

PRIMENA ODGOVORA NA POTRAŽNJU U IT I ENERGETSKIM SISTEMIMA

LUKA JEREMIĆ, DR. MILOŠ RADENKOVIĆ

Sadržaj - Rad pruža kratak pregled planiranja radio komunikacija za pešadijski bataljon u odbrambenoj operaciji unutar integrisanog komunikacionog sistema. Fokus je na integraciji sa modernim tehnologijama, sigurnosti, otpornosti komunikacija, i implementaciji visokofrekventnih radio sistema. Opisuju se ključne funkcionalnosti i taktike za održavanje kontinualne komunikacije u borbenim uslovima, kao i izazovi i rešenja vezana za ometanja i održavanje komunikacionih linija. Na kraju, istaknuti su planovi za unapređenje komunikacionih sistema i buduća istraživanja na temu automatizacije u vojnim komunikacijama.

Ključne reči - Demand Response, Elektroenergetski sistem, Pametna mreža, Potrošnja, Upravljački sistemi

I. UVOD

Pojava prvih električnih mreža usledila je nakon stvaranja prvih elektrana. U početku, elektrane su proizvodile samo istosmernu struju sa niskim naponom, zbog čega su električnom energijom mogli koristiti samo oni blizu izvora snabdevanja. Kako je potrošnja rasla, veća struja je prolazila kroz vodove, što je dovodilo do smanjenja već niskog napona na potrošačkim uređajima. To je uticalo na slabije svetlo sijalica. Da bi se održao dovoljno visok napon na uređajima, bilo je neophodno smanjiti pad napona u vodovima, odnosno povećati njihov presek. Međutim, beskrajno povećavanje preseka vodova nije bilo praktično jer je činilo distribuciju električne energije neekonomičnom. Problem je rešen povećanjem napona. Sijalice su počele da se proizvode za napon od 220V, omogućavajući potrošačima da budu dalje od elektrane.

II. STRUKTURA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Elektroenergetski sistem (EES) predstavlja tehnički sistem čija je primarna

dužnost osiguravanje kvalitetne isporuke električne energije uz minimalne troškove unutar samog sistema. Kao kompleksan i dinamičan sistem, elektroenergetski sistem se može podeliti na četiri funkcionalno nezavisna, ali međusobno povezana podsistema, gde je veza između ovih podsistema određena pravcem protoka električne energije [7]. Ovi funkcionalno razdvojeni podsistemi obuhvataju:

A. Podsystem proizvodnje

Podsystem proizvodnje (elektrane ili električne centrale) prvi je u lancu podsistema u okviru EES-a u kome se vrši transformacija različitih oblika energije u električnu energiju [8].

Elektrane su elektroenergetski objekti u kojima se proizvodi električna energija. Njihov osnovni zadatak je da u svakom trenutku zadovolje potrebe potrošača za električnom energijom i da obezbede neophodan nivo rezerve za slučaj ispada pojedinih kapaciteta ili za slučaj nepredviđenih zahteva od strane potrošača. U savremenim EES najviše su zastupljene termoelektrane i hidroelektrane, a u posljednje vreme ima i određeni broj tzv. Nekonvencionalnih elektrana.

B. Podsystem prenosa

Osnovna funkcija podsistema prenosa električne energije je da električnu energiju proizvedenu u elektranama, koja je transformisana na visoki napon, prenese do distributivnih podsistema. Ova električna energija se koristi daleko od mesta proizvodnje radi optimizacije i ekonomičnosti rada elektroenergetskog sistema (EES).

C. Podsystem distribucije

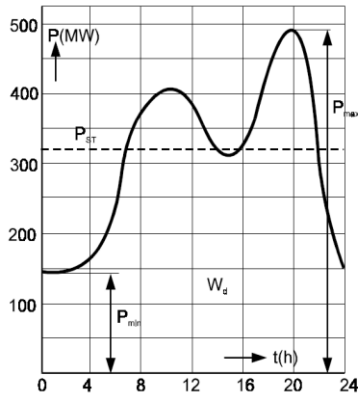
Podsystem distribucije odnosi se na elektro distributivne mreže koje preuzimaju električnu energiju iz prenosno-distributivnih transformatorskih postrojenja i distribuiraju je do potrošačkih čvorova. Električna energija se u ovom procesu transformiše na distributivne napone [10].

D. Podsystem potrošnje

Podsystem potrošnje je kompleksna celina koja obuhvata veliki broj različitih potrošača električne energije, povezanih na potrošačku mrežu. Ova mreža omogućava prenos električne energije od distributivno-potrošačkih razvodnih postrojenja, gde se napon smanjuje preko transformatora na nivo pogodan za krajnje korisnike, do samih potrošača.

