, od čega bi imali koristi, kako sam potrošač, tako i dobavljač i mreža. Osim određivanja cena na osnovu vršne potrošnje, mogle bi se cene određivati i na osnovu vremena korišćenja električne energije.

### **5.3.4. Obrasci prethodne potrošnje kao podsticaj**

Osim dinamičkog određivanja cena postoji praksa elektroprivrednih preduzeća da se potrošačima daju obrasci potrošnje električne energije u periodu do 12 meseci prilikom dostavljanja računa. Na primer, potrošač kome je mesečna potrošnja manja od proseka uslužnog programa, ali kada se uporedi sa grupom drugih potrošača, dotični potrošač troši više električne energije. Pružajući ove informacije, potrošač se može ohrabriti da smanji svoj način korišćenja električne energije. Jedan od takvih primera primene velikih podataka koristi i naša elektroprivreda. Na slici 5.1. je prikazan račun za potrošnju električne energije gde postoji grafikon na kome je prikazana potrošnja jednog domaćinstva u proteklih godinu dana, kao i informacija koliko se vrednost mesečne potrošnje za naplatu razlikuje od potrošnje tog domaćinstva za isti mesec prethodne godine, kao i od prosečne potrošnje svih domaćinstava u Srbiji za isti mesec prethodne godine.



Slika 5.1. – Račun za električnu energiju sa uvećanim delom za podsticaj u smanjenju potrošnje

### 5.3.5. Rasterećenje upravljanjem kućnim aparatima

Korišćenjem pametnih brojila i NIALM uređaja, kao i pametnih kuća, moguće je rasteretiti električnu mrežu u periodima kritičnog preopterećenja tako što bi operateri mreže imali dozvolu da isključe sa napajanja pojedine aparate u kući koji se ne smatraju neophodnim za život ili obavezne svakodnevne potrebe. Takođe, bi u periodu preopterećenja, mogli da spreče dodatno priključivanje uređaja na mrežu i na taj način sprečili ispad u mreži. Slično kao što mobilni operateri prilikom „zagušenja“ sprečavaju dodatne pozive, ali ne prekidajući pozive koji su u toku.

## 5.4. Efikasna tržišta električne energije

Razvojem tehnologije i sve većeg udela distributivnih izvora u distributivnoj mreži i kod krajnjih potrošača, tržište električne energije dobija drugačiji oblik. Danas se u trgovini električnom energijom pojavljuju novi učesnici, kao što su dobavljači i krajnji „potrošači–proizvođači“. Uz obezbeđenu tehničku podlogu, koju nudi tehnologija velikih podataka, oni mogu lokalno balansirati energijom i lokalno trgovati električnom energijom između sebe.

### 5.4.1. Deregulacija tržišta

Elektroprivreda doživljava brzu tranziciju deregulacije tržišta, posebno na strani potrošnje. Predstaviće se različiti učesnici, kao što su trgovci na malo i dobavljači. Pored njih pojaviće se i novi poslovni modeli. U konkurentnijem okruženju, deregulisani trgovci i dobavljači imaju više podsticaja da pružaju usluge sa dodatnom vrednošću kako bi povećali svoj profit. Analitika

velikih podataka će se šire primenjivati od strane učesnika na tržištu električne energije, koji nisu ograničeni na elektroenergetske kompanije, da bi otkrili krupne i vredne informacije iz podataka sa pametnih brojila. Tradicionalne metode prognoze potrošnje i cena neće biti efikasne u okviru transakтивne energije. Biće potrebno određivanje i prognoziranje proizvodnje i potrošnje, kao i cena na kratke periode kako bi tržište što bolje funkcionisalo [8].

Takođe, takvo tržište mora paziti na balansiranje energije u sistemu. Budući da potrošnja i ponuda moraju biti uravnoteženi u svakom trenutku, a cena ne funkcioniše dovoljno brzo da se konstantno čisti tržište, potrebna su nam različita tržišta za različite vremenske periode tako da učesnici mogu unapred planirati svoju potražnju ili ponudu: trgovanje proizvodnim kapacitetima u sledećem mesecu, kvartalu ili godini; ili plasiranje ponuda za datu količinu energije prema procenjenoj potražnji ili proizvodnji, po određenoj ceni za određeni sat narednog dana, tekućeg dana ili čak u realnom vremenu. Ovakva tržišta imaju fleksibilnost da prilagode i održe proizvodnju jednaku potrošnji u realnom vremenu, ali za to su potrebni veliki podaci i njihova analiza koja omogućava predviđanje proizvodnje i potrošnje.

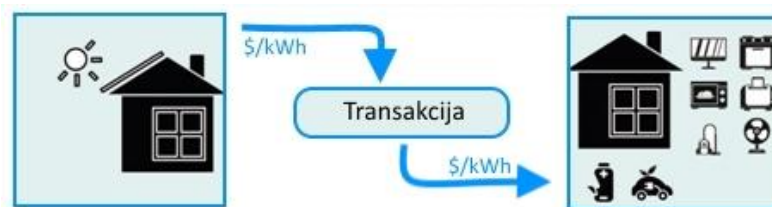
#### **5.4.2. Lokalna P2P tržišta**

Mnoge zemlje smanjuju subvencije za proizvodnju iz OIE što predstavlja bitnu prepreku za ubrzanje integracije OIE i tranziciju na sisteme sa niskom emisijom CO<sub>2</sub>. U tom slučaju, da bi pametni elektroenergetski sistem iskoristio široko rasprostranjene obnovljive izvore u sistemu, energetska tržišta bi trebalo da se uvedu u sektor distribucije kako bi se povezali proizvođači energije sa potrošačima i obezbedila finansijska vrednost obnovljivih izvora. Time bi oni mogli opstati i napredovati u okruženju bez subvencija.

Sadašnje energetska tržište je sistem, u kojem lokalni proizvođači i potrošači imaju ograničen pristup, ali, udruženi u razumnom okviru, mogu učestvovati u centralnom energetska tržištu. Ovo je dobro funkcionisalo od nastanka tržišta električne energije pod tradicionalnom strukturom sistema za snabdevanje električnom energijom, pri čemu su proizvodnja i potrošnja odvojene na oba kraja sistema. Danas postoji sve veća integracija PV i vetroelektrana koji se masivno priključuju na rub distributivne mreže. Milion domaćinstava i komercijalno-poslovnih potrošača koji su tradicionalno pasivni potrošači energije postaću potrošači energije, sposobni da skladište, pretvaraju i proizvode energiju. To će im omogućiti da postanu aktivni učesnici na tržištu.

Primena principa deljenja ekonomije na lokalna energetska tržišta se ostvaruje putem tržišta koje trguje preko P2P (engl. *peer to peer*) veze. P2P tržište, prikazano na slici 5.2., omogućava velikom broju rasepkanih malih kupaca i prodavaca energije da se pronađu i trguju jedni s drugima u malom delu mreže zaobilazeći centralni sistem. Cene električne energije bi bile formirane za određenu oblast ili transakciju tako da se lokalna potrošnja može uskladiti sa lokalnom proizvodnjom i na taj način postići „lokalna ravnoteža“. Ova lokalna ravnoteža može da apsorbuje nepouzdanost koje bi imalo uticaja i na sistem u celini. Povremeni obnovljivi izvori energije bi se pratili u realnom vremenu, tako da bi oni sa najnižom pouzdanošću ponudili najnižu cenu, čime bi pružili najveće podsticaje za potrošače da odgovore i promene svoje obrasce potrošnje. Analitika velikih podataka bi omogućila neophodno određivanje cena u realnom vremenu i prognozu proizvodnje i potrošnje u periodima ponuda (od sekunde, minuta, do sata) i time omogućila brzo trgovanje i balansiranje [28,29].





