

# Informacijsko komunikacijske tehnologije za mjerenje, nadzor i kontrolu u elektroenergetskim sustavima

---

**Filjević, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:449998>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija**

**Informacijsko komunikacijske tehnologije za mjerenje,  
nadzor i kontrolu u elektroenergetskim sustavima**

**Završni rad**

**Filip Filjević**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Filip Filjević
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	4955, 27.07.2021.
<b>JMBAG:</b>	0165089067
<b>Mentor:</b>	doc. dr. sc. Denis Vranješ
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Informacijsko komunikacijske tehnologije za mjerenje, nadzor i kontrolu u elektroenergetskim sustavima
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)
<b>Zadatak završnog rada:</b>	Zadatak završnog rada je dati pregled i kratak opis informacijsko komunikacijskih tehnologija koje se koriste za mjerenje, nadzor i kontrolu u elektroenergetskim sustavima. Sumentor s FERIT-a: Mario Vranješ
<b>Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	17.09.2024.
<b>Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:</b>	25.09.2024.
<b>Ocjena završnog rada nakon obrane:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:</b>	30.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Filip Filjević
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4955, 27.07.2021.
Turnitin podudaranje [%]:	6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Informacijsko komunikacijske tehnologije za mjerenje, nadzor i kontrolu u elektroenergetskim sustavima**

izrađen pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Denis Vranješ

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAVI.....	2
2.1. Dijelovi elektroenergetskog sustava .....	2
2.1.1. Proizvodnja energije .....	3
2.1.2. Prijenos i distribucija energije .....	6
2.1.3. Potrošači .....	7
3. MJERENJE, KONTROLA I NADZOR U ELEKTROENERGETSKIM SUSTAVIMA .....	9
3.1. Pametna mreža .....	9
3.1.1. Senzori i pomoćni alati .....	10
3.2. Sustavi za daljinski nadzor .....	14
3.2.1. AMR .....	14
3.2.2. AMI .....	16
3.3. Sustavi za daljinsko upravljanje .....	17
3.3.1. SCADA.....	17
3.3.2. EMS .....	22
3.3.3. DERS .....	25
4. RAZVOJ TEHNOLOGIJE KROZ POVIJEST .....	28
4.1. Razvoj pametne mreže pomoću telekomunikacija u EES.....	29
4.1.1. Razvoj komunikacijskih protokola.....	30
4.1.2. Razvoj sustava za nadzor.....	31
4.1.3. Razvoj pametne mreže uz pomoć PLC.....	33
4.1.4. Umjetna inteligencija i analitika podataka .....	34
5. ZAKLJUČAK .....	35
LITERATURA .....	36
SAŽETAK .....	41
SUMMARY .....	42

# 1. UVOD

Elektroenergetski sustav – EES, je cjelina koja se sastoji od proizvodnog dijela i mreže za prijenos električne energije do potrošača. Dakle ključna postrojenja svakog EES su elektrane, mreža za prijenos energije skupa sa rasklopnim i transformacijskim postrojenjima čiji je zadatak pravilna raspodjela energije na vodove te krajnji potrošači. Ukratko rečeno EES omogućava opskrbu potrošača električnom energijom.

Proizvodnja električne energije odvija se u elektranama, a neke od najpoznatijih vrsta su hidroelektrane, vjetroelektrane, solarne elektrane te nuklearne elektrane. Način proizvodnje te prijenos i distribucija energije putem dalekovoda detaljnije su objašnjeni u drugom dijelu rada. Kako bi svaki segment EES funkcionirao u skladu sa zadanim normama, osim ljudskoga faktora ključne su i tehnologije koje nam pružaju dodatan uvid u stanje sustava te olakšavaju automatizaciju procesa. Neke od tehnologija koje se danas koriste su sustavi koji omogućavaju upravljanje iz udaljenih stanica za nadzor, poput automatskog očitavanja brojila (engl. *automatic meter reading – AMR*) i programska podrška za nadzor i upravljanje industrijskim procesima (engl. *supervisory control and data acquisition – SCADA*) koji pružaju detaljan uvid u podatke vezane uz stanje sustava. Za njihov pravilan rad su također bitni i razni senzori pomoću kojih sustavi dolaze do željenih podataka. Treće poglavlje rada pruža uvid u korištene tehnologije, pomoćne alate i senzore.

U posljednjem, četvrtom poglavlju rada objašnjen je razvoj elektroenergetskih sustava. Navedene su tehnologije koje su se koristile u samim počecima proizvodnje električne energije te je navedeno kako je razvitak tehnologije utjecao na sustave koji se danas koriste kako bi EES bili što sigurniji i efikasniji. Također je pojašnjeno kako će razvoj umjetne inteligencije (engl. *artificial intelligence – AI*) utjecati na nove generacije sustava za nadzor.

## 1.1. Zadatak završnog rada

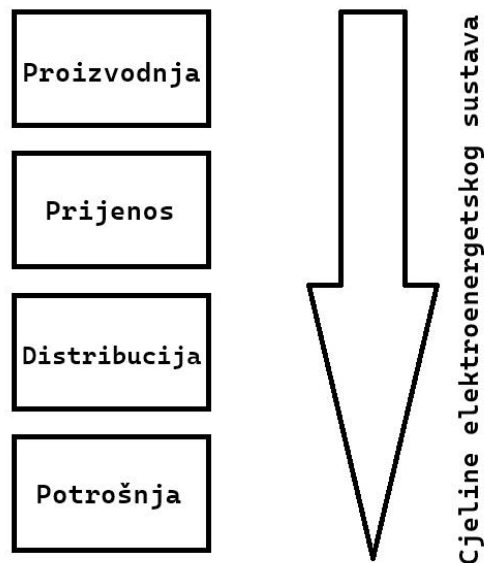
Zadatak ovog završnog rada je predstaviti sustave koji se koriste za nadzor, kontrolu i mjerenje u elektroenergetskim sustavima. Potrebno je opisati njihove glavne značajke i funkcionalnosti te se osvrnuti na njihove glavne dijelove. Bitno je navesti razlike i prednosti svakog pojedinog sustava te objasniti zašto se baš on koristi u pojedinim situacijama.