Osnovni nedostatak električne energije je to što se ona ne može akumulirati u energetske značajnim količinama, pa se u svakom trenutku mora obezbediti ravnoteža između ukupne proizvodnje i ukupne potrošnje u

elektroenergetskom sistemu (EES). Potrošnja električne energije varira i u zavisnosti od nivoa radne aktivnosti; neradnim danima potrošnja je manja, ponedjeljkom raste, a u petak opada. Primer dnevnog dijagrama opterećenja, koji prikazuje zavisnost snage opterećenja od vremena tokom dana, prikazan je na slici 1.



Slika 1 - Diagram dnevnog opterećenja

Osnovni zadatak elektrana je proizvodnja potrebne količine energije u trenutku kada je potrošač zahteva. Budući da nije moguće akumulirati velike količine električne energije, proizvodnja mora u svakom trenutku biti jednaka potrošnji. Ova ravnoteža se lakše ostvaruje kada je više elektrana povezano u Elektroenergetski sistem (EES), što je obično slučaj.

III. PAMETNA MREŽA

Izraz "Pametna mreža" koristi se od kraja 2003. godine, a prvo pojavljivanje ovog termina datira mnogo ranije. Postoji nekoliko definicija "Pametne mreže" koje se fokusiraju ili na njen rad ili na njenu tehnologiju. Zajednička tačka svih njih jeste primena digitalne obrade i komunikacija na elektroenergetsku mrežu, pri čemu se tokom podataka i upravljanje obavljaju putem centralizovanog sistema nazvanog "Pametna mreža" (Smart Grid)[12].

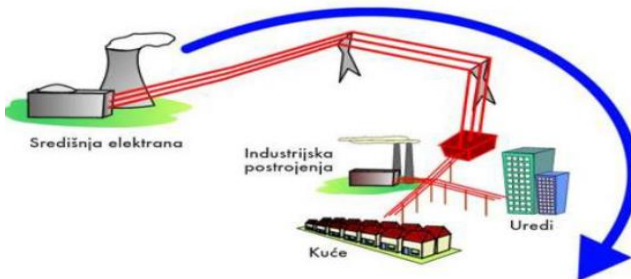
Prelazak električnih energetske sistema ka efikasnijim, održivijim i decentralizovanijim mrežama, koje su sposobne da inteligentno integrišu akcije svih povezanih korisnika, jedna je od mnogih definicija koje opisuju pametnu mrežu. Koncept pametne mreže, koji povezuje nove informacione i komunikacione tehnologije unutar energetske sistema, teži da odgovori na nekoliko izazova kako bi unapredio trenutni električni sistem [13]. Među glavnim izazovima koje su identifikovali u Međunarodnoj energetskej agenciji

(IEA) su: zastarela infrastruktura, smanjenje ugljeničnog otiska proizvodnih jedinica, integracija električnih vozila, sigurnost snabdevanja i neprekidni rast potražnje za električnom energijom. Rešenja pametne mreže za upravljanje ovim izazovima uključuju strategije upravljanja **potražnjom sa strane korisnika**, gde korisnici mogu aktivno učestvovati u upravljanju opterećenjem. Balansiranje maksimalnog opterećenja postalo je sve veća briga operatora nacionalnih prenosnih sistema (TSO) u poslednjih nekoliko godina.

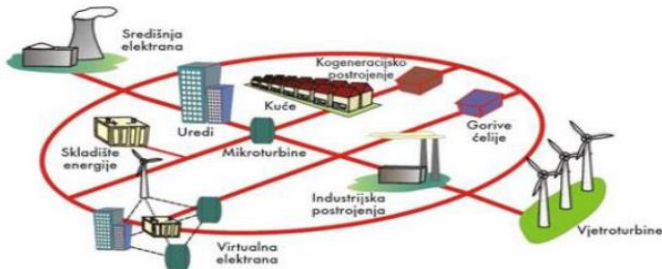
U Francuskoj, maksimalna potražnja je postepeno rasla od početka dvadeset prvog veka. Francuski TSO, RTE, izveštava da su vrhovi potrošnje rasli dvostruko brže od potražnje za energijom u poslednjoj deceniji [14].

U Evropi se očekuje da će maksimalno opterećenje porasti između 13 do 65% sve do 2050. godine. Tehnologije pametne mreže mogu pomoći u smanjenju brzog rasta maksimalnog opterećenja, pokazala su istraživanja da pametne mreže mogu doprineti smanjenju maksimalnog opterećenja za do 12%. Upravljanje potražnjom sa strane korisnika (DSM), koje se može definisati kao "skup aktivnosti koje komunalno preduzeće ili njegovi korisnici mogu preduzeti kako bi modifikovali oblik i nivo svoje krive opterećenja", glavni je način za postizanje takvih rezultata.

Dizajn današnje elektroenergetske mreže karakteriše vertikalna struktura koja obuhvata proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije [12]. Električnu energiju generiše nekoliko velikih elektrana. Ova energija se zatim prenosi kroz prenosne mreže do područja sa niskim naponom i isporučuje se krajnjim potrošačima. Protoci električne energije u savremenoj mreži su jednosmerni, od visokonaponskog prenosnog sistema ka potrošačima [12]. Pametna mreža zahteva podršku komunikacijskih tehnologija i metoda merenja u realnom vremenu kako bi se povećala njena otpornost, predvidljivost, kao i zaštita od unutrašnjih i spoljnih pretnji. Koncept pametne mreže zasniva se na decentralizaciji i restrukturiranju elektroenergetskog sektora i optimizaciji njegovih resursa.