Slika 5.2. – P2P tržište električne energije

## 5.5. 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.

Primeri primene velikih podataka za detekciju i predviđanje prekida električnoj mreži su dati u nastavku.

### 5.5.1. Pametna brojila

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

### 5.5.2. Profilisanje fidera

Uz podatke o broju potrošača, demografija oblasti, socijalnih događaja (festivali, veća okupljanja i sl.) mogu se i profilisati fideri s obzirom na opterećenje što je takođe vredan uvid za detektovanje i predviđanje kvarova, kao i otkrivanje uzroka. Ove informacije se mogu izvesti do nivoa fidera, transformatora ili čak brojila. Jedan primer skupa podataka na osnovu koga se može identifikovati područja koja su izložena riziku prekida zbog oluja dat je u tabeli 5.1.

### 5.5.3. Podaci o vegetaciji

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. Takođe, mogu se uključiti podaci kao što su temperatura i vlaga. Ponekad vlažna grana drveta premošćuje dva provodnika i postepeno se suši zbog male struje, što na kraju može dovesti do kratkog spoja.

#### 5.5.4. Predviđanje prekida zbog oluje

Tabela 5.1: Podaci za predviđanje prekida zbog oluje

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Vremenski podaci</b>     | Brzina i smer vetra<br>Količina kiše, snežnih padavina i/ili stvaranje leda<br>Intenzitet munje |
| <b>Podaci preduzeća</b>     | Stanje i lokacija opreme<br>Broj potrošača na fideru<br>Rasporedi trimovanja drveća             |
| <b>Drugi spoljni podaci</b> | Gustina i tip vegetacije<br>Opštinske baze podataka o stanju drveća                             |

#### 5.5.5. Upotreba dronova

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

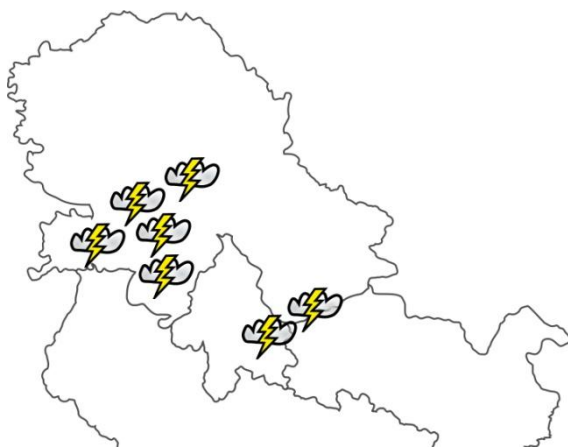
#### 5.5.6. Šumski požari i meteorološki podaci

U letnjim mesecima nadzemni vodovi u blizini izbijanja šumskih požara prekriveni su tankim slojevima pepela. Nakon toga, kada dođu prve kiše, ovaj pepeo se meša sa vodom, formirajući gustu pepelnu pastu koja ponekad dovodi do oštećenja izolacije i kvara [30].

Pored SCADA podataka, ako se obuhvate podaci o spaljenim područjima, vremenskim prilikama, geografskim podacima za nadzemne vodove, može se alatima za analizu podataka zaključiti koji vodovi su verovatno pogođeni pepelom, a zatim predložiti operacije čišćenja, jer treba ukloniti pepeo pre prvih kiša kako bi se smanjili kvarovi izolacije. Pošto ima podatke o vremenskoj prognozi, alat za analizu podataka može zakazati svaku operaciju održavanja pre nego što počne kiša.

#### 5.5.7. Udari groma

Kao jedan od najčešćih uzroka kvarova su udari munje na i blizu dalekovoda, bilo bi veoma korisno biti u stanju isključiti ovakve kvarove koji se prepoznaju da su uzrokovane grmljavinom. To je zbog toga što bi operaterima pružilo trenutno saznanje da su nastali kvarovi zaista prolazne prirode, a ne deo nekih velikih problema koji se stvaraju [6]. Lokacija atmosferskih pražnjenja (slika 5.3.) je jedan podatak koji može pomoći u otkrivanju uzroka prekida. Svaki put kada informacije o udaru munje dođu do sistema za analizu, one se upoređuju na mreži da bi se proverilo da li postoji pozitivan odnos između ovih događaja i ispada (vreme i koordinate). Ako postoji pozitivno poklapanje, onda je mogući uzrok kvara dodeljen i registrovan na alatu za pametnu analizu događaja.



*Slika 5.3. – Ilustracija udara groma na teritoriji Srbije*

#### **5.5.8. Detekcija prekida i društvene mreže**

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



*Slika 5.4. – Objava na društvenoj mreži*

Prethodnim podacima i naprednom analizom i analitikom podataka, odluke koje obično zahtevaju višestruke kvalifikovane radnike mogu biti automatizovane, omogućavajući efikasniji rad sistema, efikasnije održavanje, veću pouzdanost, kao i smanjenje finansijskih rashoda preduzeća i veće zadovoljstvo potrošača.

### **5.6. Predviđanje kvara opreme**

Tehnologija velikih podataka takođe poboljšava upravljanje energetsom opremom, kao i napredni uređaji za merenje i nadzor koji omogućavaju održavanje opreme na osnovu stanja u kom se nalazi (prediktivno održavanje). Ogroman skup podataka o stanju elektroenergetske opreme, iz monitoringa nad opremom, u kombinaciji sa podacima izvan mreže pruža vredne informacije koje se mogu izvući koristeći tehnike velikih podataka [8,31].

Veliki podaci za elektroenergetsku opremu uključuju:

- podatke sa same opreme: parametri sa pločice sa podacima, podaci iz inspekcije opreme, informacije o održavanju i radu opreme, evidencije o defektima, kvarovima i popravkama,
- podatke o nadzoru energetske opreme,

- podatke o elektroenergetskoj mreži: dispečerske informacije o elektroenergetskom sistemu, podaci o proizvodnji i potrošnji, podaci o opterećenju sabirnica, podaci o naponu i struji u realnom vremenu, podaci o aktivnoj i reaktivnoj snazi,
- spoljne podatke: podaci geografskog informacionog sistema, meteorološki podaci, podaci iz preleta drona.

Tehnologije velikih podataka pomažu u poboljšanju procene stanja energetske opreme i dijagnozi kvarova kako bi se smanjila verovatnoća kvara opreme i povećala pouzdanost i ekonomičnost elektroenergetskog sistema. Tako će algoritmi mašinskog učenja biti u stanju da identifikuju nivo stanja opreme i propisuju proaktivne mere održavanja kako bi se povećao životni vek sredstva ili da bi se sprečili kvarovi. Sa pametnim uređajima i senzorima, kao i prediktivnoj sposobnosti i sposobnosti profilisanja, moći će da se identifikuju i predvide kvarovi do nivoa jedinice sistema (npr. transformator). Npr. IED mogu pratiti stanje opreme u kom se nalazi.