## 2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAVI

Elektroenergetski sustav predstavlja sustav za proizvodnju, raspodjelu, prijenos te za potrošnju električne energije određene države ili područja koje se napaja. Sustav se najčešće sastoji od elektrana, transformatora, električnih vodova, odnosno dalekovoda te od samih potrošača. Cilj je osigurati siguran i potpuno funkcionalan sustav kako bi se energija dovela do potrošača ovisno o njegovim potrošačkim potrebama [1].

### 2.1. Dijelovi elektroenergetskog sustava

Kako je ranije spomenuto neki od glavnih dijelova sustava su elektrane, transformatori te vodovi koji dovode energiju do krajnjih potrošača kojima je potrebna električna energija. Sustav se tako dijeli prema njegovim glavnim cjelinama, a to su redom: proizvodnja, prijenos, distribucija i potrošnja. Dijelovi sustava prikazani su na slici 2.1. [2].



Slika 2.1. Dijelovi elektroenergetskog sustava [2].

Elektroenergetske sustave proučava i prati grana znanosti poznata kao elektroenergetika. To je područje elektrotehnike čija je zadaća proučavati i pronaći napredne načine za proizvodnju, prijenos i korištenje električne energije. Kako bi proizvedena energija pronašla svoj put i zadovoljila potrebe

krajnjih korisnika, odnosno kako bi se otklonili potencijalni problemi nastali prilikom proizvodnje i distribucije električne energije brine se posebna grana elektroenergetike, zvana elektroprivreda [2].

### **2.1.1. Proizvodnja energije**

Kako je prethodno spomenuto, prvi dio elektroenergetskog sustava je proizvodnja energije koja se odvija u elektranama. Danas postoji više vrsta elektrana, a neke od najčešćih su: hidroelektrane – HE, termoelektrane – TE koje se dijele na TE koje koriste fosilna goriva i na nuklearne TE, vjetroelektrane, a uz njih sve češći izvor su i solarne elektrane. U ovome dijelu završnog rada promotriti će se načini proizvodnje električne energije i prednosti pojedine vrste elektrana.

#### **a) Hidroelektrane**

Prva vrsta elektrana koja će biti opisana su hidroelektrane. HE predstavljaju elektrane koje energiju vode iz riječnih tokova pretvaraju u električnu energiju. HE se sastoje od: komore, brane, strojarnice, zahvata, dovoda vode, tlačnog cjevovoda te odvoda vode [3].

Nadalje će se promotriti karakteristike hidroelektrana. Prvu karakteristiku hidroelektrana predstavljaju hidrološke karakteristike koje se odnose ponajviše na vodotok rijeke na kojoj će se potencijalno graditi hidroelektrana. Važno je proučiti sljedeće karakteristike rijeke: količina vode u vodotoku rijeke, flora i fauna prostora na kojemu se gradi te svi faktori koji na njih utječu. To mogu biti vremenski uvjeti i promjena na vodostaju kroz godinu. Vodostaj određuje količinu vode u vodotoku te se svakodnevno mijenja. Za pravilne procjene vodostaja najčešće se uzima četrdesetogodišnje razdoblje podataka godišnjih protoka. S obzirom da se grade hidroelektrane različitih protoka, koji može biti manji od maksimalnog, također se grade i akumulacijski bazeni u kojima se skladišti višak vode u vrijeme kada je vodostaj velik te se taj višak iskorištava za vrijeme suše, prilikom niskog vodostaja. Uz pomoć ovih podataka moguće je odrediti kolika je potencijalna energija vodotoka [3].

Sljedeće bitne karakteristike HE su akumulaciju i pad. Svaka elektrana ima svoje akumulacijsko jezero koje može uskladištiti određenu količinu vode. Karakteristike jezera su volumen, vrijeme pražnjenja i energetska vrijednost bazena. Volumen bazena odnosi se na ukupnu količinu vode koja se može uskladištiti u bazenu, a s obzirom da nije moguće iskoristiti cijeli volumen razlikuje se ukupni od korisnog volumena vode. Vrijeme pražnjenja bazena odnosi se na vrijeme koje je potrebno kako bi bez dotoka, korisni volumen vode protekao kroz turbine. S obzirom na vrijeme



pražnjenja razlikuju se sljedeće elektrane: protočne HE, HE sa dnevnom akumulacijom i HE sa sezonskom akumulacijom. Glavna razlika je u načinu iskorištavanja dostupne vode. U protočnim elektranama energija vode se iskorištava na način da se za proizvodnju električne energije iskoristi samo dostupan protok. S druge strane, u akumulacijskim HE grade se bazeni u kojima se skladišti višak vode te kasnije iskorištava. Posljednja karakteristika, energetska vrijednost bazena odražava se na količinu energije koju sadržava ova količina vode. Dakle akumulacijski bazeni važni su kako bi se osigurao kontinuiran rad HE čak i prilikom sušnih razdoblja u godini, ali i zbog promjena u opterećenju do kojih dolazi zbog neradnih dana, radova na održavanju i slično. Osim akumulacijskih jezera važan faktor je i pad, a razlikuje se statički te ukupni bruto-pad HE. Statički se pad definira kao razlika između gornje razine dotoka i donje razine odvoda. Ukupni je pad jednak sumi statičkog pada i kinetičke energije ulazne mase vode smanjen za količinu kinetičke energije odvoda HE [3].