Slika 2 - prikaz današnjeg elektroenergetskog sistema



Slika 3 - prikaz pametne mreže

IV. ODGOVOR NA POTRAŽNJU (DEMAND RESPONSE).

Odgovor na potražnju (DR) odnosi se na "promene u korišćenju električne energije od strane krajnjih korisnika od njihovih normalnih obrazaca potrošnje kao odgovor na promene u ceni električne energije tokom vremena ili na podsticajne isplate dizajnirane da prouzrokuju. manju upotrebu električne energije u trenucima visokih cena na veleprodajnom tržištu ili kada je pouzdanost sistema ugrožena". DR, promovišući interakciju i odzivnost korisnika, utiče na kratkoročne promene na tržištu električne energije, dovodeći do ekonomskih koristi za i korisnike i energetske kompanije. Pored toga, poboljšanjem pouzdanosti energetskog sistema i, na duži rok, smanjenjem maksimalne potražnje, smanjuje se ukupna potreba za investicijama u postrojenja i kapital te odlaže potreba za nadogradnjom mreže [15].

Strategije smanjenja opterećenja, kao što su smanjivanje osvetljenja i prilagođavanje klima uređaja, i pomeranje potrošnje energije kroz tehnike poput prethodnog hlađenja i premeštanje opterećenja u jeftinije vremenske periode, ključni su za programe odziva na potražnju (DR) u pametnim mrežama. Ovi programi mogu se upravljati direktno od strane komunalnih preduzeća ili preko posrednika, i uključuju napredne tehnologije kao što su automatsko zakazivanje preko pametnih merača, motivišući korisnike da optimizuju upotrebu i troškove energije kroz mehanizam cenovnika zasnovan na teoriji igara.

A. Potencijalni benefiti odgovora na potražnju u pametnim mrežama

Zavisno od cilja, dizajna i performansi, kao i od drugih faktora, upravljanje potrošnjom može ponuditi širok spektar potencijalnih koristi po pitanju rada kao i efikasnosti tržišta. Koristi upravljanja potrošnjom mogu se klasifikovati:

- **Uštede na računima učesnika:** novčane podsticaje koje kupac prima za pristanak na modifikaciju opterećenja kao odgovor na trenutne troškove

snabdevanja.

- **Uštede na računima za ostale kupce:** niže cene na veleprodajnom tržištu koje proizilaze iz korišćenja manje energije kada su cene visoke,
- **Koristi po pitanju pouzdanosti:** odnose se na koristi koje kupci dobijaju zbog smanjene verovatnoće da će biti prisilno ograničeni i da neće doći do obimnih nestašica.
- **Performanse tržišta:** upravljanje potrošnjom sprečava ostvarivanje monopola od strane proizvođača električne energije.

Ove koristi mogu se takođe kategorisati prema aktivnostima energetske sistema iz kojih proizilaze, kako je prikazano u Tabeli 1 i opisano u nastavku.

	Operation	Expansion	Market
Transmission and distribution	Relieve congestion manage contingencies, avoiding outages Reduce overall losses Facilitate technical operation	Defer investment in network reinforcement or increase long-term network reliability	
Generation	Reduce energy generation in peak times: reduce cost of energy and possibly emissions Facilitate balance of supply and demand (especially important with intermittent generation) Reduce operating reserves requirements or increase short-term reliability of supply	Avoid investment in peaking units Reduce capacity reserves requirements or increase long-term reliability of supply Allow more penetration of intermittent renewable sources	
Retailing			Reduce risk of imbalances Reduce price volatility New products, more consumer choice
Demand	Consumers more aware of cost and consumption, and even environmental impacts Give consumers options to maximize their utility: opportunity to reduce electricity bills or receive payments	Take investment decisions with greater awareness of consumption and cost	Increase demand elasticity

Tabela 1 – potencijalni benefiti Dra

B. Uticaj na market

Aktivno učešće potrošača na tržištu energije donosi brojne prednosti, poput smanjenja troškova premeštanjem potrošnje iz perioda visokih u periode nižih cena, te izravnavanja opterećenja, što smanjuje ukupne troškove proizvodnje električne energije. Ovi programi ublažavaju tržišnu moć proizvođača, poboljšavajući konkurenciju i stabilnost. Implementacija programa upravljanja potrošnjom (DR), vođenih tržišnim principima, omogućava potrošačima prilagođavanje potrošnje trenutnim cenama, što smanjuje veleprodajne cene i volatilnost. DR takođe podstiče tehnološke inovacije, omogućavajući efikasnije upravljanje rizicima i stvaranje pravednijeg tržišta.