Na primer, na osnovu SCADA podataka, relejne zaštite, senzora, PMU 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.

## 5.7. Električna vozila

Međunarodna agencija za energetiku izveštava da je u svetu u 2015. bilo u funkciji više od 1,2 miliona električnih vozila [12].

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 rešiti ova pitanja tako što će raspoređivati punjenje EV-a za časove van vršne potrošnje. Pored toga, koordiniranim pražnjenjem kroz sposobnost pametne mreže "prenos energije iz vozila za mrežu" (V2G, engl. *vehicle-to-grid*), EV mogu pružiti nekoliko prednosti kao što su pomoćne usluge, ublažavanje neizvesnosti u proizvodnji intermitentnih obnovljivih izvora energije kao što su vetar i sunce, itd. [12]. Za ostvarivanje ovih ideja, neophodna je tehnologija velikih podataka koja može, na primer, preko podataka iz pametnih brojila i podataka o stanovništvu u kombinaciji sa odgovarajućim analitičkim metodama, da formira obrasce punjenja i pražnjenja EV-a i predvidi buduća punjenja i opterećenja u mreži.

Na primer, elektroprivreda može obezbediti domaćinstvima pouzdanost i neprekidanje punjenja njihovih električnih vozila (npr. noću), pri iznenadnom preopterećenju mreže, tako što će na osnovu podataka auta o stanju napunjenosti baterija i podataka o uključenim kućnim

aparatura, isključivati one aparate koji nisu neophodni (TV, bojler, računar, veš mašinu) i na taj način pokušati rasteretiti mrežu i izbeći ostavljanje domaćinstava bez napajanja.

Takođe, podaci o detekciji priključenja EV-a na mrežu, mogu biti ključni za dinamičko određivanje cena i planiranje buduće infrastrukture sistema.

## **5.8. Lokacija niskog napona**

Relevantni podaci distributivne mreže mogu se prikupiti sistemom prikupljanja informacija o potrošnji električne energije, PMS, SCADA i drugim sistemima. Podaci obuhvataju:

- električne parametre (kao što su kapacitet, prečnik voda i radijus napajanja) sabirnice, transformatora, dalekovoda, uređaja za reaktivnu kompenzaciju i druge opreme,
- napon, struja, faktor snage kao i pogon i stanje kvara na sabirnici, transformatoru i dalekovodu,
- tip opterećenja i njegova aktivna i reaktivna snaga,
- strukturu mreže,
- položaj regulacione sklopke transformatora,
- kvar opreme mreže,
- podaci o temperaturi,
- žalba potrošača na situaciju niskog napona,
- praznici itd.

Nizak napon u distributivnoj mreži može se locirati kroz tehnike analize velikih podataka prema gore navedenim podacima [15]. Takođe, na osnovu prethodnih podataka i podatka o lokaciji, može se utvrditi uzrok niskog napona ili pada napona (preopterećenje, kvar na regulatorima napona, kvarovi na opremi i drugo).

## **5.9. Detekcija netehničkih gubitaka**

Netehnički gubitak, koji je verovatno prouzrokovan električnim krađama ili greškama u računovodstvu, jedan je od istaknutih problema koji su mučili elektroenergetske sisteme dugo vremena. Štaviše, prevarantsko ponašanje u velikoj meri može izazvati ozbiljne probleme u vidu neravnoteže u elektroenergetskom sistemu. Obično se u distributivnom sistemu instaliraju i elektronska brojila i koncentratorska brojila. Koncentratorska brojila agregiraju i prate podatke sa više brojila baziranih na potrošačima. Analizirajući lavinu uparenih podataka iz koncentratora i potrošačkih brojila, lako se mogu identifikovati nepravilni obrasci gubitka energije. Ako se dodaju informacije o istorijskim krađama energije, moguće je dodatno filtrirati razumne promene u trendovima potrošnje energije i otkriti potencijalne krađe energije [14]. Takođe, pomoću pametne tehnologije integrisane u mrežu, službe mogu u realnom vremenu identifikovati bilo kakav gubitak energije zbog kvarova i anomalija od transformatora do brojila u realnom vremenu.

Uz napredak u komunikacionoj tehnologiji, može se pokrenuti i daljinska krađa mreže preko interneta, poznata kao sajber-napad. Preko sajber napada na mrežu napadač zlonamerno

menja podatke o potrošnji brojila, što na kraju dovodi do smanjenog računa za struju za zgradu povezanu sa brojilom. Napredne tehnike mašinskog učenja i veštačke inteligencije se mogu iskoristiti od strane komunalnih preduzeća. Ove tehnike mogu da nauče ponašanje korisnika iz istorijskih podataka i mogu lako da identifikuju anomalije u ponašanju korisnika. Na primer, naglo smanjenje potrošačke upotrebe može poslužiti kao indikator za krađu.

## **5.10. Planiranje mreže**

Analizom podataka u pametnoj mreži, mogu se identifikovati regije koje imaju preveliko električno opterećenje ili visoke frekvencije ispada struje. Mogu se identifikovati čak i dalekovodi sa visokom verovatnoćom kvara. Takvi analitički rezultati mogu da doprinesu nadogradnji mreže, transformaciji, održavanju i tako dalje.

## **5.11. Primena PMU podataka**

U evoluciji naprednih senzorskih tehnologija, prenosni sistemi su predvodili distribuciju. Vidljivost i dijagnostika prenosne mreže transformisani su tokom protekle decenije sistematskim postavljanjem uređaja za merenje fazora (PMU). PMU pruža tranzijentnu informaciju o naponu i struji korisnu za dijagnozu početnih kvarova. PMU-ovi su tačno vremenski sinhronizovani, obično preko globalnog sistema pozicioniranja (GPS). Slični i još napredniji novi izvori informacija sada postaju dostupni u distributivnoj mreži, koristeći PMU-ove na nivou distribucije, koji se nazivaju i mikro-PMU ( $\mu$ PMU).  $\mu$ PMU-ovi obezbeđuju merenje napona i struje pri većoj rezoluciji i preciznosti kako bi se omogućio nivo vidljivosti u distribucijskoj mreži koja trenutno nije ostvariva. Tipični  $\mu$ PMU je povezan sa jednofaznim ili trofaznim razvodnim kolima kako bi se kontinualno merila amplituda i fazni ugao napona i struje u vremenskom referentnom sistemu globalnog pozicioniranja na dva očitavanja/ciklusa ili 120 očitavanja/s. Ovo je 108.000 puta brže od brzine merenja tipičnog pametnog brojila, koje očitava na svakih 15 min. Takođe, SCADA merenjem daje jednu kvadratnu srednju vrednost, dok PMU mogu dati 7200 vrednosti amplitude u minuti. Podaci iz PMU-a omogućuju SCADA aplikacijama da dobiju dinamički prikaz mreže [32,33]

Međutim, sama dostupnost podataka sama po sebi neće dovesti do povećane svesti o situaciji i operativne inteligencije. Podaci moraju biti upareni sa korisnom analitikom da bi se ti podaci transformisali u informacije koje se mogu iskoristiti.  $\mu$ PMU-ovi kontinualno vrše svoja merenja, pa podaci moraju biti prikupljeni, očišćeni i obrađeni, u realnom vremenu. U nastavku će biti dati primeri primene obrade PMU podataka u distributivnoj mreži.