## **b) Termoelektrane**

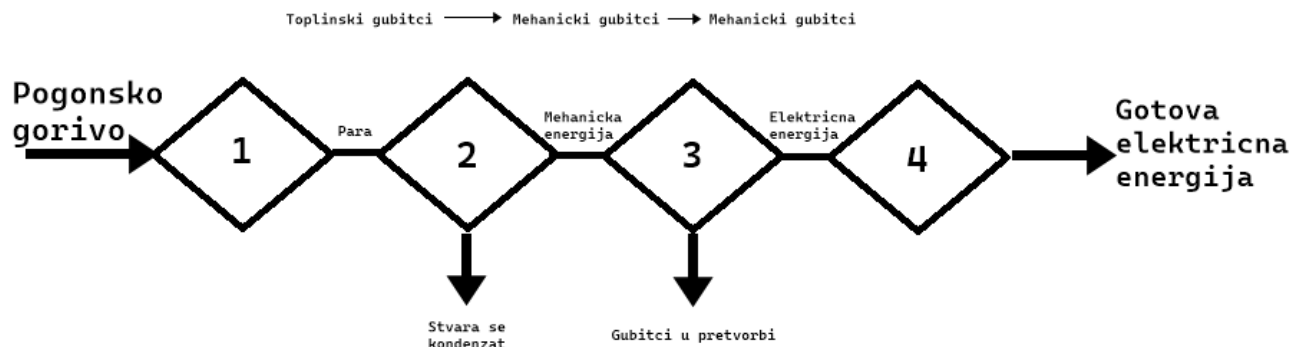
Druga vrsta elektrana koje vrijedi spomenuti su termoelektrane. TE su jedna od najčešćih vrsta elektrana, a postoji par tipova koji se razlikuju prema vrsti goriva i pogonu koji se koristi u svakoj pojedinoj TE:

- Parne TE (kruta, tekuća, plinovita i nuklearna goriva)
- Plinske TE (tekuća i plinovita goriva)
- Dizel-elektrane (tekuća goriva)

Parne TE predstavljaju elektrane u kojima se danas proizvodi najveći postotak električne energije [3].

### **• Parne elektrane**

Parne TE su jedan od najvećih proizvođača električne energije, a proizvodnja se temelji na blokovima. Blok predstavlja osnovnu proizvodnu jedinicu, a sastoji se od više uređaja čija je zadaća obavljanje procesa potrebnih kako bi se energijom goriva dobila električna energija. Svaki pogon ima svoj blok, a on se sastoji od izmjenjivača topline, kondenzacijske turbine, transformatorskog postrojenja i električnog generatora. Proces proizvodnje električne energije u parnoj termoelektrani prikazan je na slici 2.2. [3].



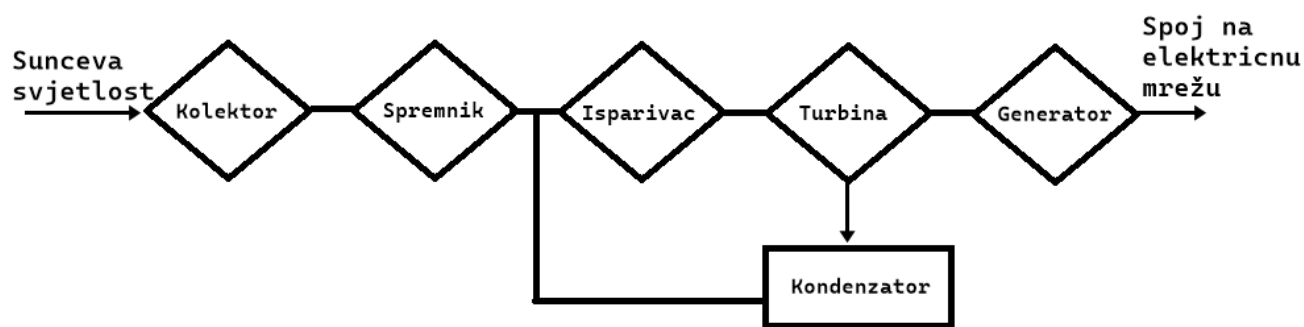
**Slika 2.2.** *Proces proizvodnje električne energije u termoelektrani [3].*

S obzirom da je fokus rada na tehnologijama koje se koriste za kontrolu, mjerenje i nadzor u EES, neće se ulaziti u dubinu samog procesa proizvodnje, već se umjesto toga fokus stavlja na uređaje koji se koriste za upravljanje izmjenjivačem topline. Razni instrumenti koriste se kako bi se osigurao ispravan rad izmjenjivača topline, odnosno potrebno je održavanje tlaka u ložištu, održavanje temperature, ispravna i sigurna opskrba vodom i slično. Neki od uređaja su: tlakomjeri, toplomjeri, skala vodostaja, razni ventili te instrumenti za regulaciju i automatiku [3]. Same informacijsko komunikacijske tehnologije i uređaji biti će detaljnije pojašnjeni kasnije u radu.

### c) **Vjetroelektrane i solarna energija**

Sve češći oblik proizvodnje energije u svijetu je proizvodnja iz obnovljivih izvora. Najčešće se grade vjetroelektrane i solarne elektrane. Najveći problem ovakvih elektrana je njihova niska efikasnost, odnosno iskoristivost te što proizvodnja uvelike ovisi o vremenskim prilikama [3].

Dva su načina na koji se sunčeva energija pretvara u električnu. Prvi način, fotonaponska pretvorba, koristi se solarnim ćelijama, na čijim se krajevima iz energije sunčevog zračenja proizvodi napon. Drugi način su solarne elektrane. Postupak pretvorbe sunčeve u električnu energiju u solarnim elektranama je malo složeniji od fotonaponske pretvorbe, a postupak je prikazan na slici 2.3. [3].



**Slika 2.3.** Postupak proizvodnje električne energije u solarnim elektranama [3].

U odnosu na fotonaponske ćelije, solarne elektrane su postrojenja koja se sastoje od kolektora, na kojima se solarna energija pretvara u toplinsku. Potom se ona iskorištava za pokretanje turbine koja toplinsku energiju pretvara u mehaničku te se preko generatora mehanička energija pretvara u električnu energiju [3].