C. Tehnologija za omogućavanje pametnih tehnologija kod DR

Dostupnost i napredak inovativnih tehnologija otvaraju brojne mogućnosti za unapređenje energetske sistema i donošenje društvenih koristi, znatno proširujući domete koji su do sada bili dostupni kroz postojeće programe upravljanja potrošnjom. Napretkom u oblasti integrisanih elektronskih kola,

kontrolnih sistema, kao i informacionih i komunikacionih tehnologija, došlo je do značajnog poboljšanja funkcionalnosti naprednih sistema merenja i tehnologija za upravljanje potrošnjom [17].

Ove tehnologije obuhvataju, ali nisu ograničene na [18]:

- Strategije smanjenja potrošnje optimizovane da zadovolje različite ciljne funkcije, kako u vezi sa cenom energije, tako i za slučajeve vanrednih događaja;
- Dvosmerni komunikacioni merilni uređaji koji omogućavaju korisnicima da na računima za komunalije vide stvarni obrazac potrošnje energije;
- Komunikacioni uređaji namenjeni za informisanje korisnika o akcijama smanjenja opterećenja;
- Alati za informacije o energiji koji omogućavaju pristup podacima o opterećenju u skoro realnom vremenu, ocenjivanje performansi smanjenja opterećenja u odnosu na osnovnu potrošnju i informisanje operatora objekata o potencijalnim opterećenjima koja treba uzeti u obzir za smanjenje;
- Kontroleri opterećenja i sistemi za upravljanje energijom zgrada za optimizaciju upravljanja potrošnjom, koji su takođe osmišljeni da omoguće automatizaciju strategija smanjenja opterećenja;
- Oprema za lokalnu proizvodnju energije korišćena bilo za hitne rezerve ili za zadovoljenje primarnih potreba objekta za energijom.

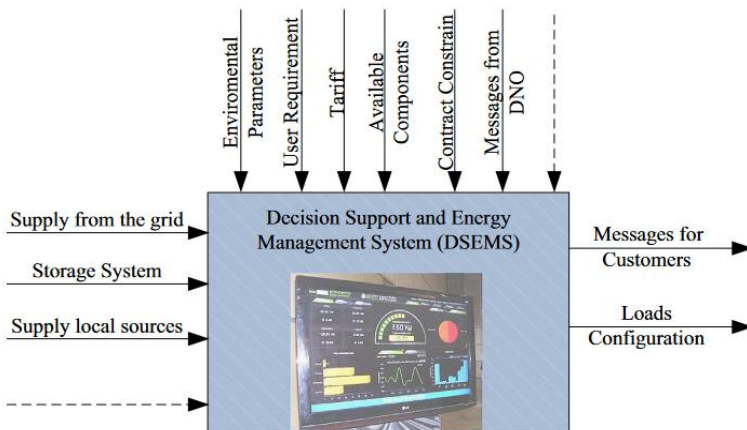
Inovacije u tehnologiji i upravljanju potrošnjom energije dovode do unapredjenja mogućnosti za optimizaciju energetske sistema. Ovo se dešava zbog povećane efikasnosti kroz dvosmernu komunikaciju, kao i naprednim sistemima merenja i automatizaciju. Istovremeno dolazi do mogućnosti pružanja ..korisnicima veće kontrole i informisanosti o svojoj potrošnji

D. Kontrolni uređaji za DR

Uređaji za kontrolu opterećenja mogu biti samostalni ili integrisani u sistem za upravljanje energijom (EMS) za velike objekte i obuhvataju tehnologije kao što su prekidači za kontrolu opterećenja i pametni termostati [17]. Prekidači za kontrolu opterećenja koriste se za daljinsko upravljanje specifičnim krajnjim opterećenjima, poput kompresora ili motora, oni su povezani sa komunalnim preduzećem putem komunikacionih sistema. Npr. pametni termostati se daljinski kontrolišu od strane komunalnog preduzeća ili korisnika i omogućavaju programiranje varijacija u podešavanjima temperature sa blažom kontrolom umesto korišćenja uređaja za uključivanje/isključivanje koji

troše mnogo više energije [18]. Neki modeli pametnih termostata sada mogu funkcionisati kao male verzije sistema za automatizaciju zgrada, jer deluju slično repitoru i pružaju signal pouzdanosti, cene i događaja drugim uređajima i opterećenjima.

Na primer inovativni sistem za podršku upravljanja energijom (DSEMS) on radi efikasne upotrebu energije u stambenom okruženju prima informacije o dostupnim energetske resursima, podatke od operatora distributivne mreže (DNO), od kupca ili one koje se odnose na parametre okoline. Komandni signali za upravljanje termičkim i električnim opterećenjima i poruke za krajnjeg korisnika čine njegove izlaze kako je prikazano na slici 4.