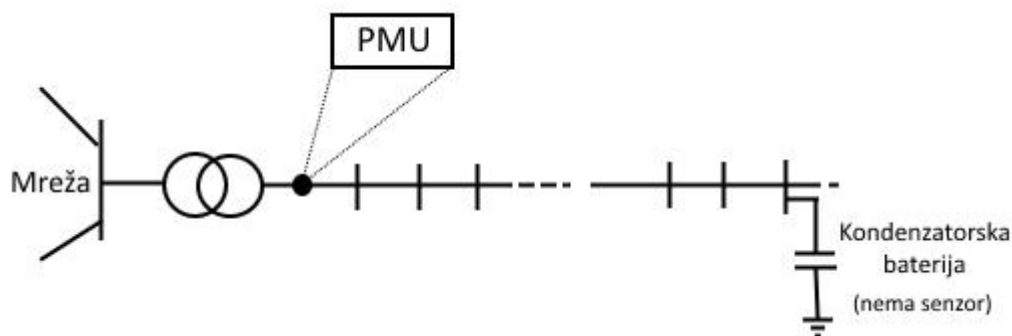
Merenja napravljena preko PMU daju mnogo više detalja o fluktuacijama napona i struje. Npr. može se steći uvid u trenutnim padovima napona i struja koji traju reda ms. U zavisnosti od broja i lokacija postavljenih PMU-ova, mogu se pratiti od transformatora, odnosno od poremećaja pa do korena ili kraja fidera. Na ovaj način mogu se otkriti uzroci poremećaja, lokacija, njihova kritičnost, kao i za detekciju faza i kalibraciju koordinacije uređaja za zaštitu.

### 5.11.1. Primer 1 – Deskriptivna analitika

Visoka učestalost merenja PMU-a omogućava im da svakodnevno beleže stotine naponskih promena. Neki od ovih promena imaju glavne uzroke na nivou prenosa, što možda nije od velikog interesa za distributivne operatere. Stoga je neophodno razlikovati događaje izazvane u prenosnoj od onih izazvanih u distributivnoj mreži. Oni iz distributivne mreže se zatim mogu koristiti u različitim dijagnostikama na nivou distribucije. Npr. takvo razlikovanje možemo napraviti poređenjem merenja napona na susednim distributivnim fiderima [32]. Na primer, ako se detektuju promene u naponu (pad napona) na prvom fideru, a u tom istom periodu nema promena na drugom, susednom, fideru, tako da su te promene indukovane opterećenjem i opremom u prvom fideru. Ako se isti pad napona pojavljuje u oba fidera u istom periodu, najverovatnije da je uzrokovan problemima na višem naponskom nivou, kao što je prenosni sistem.

### 5.11.2. Primer 2 – Prediktivna analitika

Tipični distributivni fider može imati hiljade uređaja, kao što su transformatori, kondenzatorske baterije, osigurači, releji i prekidači. Previše je neefikasno da se instaliraju namenski senzori za nadzor na svakom uređaju. Moguće je pratiti veliki broj resursa koristeći sinhronizovana i visoko-rezolucijska merenja prikupljena od strane nekoliko PMU i razlikovati različite vrste kvarova opreme. Prikupljeni podaci mogu dovesti do identifikacije anomalija koje još nisu dovoljno značajne da prouzrokuju kvarove ili prekide napajanja potrošača, ali ako se ne registruju, mogu uzrokovati kvarove u bliskoj budućnosti.



Slika 5.5. – Isključivanje kondenzatorske baterije, posmatrano na daljinu od strane PMU

Distributivni fider sadrži trofaznu kondenzatorsku bateriju na jednom svom izvodu udaljenom od korena fidera, kao što je prikazano na slici 5.5. Neka se kondenzatorska baterija uključuje i isključuje vakuumskim prekidačem. Praćenje manipulacije uključivanja i isključivanja baterije može se posmatrati daljinski preko PMU instaliranog u korenu fidera. Prilikom isključenja može se pratiti promena amplituda i uglova napona i struje. Ako se, na primer, prilikom svakodnevnih isključenja detektuje permanentni pad napona u svakoj fazi, ali pored toga i smanjenje i povećanje amplituda pojedinih faza struje koje traje predugo (i reda 200ms je relativno dugo vreme), može ukazivati na neki fizički kvar ili kvar u upravljanju [32]. Takođe, velika amplituda i dugo trajanje prekomernih struja, kao i vrlo niske struje mogu predstavljati problem u kvalitetu energije koja se predaje potrošaču. Ova vrsta analize događaja omogućava proaktivno slanje terenske ekipe za popravku ili zamenu sa minimalnim prekidom napajanja potrošača.

## **6. VELIKI PODACI U RELEJNOJ ZAŠTITI**

Jedinice za automatizaciju mreže kao što su releji i specijalizovani uređaji za merenje su odgovorni za prikupljanje i slanje podataka iz pojedinačnih mrežnih komponenti koje se zatim koriste za određivanje stanja mreže. Siguran i pouzdan rad današnjih mreža za distribuciju električne energije se u velikoj meri oslanja na ove podatke. Tradicionalni mehanizmi zaštite nisu uvek pogodni za distributivne sisteme, uključujući lokalnu proizvodnju. Takođe, povećana pouzdanost i sigurnost napajanja postiže se samo ublažavanjem efekata kvarova bolje nego ranije [6,34].

### **6.1. Mogućnosti relejne zaštite**

Relej je uređaj koji služi za detekciju nenormalnih pogonskih stanja uređaja i delova elektroenergetskih sistema i inicijalizaciju odgovarajućih upravljačkih akcija za obezbeđenje normalnog pogona. Za delovanje relejima koristi se pojam relejna zaštita. Vremenom je pojam relejna zaštita evoluirao sa razvojem elektroenergetskog sistema i sada se pod tim pojmom podrazumeva skup uređaja i postupaka za zaštitu elektroenergetskog sistema. Osnovni cilj primene relejne zaštite je najbrže moguće isključenje elementa ili/i dela elektroenergetskog sistema sa kvarom uz očuvanje funkcionalnosti ostalog dela sistema. Relej kao uređaj se sastoji od mernog sistema, sistema za poređenje i izvršnog sistema (deluje na signalizaciju ili daje nalog za isključenje prekidača). Generalno se mogu podeliti na elektromehaničke, statičke i mikroprocesorske [35].