Vjetroelektrane, kao i solarne elektrane pripadaju vrsti elektrana koje električnu energiju proizvode iz obnovljivih izvora energije. U prošlosti se vjetar često koristio kao izvor energije, a tek u 20. stoljeću se počinje koristiti u svrhu proizvodnje električne energije. Iako vjetar ima veliku vrijednost pogotovo zbog činjenice da je obnovljiv izvor, često je osporavana ideja da se koristi u proizvodnji električne energije zbog niske iskoristivosti. Naime, iskoristivost iznosi tek oko 60% raspoložive snage vjetra, u idealnim uvjetima. Vjetroelektrane se sastoje od nekolicine vjetroturbina postavljenih na stupove, a mogu biti postavljene okomito na smjer vjetra ili u smjeru vjetra. Potrebnu visinu stupova definira promjer rotora turbine i potrebna snaga [3].

### **2.1.2. Prijenos i distribucija energije**

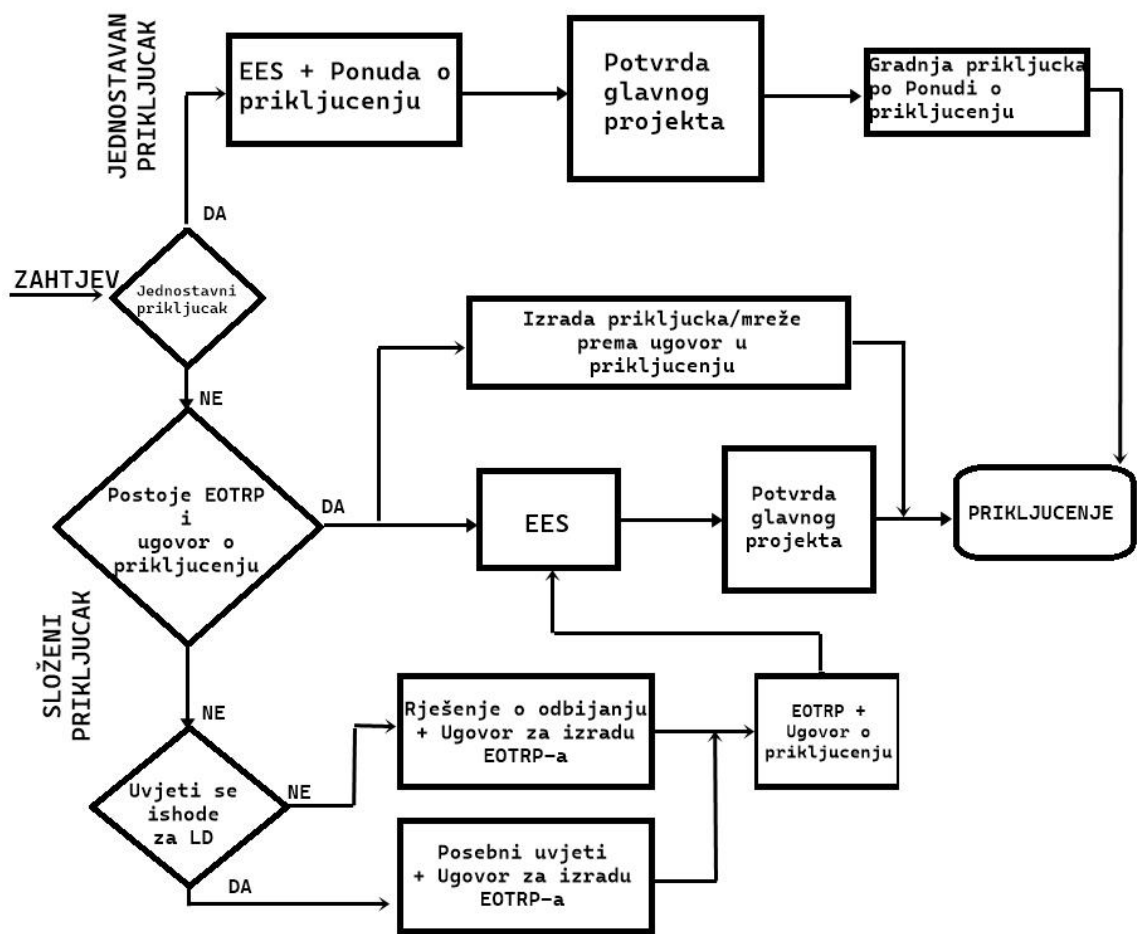
Druga i treća cjelina elektroenergetskih sustava odnosi se na prijenos te distribuciju energije. Prijenos energije vrši se putem razvodnih postrojenja, a zadaća vodova je dovesti potrebnu količinu energije do krajnjih korisnika. Način prijenosa energije od elektrane do korisnika:

- Korisnik se priključuje direktno, na vlastiti izvor
- Prijenos energije od izvora do potrošača putem mreže na koju su spojeni svi korisnici.

Za optimalan prijenos energije do korisnika najčešće se odabire druga opcija zbog njene veće pouzdanosti. Kako bi električna energija došla do svih korisnika, vodovi moraju pokriti veliko područje. Zbog svoje veličine, svaka mreža mora imati svoje čvorove i grane. Čvorovi mreže moraju uvijek biti dostupni kako bi se na njih mogao spojiti izvor ili trošilo, a svaki čvor ima svoje razvodno postrojenje. Razvodna postrojenja postavljaju se u elektranama, na području kroz koje se prostire mreža ili u blizini velikih potrošača. Oni imaju ključnu ulogu u osiguravanju normalnog rada EES, a služe za raspodjelu proizvedene energije na vodove. Bez razvodnih postrojenja ne bi bilo moguće povezivanje trošila na mrežu i međusobno spajanje pojedinih dijelova mreže. Postrojenja se mogu podijeliti na rasklopna i transformatorska. Rasklopno se postrojenje nalazi direktno u samom čvoru vodova pri čemu moraju biti jednakog napona (u ovom se postrojenju ne provodi transformacija). Glavna zadaća rasklopnog postrojenja je pravilna raspodjela električne energije na mrežne vodove. Osim raspodjele, rasklopna postrojenja predstavljaju dio u mreži gdje se izvori ili potrošači mogu uključiti ili isključiti iz mreže. Glavna razlika između rasklopnih i transformatorskih postrojenja je što transformatorska postrojenja spajaju dva čvora koji su međusobno na različitom naponu, a transformacija se vrši transformatorima [4].