Slika 4 - sistem za odkucivanje i kontrolu energije\

E. Pametna brojila

Direktiva 2009/72/EC Evropske Unije zahteva od država članica da do 2020. godine implementiraju najmanje 80% (tj. oko 250 miliona) pametnih brojila na svojoj teritoriji, čime se podstiče uvođenje sistema pametnog merenja u Evropi. U većini slučajeva, instalacije pametnog merenja predvode operatori distributivnih sistema (DSO)/komunalna preduzeća i deo su širih projekata pametne mreže, obično u kombinaciji sa inovativnim sistemima automatizacije i kontrole na strani mreže ili sa programima upravljanja potrošnjom i energetske upravljanjem u pametnom domu.

Sistemi pametnih brojila sastoje se od elektronske kutije i komunikacijske veze. Pametno brojilo elektronski meri potrošnju korisnika, i moguće druge parametre, u određenom vremenskom intervalu i prenosi merenja preko komunikacijske mreže do komunalnog preduzeća ili drugog aktera odgovornog za merenje. Ove informacije mogu se deliti sa uređajima na kraju

upotrebe, informišući korisnike o njihovoj potrošnji energije i povezanim troškovima.

Za implementaciju dinamičkih tarifa i programa upravljanja potrošnjom, sve veći broj projekata testira instalaciju pametnih brojlara, kontrolera domaće energije, pametnih uređaja i displeja u domu. Pametna brojila su obično neophodna za programe odgovora na cene i velike komercijalne programe upravljanja potrošnjom, kako bi se merila i beležila potrošnja energije na intervalima od 15 do 60 minuta i obično postoje u okviru šire infrastrukture, često nazvane AMI, koja uključuje nove funkcionalnosti i napredne usluge.



F. Napredna infrastruktura za merenje

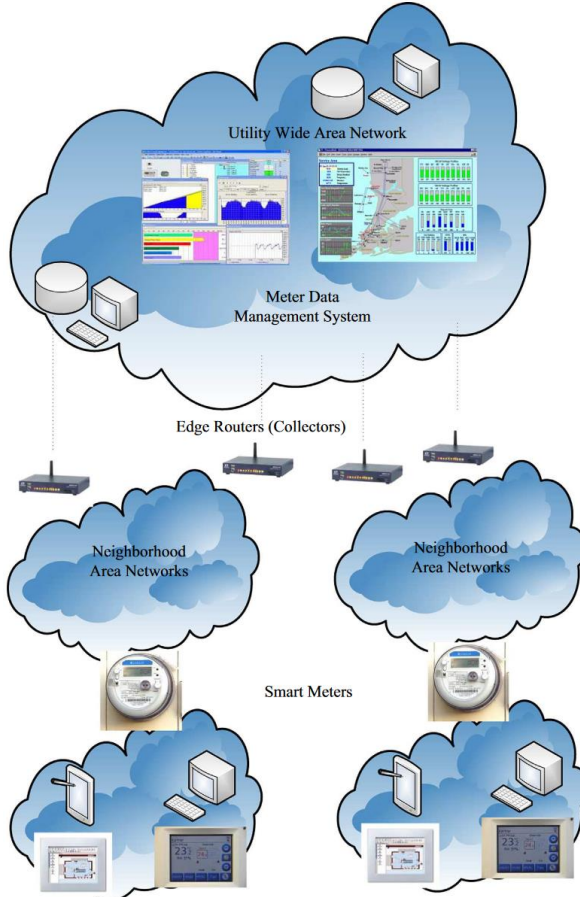
Napredna infrastruktura za merenje (AMI) (slika 10) razlikuje se od tradicionalnog automatizovanog očitavanja brojila (AMR) i automatskog upravljanja brojilima (AMM), pri čemu se ovi poslednji mogu smatrati podsistemima AMI zbog kompleksnosti komunikacione mreže i protokola. AMI mreža sastoji se od brojnih integrisanih tehnologija i aplikacija uključujući: pametna brojila, širokopojasne mreže (WAN), lokalne mreže (HAN), sisteme za upravljanje podacima brojila (MDMS), operativne pristupne tačke i sisteme za integraciju podataka u softverske platforme, kao i mreže lokalnih zajednica (NAN).

Razlika je da na nivou potrošača, pametna brojila komuniciraju podatke i korisniku i pružaocu usluga, dok lokalne mreže automatski prikupljaju podatke sa uređaja za merenje kao što su voda, gas, toplota, električna energija.

Mreže lokalnih zajednica koriste se za prikupljanje podataka brojila, koji se zatim prenose u centralnu bazu podataka i koriste u različite svrhe. Pružalac usluga (komunalno preduzeće) koristi sisteme koji prikupljaju i analiziraju zabeležene podatke kako bi optimizovali operacije rada i troškove energije. AMI podržava i automaciju mreže zahvaljujući dvostranoj komunikacionoj infrastrukturi, omogućavajući brz odgovor na prekide i kvalitetu energije.

Lokalna mreža (HAN) omogućava povezivanje pametnih brojila sa kontrolisanim električnim uređajima i implementaciju funkcija upravljanja

energijom korišćenjem uređaja kao što su programabilni komunikacioni termostati i drugi uređaji za kontrolu opterećenja, displeji u domu, električna vozila i uređaji za distribuiranu proizvodnju energije. Takođe može nuditi pametni interfejs prema tržištu i podržavati nadzor sigurnosti.