Moderni sistemi relejne zaštite koriste takozvane inteligentne elektronske uređaje koji mogu komunicirati, obraditi i slati podatke merenja putem ugrađenog komunikacijskog interfejsa. Mikroprocesorski releji, koji se zovu i numerički releji, se većinom danas koriste. Primena mikroprocesora stvorila je mogućnost za konstruisanje inteligentnih releja koji se, relativno jednostavno i praktično neprekidno, prilagođavaju novostečenim iskustvima. Ovim je relejnoj zaštiti omogućena primena inteligentnih funkcija i postupaka. Sadrži veći broj funkcija koje se povezuju u okviru jedne zaštite. Omogućava se nadzor štićenog objekta i u slučajevima kada nema kvara. Omogućava daljinski nadzor i upravljanje. Podrška je sistemu upravljanja i automatizaciji pogona. Takođe, ima sposobnost samonadzora i samokontrole ispravnosti. Mogu biti povezane i sa SCADA sistemom, tako da pri radu mogu pratiti i promene u uklopnom stanju u postrojenju i spram tih promena prilagođavati akcije. Napredak digitalnih komunikacija, omogućio je adaptivnu zaštitu. Ona je nadograđena i proširena mikroprocesorska zaštita. U zavisnosti od aktuelnog radnog režima i potreba pogona može obezbediti podešenje, proračunato



trenutno od strane mikroprocesora, koje je optimalno za taj režim, pa se može podešenje i kontinualno menjati. Pošto omogućava odgovarajuće podešenje za svaki relej, ona omogućava i najbolju moguću osetljivost zaštite. Relejna zaštita sa mikroprocesorima objedinjuje funkcije više različitih vrsta releja [19,35]. Osim korišćenja SCADA podataka, moguće je danas upotrebiti i PMU podatke za preciznije podešavanje i efikasnije delovanje relejne zaštite.

U aspektu merenja, implementacija PMU-ova je poboljšala merenja trenutnih vrednosti napona i struja. PMU, kao što je ranije navedeno, pružaju merenja u aspektima amplituda i uglova u realnom vremenu. Ovo je posebno važno kada se topologija sistema, kao što su operacije na automatskom prekidaču, brzo menjaju. PMU podaci mogu se primeniti i u zaštitnim relejnim operacijama. Upotreba PMU podataka je korisna za preciznije i brže odzive prilikom merenja [19]. Posebno može biti od koristi u radu diferencijalne zaštite (preko GPS-a moguće je u istom trenutku (sinhronizacija u 1  $\mu$ sec) određivanje vrednosti fazora sa dva kraja štice elementa) [33].

Takođe, agentska tehnologija (multi-agent sistemi koji se sastoje od nekoliko agenata koji rade zajedno i komuniciraju jedni sa drugima kako bi se postigao zajednički cilj), kao deo veštačke inteligencije, može biti primenjena u svrhu zaštite. Agenti su zapravo autonomni softverski entiteti koji rade bez ljudske intervencije i takođe su u stanju da reaguju na promene u svom okruženju. Interesantna karakteristika multi-agent sistema je da su proaktivni, tako da mogu da preduzmu inicijative kako bi postigli cilj [30]. Ako bi svaki relej predstavljao jednog agenta, komunikacija bi bila još kvalitetnija i omogućila bi brže odzive, efikasnije i proaktivno delovanje u skoro realnom vremenu.

Napredna komunikacija sa pametnim i naprednim uređajima u relejnoj zaštiti, ima sposobnost da prikuplja ogroman broj podataka, kako onih koje snima, tako i onih u realnom vremenu. Modernom relejnom zaštitom i naprednim komunikacijama, proširen je nadzor i svesnost o situaciji na dosta šire područje elektroenergetskog sistema, kao i mnogo veća selektivnost u radu zaštite. Uz dodatne podatke iz sistema van električne mreže i analitičkim sposobnostima tehnologije velikih podataka, relejna zaštita može dosta poboljšati efikasnost i pouzdanost elektroenergetskih sistema. Posebno je ovakav sistem zaštite neophodan za funkcionisanje moderne, pametne mreže i za njenu pouzdanost.

## **6.2. Primene velikih podataka u relejnoj zaštiti**

Zbog nadolaska sve većeg broja električnih vozila i distribuiranih izvora energije može dovesti do preopterećenja sistema, odstupanja napona/reaktivne snage i prekomernog debalansa faza. Da bi se ovi problemi ublažili i da bi se održala pouzdanost sistema, potrebna je koordinisana kontrola napona i reaktivne snage, koordinacija releja, kao i opsežni monitoring. U takvom razvoju situacije i putu trenutne mreže ka pametnoj mreži, pojava dvosmernog protoka snage u distributivnom sistemu predstavljaće veliki izazov za rešenje optimalnog funkcionisanja zaštite. Važno je pratiti kriterijume prilikom odabira rešenja za zaštitu. Pouzdanost, selektivnost, brzina i osetljivost su ključni atributi za dobar rad releja u elektroenergetskom sistemu.

Da bi zaštitili sistem, podešavanje releja mora biti pravilno izabrano i precizno podešeno na osnovu potrebnog vremena rada i struje kvara (napona, snage itd.). Postupak izbora i postavljanja zaštitnih uređaja naziva se koordinacija zaštite. Selektivnost je veoma bitno ostvariti

u mreži. To je osobina da se izoluje samo element ili deo elektroenergetskog sistema sa kvarom, odnosno uz minimum isključenja ostaviti što veći deo sistema u pogonu. Tehnologija velikih podataka može pomoći još boljoj koordinaciji i selektivnosti u relejnoj zaštiti, posebno u specifičnim slučajevima kao što je sve veći uticaj distribuiranih izvora [35,36].

Brza komunikacija između releja i obrada velikog broja podataka može sprečiti kaskadno delovanje releja zbog veće osetljivosti nego što je potrebna da bude podešena za tu lokaciju u sistemu i tip kvara. Pametni uređaji generišu veliki broj podataka o stanju sistema i stalno detektuju napon, struju i stanje kvara. Dodatni podaci, kao što su vremenske prilike, društveni događaji, način potrošnje električne energije pojedinačnih potrošača, mogu biti od presudnog značaja za preciznije podešenje i koordinisaniji rad relejne zaštite, koje se na osnovu analize tih podataka u realnom vremenu mogu kontinualno prilagođavati trenutnoj situaciji.

Analiza velikih podataka, koji pristižu iz različitih izvora, mogu uticati na podešenje relejne zaštite. Taj uticaj ima za rezultat poboljšanje reagovanja releja na poremećaje u mreži, ostvarujući na taj način veću pouzdanost i sigurnost u sistemu. U nastavku su dati pojedini primeri primene spoljnih i sistemskih velikih podataka za efikasno funkcionisanje releja.

#### **6.2.1. Vremenski podaci i termička zaštita**

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 štićeni element, dopustiti i trajno preopterećenje elementa.

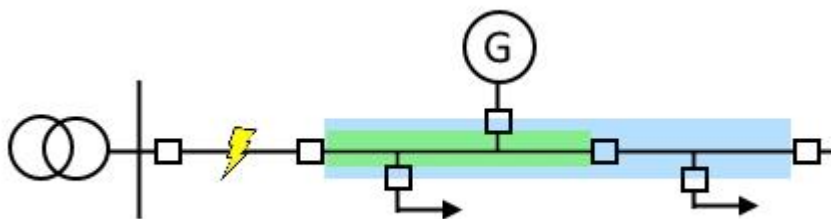
#### **6.2.2. Prekostrujna zaštita i predviđeno opterećenje**

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.