### **2.1.3. Potrošači**

Posljednja cjelina EES odnosi se na potrošače, odnosno korisnike koji se spajaju na mrežu. Postupak spajanja na mrežu u Republici Hrvatskoj obavlja Hrvatska Elektroprivreda - HEP, a vrste priključaka su jednostavni i složeni. Kako bi se korisnik priključio na mrežu mora ispuniti određene uvjete, a postupak podnošenja zahtjeva za priključenje prikazan je na slici 2.4. Iz slike je vidljivo da je za priključenje potrebno prvo podnijeti zahtjev. Nakon podnošenja zahtjeva utvrđuje se je li korisniku potreban jednostavan ili složeni priključak. Glavna razlika između priključaka je što se jednostavnim priključkom izvršava spajanje na mrežu niskog napona, dok se složenim priključkom izvršava spajanje na srednje-naponsku mrežu. Složeno priključenje se koristi i u slučaju da nisu riješeni imovinsko-pravni odnosi između stranki koje su vlasnici objekta. Složeno se priključenje sastoji od nešto više koraka nego jednostavno. Kod jednostavnog rješenja se nakon potvrde elektroenergetske suglasnosti – EES i potvrde projekta odmah prelazi na gradnju i spajanje na priključak. Ukoliko se provodi složeno priključenje potrebno je zatražiti dodatni elaborat za optimalno tehničko rješenje priključka – EOTRP. Uz to je potrebno uvrstiti i dodatne dokumente poput zahtjeva za početak korištenja mreže, što nije potrebno ukoliko se radi o jednostavnom priključku [5].



Slika 2.4. Proces priključenja na mrežu [5].

### **3. MJERENJE, KONTROLA I NADZOR U ELEKTROENERGETSKIM SUSTAVIMA**

U prvom dijelu završnoga rada pojašnjeno je što je elektroenergetski sustav i koji su njegovi dijelovi, odnosno način na koji se energija proizvodi i dovodi do korisnika. U drugome dijelu završnoga rada biti će opisane tehnologije koje služe za nadzor i mjerenje u velikim EES, manjim poduzećima te distribuiranim elektranama. Kako tehnologija napreduje iz dana u dan, potrebe za električnom energijom sve su veće. Danas je gotovo nezamislivo da postoji područje koje nema pristup električnoj energiji, a samim time nije pokriveno distribucijskom mrežom. Prema podacima iz 2021. godine, oko 91% svijeta ima pristup električnoj energiji. Ako se uzme u obzir navedeni podatak jasno je da je sustav za opskrbu električnom energijom jako kompleksan i potrebna je redovita kontrola i nadziranje rada kako bi se otklonile eventualne pogreške ili kvarovi nastali u sustavu. Osim malih potrošača, poput obitelji, postoje i veliki potrošači, odnosno tvrtke za čije je poslovanje ključna pouzdanost i kvaliteta električne energije kako bi se proizvodnja odvijala u najboljem redu.

#### **3.1. Pametna mreža**

Pametna mreža (engl. *smart grid*), predstavlja oblik električne mreže, koji se počeo razvijati početkom 21. stoljeća. Glavni cilj mu je osigurati što efikasniju proizvodnju i distribuciju električne energije, provesti automatizaciju i povećati sigurnost u elektroenergetskim sustavima koristeći se modernim tehnologijama. Uz pomoć tehnologije omogućuje se komunikacija između izvora, odnosno elektrana te korisnika. Automatizacija procesa unutar mreže omogućava bolje praćenje stanja mreže. Automatizacija osigurava mogućnost ispravljanja pogrešaka raznim prethodno definiranim procesima te slanje sigurnosnih upozorenja vezanih uz probleme otkrivene analizom višednevnih podataka koje operater nije zamijetio. Sustavi za nadzor pružaju dodatnu zaštitu u radu elektroenergetske mreže i smanjuju mogućnost ispada sustava. Prijenos energije kroz elektroenergetski sustav odvija se putem vodova koji se protežu cijelim kontinentom. Ispad sustava na jednom dijelu mreže može ostaviti cijelo jedno područje bez električne energije, što može biti problem za razna industrijska postrojenja, bolnice (ukoliko nisu opremljene generatorima u slučaju ispada mreže) te mogu ostaviti korisnike bez električne energije potrebne za grijanje tijekom zimskih dana. Pametne mreže mogu svojim procesima detektirati i zaustaviti ovakve ispadе ili zabilježiti lokaciju problema kako bi stručno osoblje moglo pravovremeno reagirati te spriječiti ili sanirati štetu [6][7].

Pametna mreža predstavlja koncept čiji je glavni cilj povećati sigurnost i provesti optimizaciju mreže, a za to su potrebni sustavi koji omogućavaju uspostavljanje kontrole i nadzora nad elektroenergetskim sustavima kao što su SCADA, sustav upravljanja energijom (engl. *electrical management system - EMS*), napredna mjerna infrastruktura (engl. *advanced metering infrastructure - AMI*), ali je jednako bitna i pomoćna tehnologija poput geografskog informacijskog sustava (engl. *geographic information system – GIS*) i dodatna oprema poput raznih vrsta senzora. Njihova svrha biti će detaljno objašnjena u sljedećem poglavlju.