Slika 5 - napredna infrastruktura za merenje (AMI)

Sistem za upravljanje podacima brojila (MDMS) je baza podataka koja vrši validaciju, uređivanje i procenu podataka. Napredna infrastruktura za merenje da bi se osigurala, da su podaci tačni i potpuni. Opremljena je i analitičkim alatima koji omogućavaju saradnju sa drugim informacionim sistemima, zahvaljujući čemu AMI može podržavati napredne sisteme upravljanja kao što su: sistem upravljanja distribucijom sa naprednim

senzorima, napredne operacije distribucije i prenosa, napredno upravljanje isključenjima, operacije distribuiranih energetskih resursa (DER), automatizacija distribucije, geografski informacijski sistem distribucije, napredno upravljanje imovinom.

G. *Sistemi za upravljanje energijom (EMS)*

Sistemi za upravljanje energijom omogućavaju praćenje, analizu i kontrolu sistema i opreme zgrada pomoću niza senzora, prekidača, algoritama. Praćenje opterećenja i uređaja neophodno je za strategije kontrole opterećenja, verifikaciju odziva kontrole i razvoj te ažuriranje modela opterećenja. Određene strategije kontrole opterećenja, koje su generalno razvijene za stambene korisnike, mogu zahtevati sposobnost individualnog praćenja. U tim slučajevima, potrebno je postaviti odgovarajuću infrastrukturu unutar objekata krajnjih korisnika kako bi se informacije od pojedinačnih uređaja prenosile do kontrolnog centra.

EMS je u osnovi dizajniran da poboljša energetsku efikasnost zgrade štednjom energije i/ili smanjenjem vršnog opterećenja, međutim, može takođe obavljati funkcije automatizovanog upravljanja potrošnjom.

Ako se merenja koriste u kontrolnim petljama ili se posmatraju *online*, obično je potrebna vremenska rezolucija od oko 1 minute.

H. *Sistemi za informacije o energiji*

Sistemi za informacije o energiji (EIS) mogu funkcionisati kao portal za dvosmernu komunikaciju između komunalnog preduzeća i postojećih sistema za upravljanje energijom (EMS) ili mogu raditi nezavisno od EMS-a. Slično kao i EMS-ovi, objekti instaliraju EIS sisteme uglavnom radi informacija o energiji i upravljanja opterećenjem, a ne nužno za učešće u programima upravljanja potrošnjom (DR). Glavna svrha EIS sistema je prikupljanje podataka i pružanje informacija o performansama sistema krajnjim korisnicima i komunalnim preduzećima.

Međutim, ako su opremljeni sposobnošću automatizovanog odgovora, EIS sistemi takođe mogu pružiti mogućnosti obaveštavanja krajnjih korisnika. Ove dodatne sposobnosti, koje su uglavnom zasnivaju na praćenju i snimanju podataka o potrošnji energije u realnom vremenu za analizu operacija zgrade, analizu računa i izveštavanje, omogućavaju primanje upozorenja o događajima upravljanja potrošnjom ili pružaju sposobnost obaveštavanja i analize.

I. *Komunikacioni sistemi*

Komunikacioni sistemi su neophodni za implementaciju programa upravljanja potrošnjom (DR), se signali za tržište i vanredne situacije mogu prenositi preko infrastrukture za merenje kao i putem jednosmernih ili

dvosmernih komunikacionih sistema (telefon, radio, bežične *pageing* tehnologije, Internet, GSM itd.) između elektroprivrede i korisnika.

Jednosmerni komunikacioni uređaji su jednostavni i efikasni za obaveštavanje korisnika o DR događajima, dok dvosmerni uređaji omogućavaju precizniju verifikaciju uticaja DR, omogućavajući elektroprivredi da direktno meri smanjenje opterećenja korisnika u skoro realnom vremenu [17].

Dvosmerni komunikacioni uređaji, iako skuplji zbog većih početnih troškova, omogućavaju elektroprivredi da dobije potvrde od korisnika i, u slučaju pametnih brojlara, da automatski šalje podatke o odzivu opterećenja tokom događaja. Dvosmerna komunikaciona tehnologija je najprikladnija jer omogućava i praćenje dostupnosti objekata u trenutku DR događaja i identifikaciju nivoa raznovrsnosti opterećenja. Ova tehnologija omogućava preciznije praćenje i verifikaciju uticaja DR, jer elektroprivreda može direktno meriti učešće svakog korisnika u smanjenju opterećenja tokom događaja u gotovo realnom vremenu, što olakšava obračun računa ili isplate programa podsticaja.