#### **6.2.3. Samopopravljanje pametne mreže**

Samopopravljanje je svojstvo koje omogućava sistemu da u realnom vremenu opazi da li sistem ne funkcioniše ispravno i da, bez ljudske intervencije, izvrši neophodna prilagođavanja kako bi sistem sam vratio u normalnost. Jedno od rešenja za samopopravljanje je kontrolisani ostrvski rad. Samopopravljanje se obično odnosi na rekonfiguraciju, rasterećenje i kontrolu izlaznih snaga generatora. Napredni algoritmi velikih podataka moraju biti razvijeni koristeći tehnike veštačke inteligencije i multi-agentne sisteme da bi se rešili ovi problemi. Problemi restauracije su mnogo sofisticiraniji u pametnim mrežama zbog izazova kao što su dvosmerni tok snaga, povezane petljaste topologije i ograničeni kapaciteti distributivnih energetske

resursa. Moguća veličina ostrva varira u zavisnosti od količine proizvodnje i potrošnje na ostrvu, prikazano zelenom i plavom bojom na primeru datom na slici 6.1. Rešenja za samopopravljanje obično treba da rekonfigurišu sistem u roku od jednog do pet minuta [31,33,36–39].



Slika 6.1. – Ostrvski rad mreže (dve mogućnosti za ostrvski rad)

Prilikom pojave kvara na određenom delu fidera i utvrđivanja lokacije kvara, potrebna je brza izolacija dela sa kvarom i obnavljanje napajanja za ostatak dela sistema. U petljastoj strukturi pametne mreže distributivnog sistema, moguće je automatski preusmeriti energiju iz pravilno izabranih raspoloživih distribuiranih izvora energije i alternativnih fidera [40,41]. Sistem treba automatski doneti odluku za najoptimalniji tok energije preko podataka:

- 1) očekivani zahtevi za potrošnjom u tom delu sistema kome se obnavlja napajanje (podaci pametnih brojlara, način potrošnje domaćinstva u zavisnosti od godišnjeg doba, EV itd.) i
- 2) trenutni i budući (predviđena snaga u narednom satu, danu) proizvodni kapaciteti distribuiranih izvora, kao što su vetroelektrane i solarni paneli (brzina vetra, zračenje, temperatura).

Ovde nije kraj. Da bi deo sistema mogao raditi u ovakvom ostrvskom radu, neophodno je obezbediti i pouzdanost. Analizom prethodnih podataka i skupa podataka:

- trenutne vrednosti napona, struja i stanja kvara u vodovima i fiderima,
- lokacija distributivnih izvora i
- topologija (uklopno stanje) mreže,

može se u svakom trenutku prilagoditi konfiguracija relejne zaštite stanju sistema, kako podešenje njenih distantnih, diferencijalnih, prekostrujnih releja, tako i vremensko podešenje i koordinaciju obuhvaćenih releja. Osim u slučajevima kvara, na osnovu istih podataka, može se rešiti problem podešenja relejne zaštite i očuvanja pouzdanosti u normalnom pogonu sa velikim udelom obnovljivih izvora u sistemu. Bitna je uloga velikih podataka u tom rešavanju, jer u sistemu dolazi do [42]:

- gubitka selektivnosti relejne zaštite,
- dinamičke nestabilnosti,
- promena nivoa napona i problema u regulaciji napona,
- promenjene vrednosti i smera struja kvara itd.

## **7. IZAZOVI U PRIMENI VELIKIH PODATAKA**

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.

INICIJALNA PROMENA – Često je najteži zadatak za svakoga, a kamoli za celu organizaciju ili industriju, da se menja. Elektroprivrede su suočene sa stalnim izazovima, od starenja radne snage do regulatornih zahteva do političkog pritiska i nemira potrošača. Nisu potrebna pametna brojila za početak ispitivanja analitičkih rešenja. Elektroprivrede već imaju velike skupove podataka koji dolaze iz SCADA sistema. Podaci su tu, samo zahteva neke pripreme i unutrašnju želju da se pređe sa podataka na mudrost i uvid u akciju. Moraju interno gledati i identifikovati gde će dobiti vrednost. Ako nemaju alate i potrebne stručnjake za pružanje potrebnih usluga, onda postoji potreba da ih pronađu ili kroz obuku ili zapošljavanje. U budućnosti, podaci se moraju tretirati kao korporativna imovina [18].

Pored izazova koji su spomenuti i obrađeni u radu (dovoljno snažan računarski potencijal, resursi i tehnologija za prikupljanje, skladištenje i obradu velikih podataka, brzina prenosa podataka, obrada u realnom vremenu, primena tradicionalnih i novih analitičkih metoda za analizu podataka, kvalitet podataka, vizuelizacija podataka, komunikaciona i informaciona arhitektura za integraciju tehnologije velikih podataka u elektroenergetskim mrežama, visok udeo obnovljivih izvora energije i električnih vozila, sve veća i raznovrsnija uloga potrošača u sistemu i dr.), postoje i izazivi opisani u nastavku.

DOMINACIJA ENERGETSKE ELEKTRONIKE – Sa visokim učešćem integracije obnovljivih izvora energije tradicionalni elektroenergetski sistemi mogu se pretvoriti u elektroenergetske sisteme sa dominacijom energetske elektronike, čiji će se mehanizam stabilnosti iz temelja promeniti i biće mnogo složeniji od tradicionalnih sistema u kojima dominira sinhroni generator. Analiziranje i procenjivanje stabilnosti elektroenergetskog sistema iz perspektive zasnovane na podacima nudi nove mogućnosti i nove izazove [8].

STANDARDIZACIJA – Podaci potiču iz brojnih izvora i dolaze u različitim formatima. Podaci moraju biti integrisani i interoperabilnost između različitih uređaja i nivoa kontrole mora biti osigurana. Potrebni su novi propisi i standardizovani procesi za prikupljanje podataka i upravljanje. Postoji nedostatak standarda za opis podataka i komunikaciju, neophodnih za interoperabilnost. Štaviše, integracija podataka i prakse razmene podataka između institucija moraju biti definisane u korist svih zainteresovanih strana [4].

PRIVATNOST PODATAKA – Posebna pažnja je potrebna za privatnost, poverljivost i zaštitu privatnih podataka. Značajni problemi koje treba rešiti uključuju zaštitu podataka, zaštitu intelektualnog vlasništva, zaštitu privatnosti, komercijalnu bezbednost, bezbednost mreže i finansijske informacije. Ukoliko ne postoji jasan politički okvir koji propisuje ono šta je dostupno, deljivo i obezbeđeno, bilo bi teško da neko kao energetičari sami uspeju. Industriji je potreban jasan regulatorni okvir za rešavanje problema pukotina u granicama organizacija i definisanje vlasništva i korišćenja podataka u različitim instancama. Pametna brojlara mogu biti glavna briga oko privatnosti ako njihovi podaci nisu bezbedno preneseni i skladišteni. Pametna brojlara prikupljaju podatke o potrošnji energije korisnika mreže. Pružatelji pametnih mreža analiziraju takve podatke, koji pružaju veliku intuiciju o ponašanju i navikama korisnika, nudeći inteligentne prilagođene usluge. Na primer, podaci bi mogli da se iskoriste kako bi se utvrdilo kada ljudi nisu kod kuće, da li poseduju električno vozilo i/ili solarni panel na krovu, ili u nekim slučajevima otkrivaju marku uređaja koju neko koristi. Zbog toga, da bi se izbegla reakcija potrošača o analizi velikih podataka, ne samo da nam je potrebna napredna sajber bezbednost, već i poboljšani zakoni i propisi za zaštitu privatnosti podataka u industriji električne energije [4,10,12].