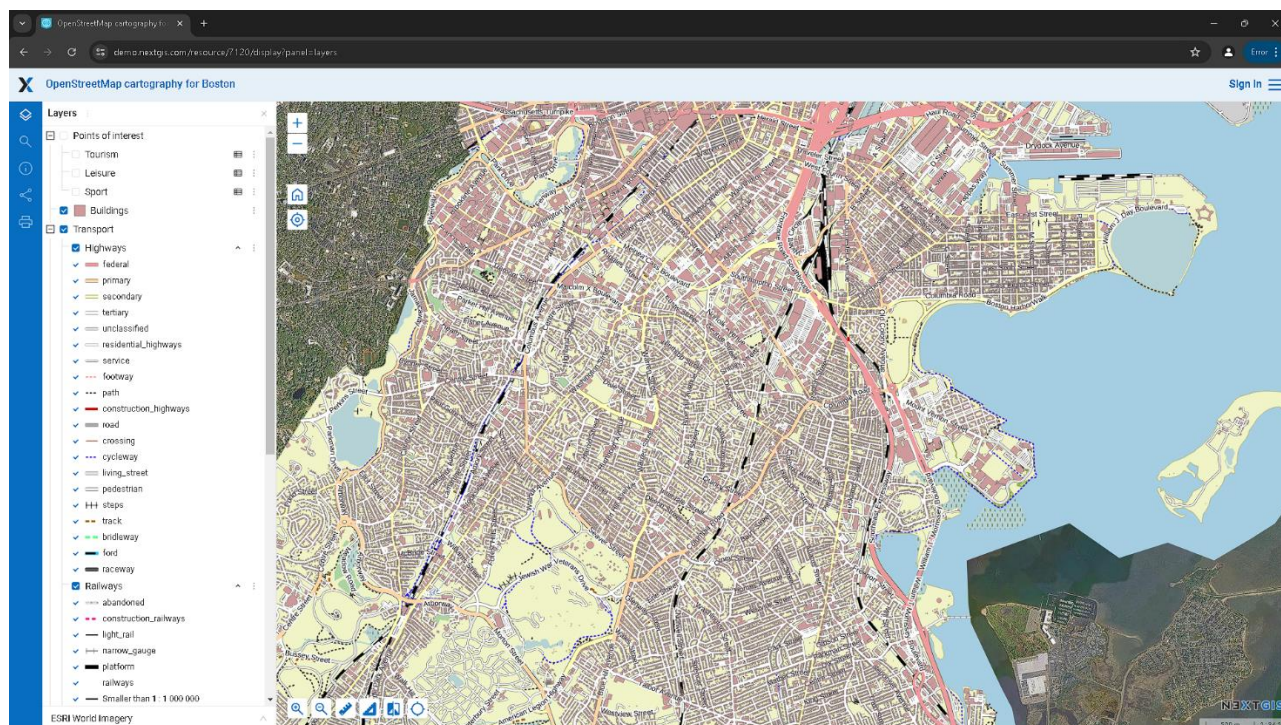
### **3.1.1. Senzori i pomoćni alati**

Kako bi sustavi za nadzor ispravno funkcionirali potrebni su im precizni podaci o radu opskrbe mreže. Za prikupljanje podataka potrebnih za rad nadzornih sustava koriste se razni senzori. Preciznost senzora utječe na kvalitetu sustava za nadzor. Osim dodatne opreme koristi se i pomoćna tehnologija kao što je GIS. Njihova zadaća biti će detaljnije objašnjena u ovome dijelu rada.

#### **a) Geografski informacijski sustav**

Jedan od najpoznatijih sustava čiji se rad temelji na prikupljanju podataka vezanih uz lokacije i geografska područja je Globalni položajni sustav (engl. *global positioning system – GPS*). Ovaj sustav se sastoji od tri glavne komponente. Prva komponenta sustava su razni sateliti koji se nalaze u Zemljinoj orbiti. Najčešće se nalaze na otprilike 19 000 kilometara od Zemlje te na prijamnike diljem planeta Zemlje odašilju podatke pomoću kojih se može precizno odrediti geografska pozicija na kojoj se u tome trenutku nalazite. Geografska lokacija određuje se na temelju podataka prikupljenih sa barem 3 satelita. Prijamnici ujedno predstavljaju i drugu komponentu sustava. Treći, odnosno posljednji dio sustava su krajnji uređaji koji korisnicima omogućavaju uporabu GPS sustava u razne svrhe. Suvremeni uređaji omogućili su razvitak aplikacija poput automobilske navigacije, Google karte, a koriste se i u raznim aplikacijama za praćenje zdravlja kako bi se odredila dnevna aktivnost i rute kretanja. GIS predstavlja sustav unutar kojega su sadržane informacije i podaci vezani za pojedine lokacije u svijetu. Sustav sadrži vrlo detaljne zapise sa informacijama vezanima uz naseljenu populaciju te reljef i klimu određenog područja. Osim geografskih podataka o samoj zemljinoj površini opisana je i infrastruktura, ceste te su upisani dalekovodi. GIS podržava puno više funkcija, sadrži puno više podataka i detalja što ga u odnosu na GPS čini pogodnijim za korištenje u znanosti i kao osnovu za razvijanje drugih, složenijih sustava [8][9].