J. Implementacija pružaoca usluga upravljanja potrošnjom

Za efikasnu i praktičnu implementaciju programa upravljanja potrošnjom (Demand Response Program - DRP), ključna je infrastruktura sistema za upravljanje energijom (Energy Management System - EMS) koja je integrirana unutar pametne mreže [18]. Kao što je ilustrovano na slici 7, ova infrastruktura obuhvata niz komponenti koje zajedno formiraju osnovu za efikasno upravljanje resursima i potrošnjom energije.

Centralne komponente ove infrastrukture uključuju:

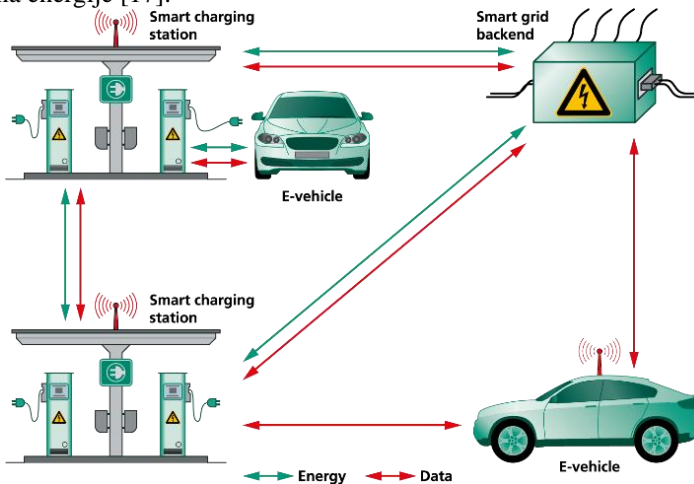
- **Sistem za upravljanje energijom i Program upravljanja potrošnjom:** Osigurava osnovu za praćenje, kontrolu i optimizaciju potrošnje energije unutar pametne mreže.
- **Sistem za nadzor, kontrolu i akviziciju podataka u realnom vremenu:** Omogućavaju prikupljanje i prenos podataka o potrošnji energije do sistema za upravljanje energijom [16].
- **Napredna infrastruktura za merenje :** Podržava neprekidnu komunikaciju između elektroprivrede, potrošača i kontrolisanih električnih opterećenja, omogućavajući precizno merenje i upravljanje potrošnjom [17].
- **Algoritmi za procenu stanja i Sistem za prognozu generacije i opterećenja :** Pružaju analitičku osnovu za donošenje odluka o optimalnom upravljanju resursima pametne mreže [16].

Komunikaciona infrastruktura, uključujući mreže za prikupljanje

podataka o merenju, kao što su mreže lokalnih zajednica (NANs), gde se mogu koristiti različite tehnologije poput bežičnih, ćelijskih i PLC tehnologija. Širokopoljasne mreže elektroprivrede (WANs) mogu biti bazirane na privatnim ili javnim Wi-Fi, T1, WiMAX, optičkim ili ćelijskim mrežama, obezbeđujući robustnu i pouzdanu infrastrukturu za upravljanje podacima i komunikaciju unutar pametne mreže.

K. Infrastruktura upravljanja potrošnjom za električna vozila

U kontekstu pametnog punjenja, električna vozila (EV) predstavljaju značajan element u programima upravljanja potrošnjom, omogućavajući elektroprivredama da optimizuju vreme i tarife punjenja [18]. Ova vozila ne samo da mogu funkcionišu kao potrošači energije, već i kao dobavljači ili skladišta energije, čime se doprinosi smanjenju vršnih opterećenja i poboljšanju kvaliteta napajanja, posebno u kombinaciji sa obnovljivim izvorima energije [17].



Slika 6 - Infrastruktura upravljanja potrošnjom za električna vozila

Za efikasno uključivanje EV u pametne mreže neophodna je infrastruktura za merenje (AMI), koja podržava dvosmernu komunikaciju između elektroprivrede i vozila. Ova tehnologija ključna je za realno praćenje potrošnje i omogućava korisnicima da prilagode svoje navike punjenja u cilju minimizacije troškova, dok elektroprivrede mogu efikasnije upravljati opterećenjem i pouzdanošću mreže.

Električna vozila, s obzirom na svoje dugotrajno vreme priključenosti na mrežu, idealni su i za pružanje pomoćnih usluga kao što je regulacija

frekvencije, dodatno doprinoseći stabilnosti i efikasnosti energetskog sistema. Integracija opreme za punjenje EV sa sistemima za automatizaciju distribucije ključna je za postizanje veće fleksibilnosti i pouzdanosti u upravljanju distribucijom električne energije, istovremeno podupirući elektroprivredu u optimizaciji rada pametne mreže [18].

V. ZAKLJUČAK

Upravljanje potrošnjom će imati ključnu ulogu u implementaciji pametnih mreža i doprineti poboljšanju efikasnosti sistema, njegovom širenju i tržišnoj efikasnosti. Može se koristiti za smanjenje ukupnog opterećenja kao odgovor na zabrinutost zbog vršnih snaga i za pružanje pomoćnih usluga za regulaciju frekvencije sa brzim vremenima odziva.