ZAŠTITA PODATAKA – Ključna je bezbednost podataka i infrastrukture pametne mreže. Pametne mreže mogu biti ranjive na sajber-napade ili sajber-fizičke napade (npr. oduzimanje sistema za nadzor i prikupljanje podataka (SCADA), daljinsko isključivanje stanica, uništavanje datoteka servera, onemogućavanje komponenti infrastrukture informacione tehnologije, zloupotreba AMI sistema, PMU, IoT-a, pametnih uređaja i dr.). Funkcionalnost pametnih mreža je od vitalnog značaja za društvo u celini i sadrži osetljive informacije koje treba zaštititi od zlonamernih napada i ranjivosti. To uključuje sve pristupne tačke i zaštitu opreme koja je inherentno distribuirana, ali i sigurnost skladištenja podataka koja se može dobiti usvajanjem naprednih kriptografskih tehnika i mehanizama verifikacije, korišćenjem mašinskog učenja i veštačke inteligencije [4]. Kako podaci postaju sve važnija imovina, ona će takođe postati veći cilj zloupotreba.

POTROŠNJA ENERGIJE – Potrošnja energije potrebna za potencijalno intenzivnu računarsku snagu je još jedno važno pitanje koje zahteva isplativo i održivo rešenje [4].

OBUKA STRUČNJAKA – Konačno, kao i sa svakom značajnom tranzicijom, postoji potreba za dobro obučenom radnom snagom, kako za sadašnjim tako i budućim ljudskim resursima. Mnoge industrije suočavaju se s brojnim izazovima u sticanju talentovanih ljudi koji mogu raditi s velikim podacima i analitikom. Iako većina industrija pati od nedostatka, industrija električne energije nalazi se u krugu stručnjaka, inteligentnih inženjera koji se mogu iskoristiti za veliku korist. Inženjeri imaju primenjeno razumevanje modela, matematike i statistike i stoga mogu iskoristiti svoje sposobnosti i prevesti ih u poslovne analitičare i stručnjake za podatke. Takođe, obrazovne institucije moraju praviti izmene svog plana i programa i naći mesta za školovanje ovih neophodnih stručnjaka u elektroenergetici [4,8].

REGULATIVE I ZAKONI – Dodatna pitanja uključuju verifikaciju i validaciju analitike, sertifikaciju i usklađenost sa propisima i zakonima; i interoperabilnost svih elemenata pametne mreže [43].

## 8. ZAKLJUČAK

Veliki podaci mogu dati referentne odgovore za ljudska bića da donose odluke putem rudarstva podataka i analitičke obrade, ali to ne može zameniti ljudsko razmišljanje. Ljudsko razmišljanje promoviše široko rasprostranjeno korišćenje velikih podataka. Veliki podaci su više kao ljudski mozak koji se može proširiti i koji se može razviti, a ne zamena za ljudski mozak. Sa pojavom pametnih uređaja, IoT-a, razvojem tehnologije senzora i napretkom tehnologije prikupljanja podataka, ljudi nisu samo korisnici i potrošači velikih podataka, već i njegovi proizvođači i učesnici.

Elektroenergetska industrija je doživela razvoj bez presedana u analitici velikih podataka i primenama, od nastajanja koncepta velikih podataka do akademskih istraživanja, a zatim do primena u industriji. Međutim, u budućnosti će se pojaviti još mnogi i mnogo veći izazovi. Analitika velikih podataka i njena primena u elektroenergetici moraju nastaviti da se kreću napred.

Energetske kompanije postepeno se kreću uz analitičke merdevine, od deskriptivne analitike, do prediktivne analitike, pa sve do preskriptivne analitike. U međuvremenu, mnoge kompanije su prikupile velike količine podataka iz različitih izvora za naprednu analitiku. Sada je analitika velikih podataka, ili primena analitike na velike podatke, postala oblast od značaja. Pojava naprednih tehnologija za merenje i pametnih uređaja u kombinaciji sa sve većom složenošću sajber pretnji stavlja elektroenergetsku industriju u kritičan trenutak. Elektroprivrede su u središtu ove transformacije, jer tehnologija i inovacije narušavaju tradicionalne modele. Oni koji se ne prilagode, ili ne planiraju implementaciju nove tehnologije bez razmatranja savremenih bezbednosnih pretnji, izložiće svoje kompanije, klijente i zajednice velikim rizicima. Bezbednost ne može biti naknadna misao i mora se smatrati ranom u okviru sveobuhvatnog dizajna. Sigurna i visoko efikasna platforma za analizu podataka bi bila od ključnog značaja za interese društvene dobrobiti i energetske kompanije u budućnosti. Kako je primena analitike podataka u pametnim mrežama sveobuhvatna i komplikovana oblast, koja uključuje matematiku, informacione tehnologije, informatiku, elektrotehniku, stoga je potrebna saradnja između stručnjaka iz različitih oblasti kao i strateških vizija za standardizaciju i kompletnu verifikaciju velikih podataka u elektroenergetskim sistemima.

Pregledani su i diskutovani veliki podaci u trenutnoj i pametnoj mreži i odgovarajuće metode najsavremenije analize. Podaci koji mogu sadržati vredne informacije prikupljaju se od pametnih brojlara instaliranih u elektroenergetskom sistemu, tržišta električne energije, GIS-a, meteorološkog informacionog sistema, društvenih medija i tako dalje. Svrha napredne informaciono-komunikacione tehnologije u elektroenergetskom sistemu je povezivanje

tradicionalnih fizičkih parametara u elektroenergetskom sistemu sa spoljnim varijablama kako bi se otkrili potencijalni obrasci i relacije. Veliki broj primena analitike podataka koje su navedene u radu su skoro uključene u svaki aspekt elektroenergetskog sistema, uključujući rad, održavanje, prognoziranje opterećenja/izlaza, zaštitu, kao i otkrivanje kvarova i lokacije. Nakon „vađenja“ korisnih informacija iz „sirovih“ podataka sa osnovnim znanjem iz elektrotehnike, tipične metode analize podataka i napredne tehnologije mašinskog učenja i veštačke inteligencije, mogu se široko primeniti. Sigurne i efikasne operativne strategije, kao i optimalne poslovne odluke, moguće je napraviti sa analitikom podataka iz jednog jedinstvenog sveobuhvatnog okvira.

Na osnovu svega izloženog u ovom radu, može se zaključiti da tehnologija velikih podataka u elektroindustriji dobija bitnu ulogu. Ta uloga će omogućiti ubrzan 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 sve fleksibilnijom proizvodnjom/potrošnjom, neće biti moguće bez odgovarajućih naprednih komunikacija i tehnologija obrade i analiziranja 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 i ispunjenju zahteva.

Svi mogu biti optimistični u pogledu mogućnosti koje podaci mogu ponuditi elektroenergetskim sistemima. To bi moglo postati jednako važno za energetiku kao i uvođenje digitalnog kompjutera u elektroenergetski sektor, koji je transformisao celu elektroenergetsku industriju. Uvođenje podataka i inteligencija podataka može još više transformisati elektroindustriju. Nastupa veoma uzbudljiv trenutak u istoriji elektroenergetike.