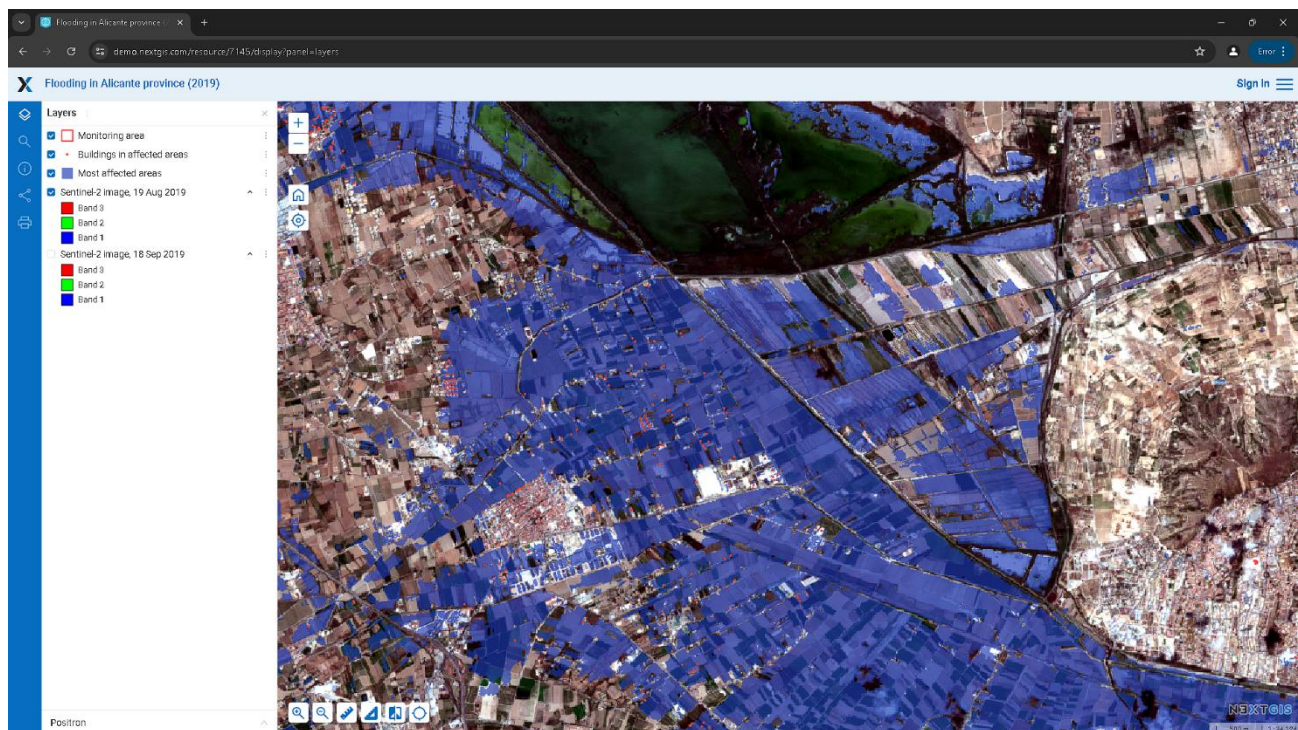
GIS, kao i GPS ima svoju primjenu u mobilnim uređajima (pametni telefoni, tableti i slično), ali za iskorištavanje svih njegovih funkcija koristi se osobno računalo te pripadna aplikacija pomoću koje se na osnovu postojećih mapa mogu kreirati i planirati vlastiti projekti. Analizom i usporedbom prethodno poznatih podataka lakše se određuju lokacije za gradnju, definiraju se potencijalne smetnje te sama pristupačnost nekom području. Povezanost ovoga sustava sa poslužiteljem, omogućuje prijenos projekta na zajedničku bazu, što olakšava projektiranje ukoliko je uključeno više tvrtki čija su sjedišta relativno udaljena. GIS sustav se u EES primarno može primijeniti u sklopu elektroenergetskih sustava. U radu je prethodno spomenuta veličina distribucijske mreže, njena kompleksnost te težnja ka razvijanju pametne mreže. Danas se u pametnim mrežama koriste alati poput SCADA-e, koji u kombinaciji sa naprednim mjernim uređajima, sensorima i AMI pružaju veliku razinu kontrole. GIS ima velik utjecaj na ostvarivanje veće razine autonomnosti i daljnji napredak pametnih mreža. GIS je temelj u određivanju najbolje lokacije za proširenje infrastrukture, izgradnju trafostanica te gradnju dalekovoda te iako je samo pomoćni alat vrlo je koristan za razvoj EES. Svi podaci zapisuju se u bazu podataka i spremaju na podatkovni poslužitelj. Slika 3.1. prikazuje grad Boston. Na karti je osim infrastrukture, stambenih objekata i vodenih površina ucrtana i željeznička mreža te prometnice.



**Slika 3.1.** Pregled grada Bostona na karti kreiranoj pomoću GIS web aplikacije.



Slika 3.2. prikazuje kartu sa poplavljenim područjem španjolske pokrajine Valencije. Vidljiva je mogućnost aplikacije da se osim podataka vezanih uz infrastrukturu na model prenesu i utjecaji vremenskih nepogoda i ekoloških katastrofa. Karte prikazane na slikama pripadaju prethodno definiranim testnim kartama koje su kreirane uz pomoć *web* aplikacije *NextGIS*, a postoje i *desktop* verzije GIS aplikacija koje pružaju puno više funkcija i značajki, ali su i kompliciranije za korištenje [10][11].



*Slika 3.2. Poplavljeno područje prikazano na karti koja je kreirana pomoću GIS web aplikacije.*

## **b) Senzori za nadzor stanja opreme**

Uporaba sustava poput SCADA-e i AMI ne bi bila moguća bez raznih vrsta senzora koji su međusobno povezani. Senzori očitavaju podatke te ih šalju do SCADA sustava gdje se spremaju u baze podataka i dalje obrađuju. Prilikom obrade podataka detektiraju se promjene, otkrivaju potencijalni problemi te se šalju poruke upozorenja. Senzori se ne povezuju direktno na radnu stanicu, već su povezani na sabirnicu koja je povezana na upravljački uređaj. Upravljački uređaj prikuplja podatke koji su bitni za rad sustava te ih zatim prosljeđuje na radnu stanicu kako bi se dalje analizirali

[12]. Operacije koje se koriste prilikom slanja podataka i način komunikacije između upravljačkog uređaja i radne stanice biti će objašnjeni kasnije u radu.