Iskustva iz industrijskih studija slučaja i istraživačkih projekata pokazala su da su za takve primene potrebni napredni programi upravljanja potrošnjom i inovativne tehnologije, kao što su pametna brojila, napredna infrastruktura za merenje, kontroleri domaće energije, sistemi za upravljanje energijom, te žičani i bežični komunikacioni sistemi, kako bi se podržala koordinacija upravljanja potrošnjom unutar pametnih mreža.

Integracija uređaja za skladištenje energije, distribuirane proizvodnje i obnovljivih izvora energije na licu mesta u automatizovane programe upravljanja potrošnjom uvodi dodatnu fleksibilnost i složenost, koju je potrebno upravljati pomoću inovativnih tehnologija i metoda.

Bitna istraživačka područja koja zahtevaju dodatnu pažnju uključuju procese merenja i obračuna, razvoj integrisanih elektronskih kola, sisteme optimizacije i kontrole, kao i tehnologije informacija i komunikacija. S obzirom na to da bi infrastruktura pametnog merenja i infrastruktura za punjenje trebalo da budu regulisani resursi javne koristi, potrebna su dodatna istraživanja koja će adresirati regulatorne i političke preporuke kako bi se osiguralo tehničko funkcionisanje i nediskriminatorni pristup za sve strane, kao i precizna pravila koja definišu uloge i odgovornosti svih učesnika, uz garantovanje pravedne raspodele troškova i koristi među svim zainteresovanim stranama.

VI. LITERATURA

- [1] P. Goldsborough, *Energy Systems: A Comprehensive Guide*, 2018.
- [2] J. H. Williams, A. DeBenedictis, R. Ghanadan, A. Mahone, J. Moore, W. R. Morrow, S. Price, and M. S. Torn, "The Technology Path to Deep Greenhouse Gas Emissions Cuts by 2050: The Pivotal Role of Electricity," *Science*, vol. 335, no. 6064, pp. 53–59, 2012.
- [3] R. Sims, R. Schock, A. Adegbulugbe, J. Fenhann, I. Konstantinaviciute, W. Moomaw, H. B. Rogner, K. Gallagher, and K.

- Bauer, Energy Supply. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 2007.
- [4] T. Johansson, H. Kelly, A. Reddy, and R. Williams, *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*, Island Press, 1993.
- [5] R. A. Frosch and N. E. Gallopoulos, "Strategies for Manufacturing," *Scientific American*, vol. 261, no. 3, pp. 144–152, 1989.
- [6] A. Schurr and S. Netschert, *Energy in the American Economy, 1850-1975: An Economic Study of its History and Prospects*, Johns Hopkins University Press, 1960.
- [7] G. Rothwell and T. Gomez, *Electricity Economics: Regulation and Deregulation*, IEEE Press, 2003.
- [8] A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the Future," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 7, no. 2, pp. 52–62, 2009.
- [9] M. Ilic, F. Galiana, and L. Fink, *Power Systems Restructuring: Engineering and Economics*, Springer, 1998.
- [10] H. Rudnick and J. Rivier, "Electricity Distribution Pricing," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 6, no. 3, pp. 66–73, 2008.
- [11] R. Pérez-Arriaga, *Regulation of the Power Sector*, Springer, 2013.
- [12] P. Siano, "Demand Response and Smart Grids—A Survey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 461–478, 2014.
- [13] S. F. Bush, *Smart Grid: Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid*, John Wiley & Sons, 2014.
- [14] Albadi and E. El-Saadany, "Demand Response in Electricity Markets: An Overview," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2007.
- [15] J. S. Vardakas, N. Zorba, and C. V. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 152–178, 2015.
- [16] Y. Wang, W. Wu, and B. Zhang, "A Review on Integrating Demand Response in Smart Grid," *Energy*, vol. 88, pp. 636–647, 2015.
- [17] C. W. Gellings, *Demand-Side Management: Concepts and Methods*, Fairmont Press, 1985.
- [18] A. H. Mohsenian-Rad, V. W. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, and A. Leon-Garcia, "Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 3, pp. 320–331, 2010.

- [19]D. Picault, Demand Response: A Solution to Manage Loads in the Smart Grid, 2020.
- [20]J. S. Vardakas, N. Zorba, and C. V. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms," *IEEE Communications Magazine*, 2014.

VII. ABSTRAKT

In today's world, electrical energy serves as the foundation of everyday life and industrial growth. With the emergence of modern technologies, traditional power grids have evolved into smart grids, designed to meet the growing demand for efficient and reliable energy sources. This paper explores the evolution of these grids, analyzes the current state of power grid infrastructure, and examines the challenges and opportunities presented by smart grids. In the digital age, where sustainability is key, smart grids play a crucial role in modernizing the energy sector, impacting both technological progress and socio-economic dynamics. A significant part of this modernization is Demand Response (DR), a strategy that enables consumers to adjust their electricity consumption during peak demand periods, offering both economic and environmental benefits.

Demand Response

LUKA JEREMIĆ, DR. MILOŠ RADENKOVIĆ