Era velikih podataka u elektroindustriji je počela!

## 9. 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. S.Yin, O.Kaynak: *Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View]*, Proceedings of the IEEE, Vol. 103, No. 2, pp. 143 – 146, Feb. 2015.
3. M.Chen, S.Mao, Y.Liu: *Big Data: A Survey*, Monet, 19:171–209, 2014.
4. 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
5. H.Ahmed: *Applying Big Data Analytics for Energy Efficiency*, Master's Thesis, Espoo, Aalto University, August 2014.
6. J.Puurtinen: *Big data mining as a part of substation automation and network management*, Master of Science Thesis, Tampere University of Technology, May 2014.
7. Zetabajt sa <https://sr.wikipedia.org/wiki/Zetabajt>, pristupljeno dana 15.6.2019.
8. C.Kang, Y.Wang, Y.Xue, G.Mu, R.Liao: *Big Data Analytics in China's Electric Power Industry*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp. 54–65, May 2018.
9. N.Amaro, J.M.Pina: *Big Data in Power Systems*, IEEE, International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), Funchal, Portugal, 2017.
10. L.Xie: *Data Technology: The New Normal*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.108–106, May 2018.
11. T.H.D.Ha, R.Olsson, H.Wang: *The Role of Big Data on Smart Grid Transition*, IEEE International Conference on Smart City, 2015.
12. M.Ghofrani, A.Steeble, C.Barrett, I.Daneshnia: *Survey of Big Data Role in Smart Grids: Definitions, Applications, Challenges, and Solutions*, The Open Electrical & Electronic Engineering Journal, Vol.12, pp. 86–97, 2018.
13. P.D.Diamantoulakisb, V.M.Kapinasb, G.K.Karagiannidisa: *Big Data Analytics for Dynamic Energy Management in Smart Grids*, Elsevier Big Data Research, Vol.2, No.3 pp. 94–101, Sep. 2015.
14. N.Yu, S.Shah, R.Johnson, R.Sherick, M.Hong: *Big Data Analytics in Power Distribution Systems*, IEEE, 2015.



15. D.Cai, H.Tian, Y.Wang, H.Wang, H.Zheng, K.Cao, C.Zhou: *Electric Power Big Data and Its Applications*, Atlantis Press, 2016.
16. E.Ronchieri: *Big Data Analysis for Smart Grid Applicatios: An Overview*, Society for Design and Process Science, Dallas Fort Worth, Texas, USA, 2015.
17. Y.Zhang, T.Huang, E.F.Bompard: *Big data analytics in smart grids: a review*, Energy Informatics, Vol.1, No.8, 2018.
18. White Paper: *Data to Wisdom*, Canadian, Electricity Association, Canada
19. H.Jiang, K.Wang, Y.Wang, M.Gao, Y.Zhang: *Energy Big Data: A Survey*, IEEE Access, Vol.4, pp. 3844–3861, 2016.
20. Petabajt sa <https://sr.wikipedia.org/wiki/Petabajt>, pristupljeno dana 15.6.2019.
21. Internet stvari sa [https://sr.wikipedia.org/sr-el/Internet\\_stvari](https://sr.wikipedia.org/sr-el/Internet_stvari), pristupljeno dana 18.6.2019.
22. X.Yu, Y.Xue: *Smart Grids: A Cyber–Physical Systems Perspective*, Proceedings of the IEEE, Vol. 104, No.5, pp. 1058–1070, May 2016.
23. Računarstvo u oblaku sa [https://sr.wikipedia.org/wiki/Ra%C4%8Dunarstvo\\_u\\_oblaku](https://sr.wikipedia.org/wiki/Ra%C4%8Dunarstvo_u_oblaku), pristupljeno dana 20.6.2019.
24. Istraživanje podataka sa [https://sr.wikipedia.org/wiki/Istra%C5%BEivanje\\_podataka](https://sr.wikipedia.org/wiki/Istra%C5%BEivanje_podataka), pristupljeno dana 18.6.2019.
25. R.J.Hyndman, X.Liu, P.Pinson: *Visualizing Big Energy Data*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.18–25, May 2018.
26. MongoDB sa <https://sr.wikipedia.org/wiki/MongoDB>, pristupljeno dana 18.6.2019.
27. T.Hong, D.W.Gao, T.Laing, D.Kruchten, J.Calzada: *Training Energy Data Scientists*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.66–73, May 2018.
28. F.Li, R.Li, Z.Zhang, M.Dale, D.Tolley, P.Ahokangas: *Big data analytics for flexible energy sharing*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.35–42, May 2018.
29. J.Black, A.Hoffman, T.Hong, J.Roberts, P.Wang: *Weather Data for Energy Analytics*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.43–53, May 2018.
30. B.Almeida, M.Louro, M.Queiroz, A.Neves, H.Nunes: *Improving smart SCADA data analysis with alternative data sources*, IET Journals, Vol.2017, No.1, pp.1223–1226, October 2017.
31. A.Apostolov, Roy Moxley: *Role of Protective Relaying in the Smart Grid*, Working Group C–2 of the System Protection Subcommittee, Power System Relay Committee, Pes–Psrc, 2015.
32. H.Mohsenian–Rad, E.Stewart, E.Cortez: *Distribution Synchrophasors*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.26–34, May 2018.
33. A.Apostolov: *The Role of Synchrophasors in the Integration of Distributed Energy Recource*, CIRED, Paper 1421, Lyon, 15–18 June 2015.

34. F.Muzi: *Digital relays for smart grid protection*, Department of Industrial and Information Engineering and Economics, University of L'Aquila, Monteluco di Roio, L'Aquila, Italy, 2013.
35. D.Bekut: *Relejna zaštita*, Fakultet Tehničkih Nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2009.
36. C.Chandraratne, R.T.Naayagi, T.Logenthiran: *Smart grid protection through self-healing*, IEEE, 2017.
37. K.Kauhaniemi, S.Voima: *Adaptive Relay Protection Concept for Smart Grids*, Renewable Efficient Energy II Conference Vaasa, Finland, 21–22 March 2012.
38. F.Muzi: *Digital relays for smart grid protection*, Department of Industrial and Information Engineering and Economics, University of L'Aquila, Monteluco di Roio, L'Aquila, Italy, 2013.
39. M.Turan, E.Gokalp: *Relay coordination analysis and protection solutions for smart grid distribution systems*, Tubitak Journal, Vol.2016, No.24, pp. 474–482, 2016.
40. X.Bangpeng, S.Guangmin, S.Yangsheng, N.Pengchen: *The Prospect for the Relay Protection Work in the Smart Electric Distribution Network*, Pudong Power Supply Company, Shanghai, China, 2010.
41. D.R.Costianu, N.Arghira, L.Fagarasan, S.Iliescu: *A survey on power system, protection in smart grids*, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 74, No. 1, 2012.
42. F.Kawano, P.Beaumont, Tatsuji Tanaka: *Intelligent protection relay system for Smart Grid*, IET, 2010.
43. T.Hong: *Big Data Analytics: Making the Smart Grid Smarter*, IEEE Power and Energy Magazine, Vol.16, No.3, pp.12–16, May 2018.