- **Termoelement i otporni termometar (engl. *resistance temperature detectors – RTD*)**

Alessandro Volta je 1794. godine otkrio pojavu gdje se na krajevima spoja 2 različita metala pri promjeni temperature stvaraju naponi. Ovu teoriju upotpunio je Johann Seebeck 1821. godine, a prema njegovim istraživanjima utvrđen je i Seebeckov koeficijent kojim se utvrđuje kako se mijenja razina generiranog napona s promjenom temperature za različite materijale. Termoelement je vrsta senzora koja se koristi za mjerenje temperature. Neke od njegovih prednosti su preciznost, širok raspon vrijednosti koje se mogu mjeriti i niske cijene. Imaju široku primjenu i danas se koriste u gotovo svakom području industrije od proizvodnje električne energije, preko medicine sve do vojne industrije. Postoji više tipova termoelemenata, a podijeljeni su u dvije osnovne skupine: termoelement čija se građa temelji na osnovnim metalima i termoelement koji se temelji na plemenitim metalima. Vrstu termoelementa definira raspon temperatura koje se njime mjere. Ova vrsta temperaturnih senzora može izmjeriti temperature i do 1700°C, a u elektranama se koriste kako bi se detektiralo pregrijavanje komponente ili pogona [13].

RTD senzori također spadaju u senzore za mjerenje temperature. Princip rada temelji se na promjeni otpora s temperaturom. Otpor RTD senzora povećava se linearno kako se temperatura povećava. Primjena im je slična kao i ona termoelementa. Termoelement je izdržljivija, robusnija vrsta senzora. Može podnijeti veće temperature i otporniji je na vibracije i udarce. RTD senzori su krhki i osjetljivi pri većim temperaturama te nisu prikladni za korištenje na mjestima poput parnog generatora, ali njihova prednost je što pružaju veću stabilnost i preciznost na umjerenim temperaturama te brzina mjerenja [13][14].

- **Hallovi senzori**

Hallovi senzori se koriste za mjerenje jakosti magnetskog polja. Temelje se na Hallovu efektu, principu kojega je otkrio fizičar Edwin Hall, a koji govori kako magnetsko polje okomito na smjer kretanja električne struje stvara napon proporcionalan jakosti magnetskog polja. Imaju široku primjenu u automobilskoj i medicinskoj industriji. Magnetski senzori također imaju široku primjenu u elektroenergetskim sustavima. Analogni Hallovi senzori primarno se koriste kako bi se pratio protok energije u elektrani [15].

- **Strujni i naponski transformatori**

Iako transformatori ne spadaju u uobičajenu vrstu senzora, imaju velik utjecaj u nadzoru EES jer se često koriste kako bi se inače velike vrijednosti struje i napona spustile na razinu sigurnu za mjerenje i provođenje kontrole sustava. Strujni transformatori koriste se kako bi se vrijednost struje na izlazu (sekundaru), smanjila ili povećala  $N$  puta u odnosu na struju primara transformatora. Omjer koji definira koliko puta će se promijeniti vrijednost struje naziva se prijenosni omjer transformatora, a računa se najčešće kao omjer  $N_1$  i  $N_2$ , gdje je  $N_1$  broj zavoja primara, a  $N_2$  broj zavoja sekundara. Naponski transformatori funkcioniraju na istom principu, u cilju smanjenja ili povećanja vrijednosti napona. Sam transformator sastoji se od tri osnovna elementa: željezna jezgra te namoti u vidu primara i sekundara. Primjena transformatora je široka, od one u dalekovodima, do uporabe u raznim adapterima za uređaje koji pretvaraju vrijednost napona gradske mreže u onu potrebnu za napajanje uređaja [16].

- **Ostale vrste senzora**

Osim prethodno navedenih senzora, postoje još neke vrste senzora koje se koriste u EES, a to su: senzori za djelomična pražnjenja (engl. *partial discharge sensors*), piezoelektrični senzori za vibracije, senzori vlage (engl. *humidity sensors*), senzori za otkrivanje plinova (engl. *gas sensors*), optički senzori, kapacitivni senzori, induktivni senzori, senzori pritiska (engl. *pressure sensors*), pretvarač pomaka (engl. *linear variable differential transformer – LVDT*).

## **3.2. Sustavi za daljinski nadzor**

Sustavi za daljinski nadzor su često korišteni u EES. Koriste se razni uređaji čija je zadaća mjerenje i prikupljanje podataka te njihova obrada u svrhu analize kvalitete mreže. Centri za nadzor sastoje se od računalnog sustava za kontrolu objekta te od sustava za komunikaciju sa kontrolnom točkom, odnosno za povezivanje s objektom na kojemu se izvršava mjerenje. Neki od sustava koji se koriste su AMI i AMR sustav, koji su strukturom vrlo slični, a njihove razlike navedene su kasnije u radu.

### **3.2.1. AMR**

AMR spada u kategoriju sustava koji se koriste za daljinsko nadziranje podataka ključnih za rad sustava te daljnje analiziranje njegovih performansi. AMR tehnologija koristi se u EES, ali i za

očitanje podataka u opskrbi vodom, plinom i slično. Infrastruktura, odnosno tehnička oprema korištena za ovakve sustave obično je relativno jednostavna. Sustav možemo podijeliti na 2 ključna elementa: glavna stanica i udaljena stanica. Ovakvi sustavi najčešće koriste pametna brojila na strani korisnika te tako omogućavaju daljinsko praćenje potrošnje električne energije, vode, plina i slično [17].

Glavna stanica ovog sustava zapravo predstavlja kontrolnu sobu. Ona je najčešće opremljena računalom putem kojega osoba upravlja aplikacijom. Tu se još nalaze i poslužitelji te oprema za komunikaciju i povezivanje na internet. Udaljena stanica, sastoji se od senzora i upravljačkih jedinica. Dakle, njihova je svrha na udaljenoj lokaciji prikupljati podatke te ih odašiljati na glavnu stanicu gdje se oni dalje obrađuju [17]. Kao što je prethodno spomenuto, glavna stanica predstavlja kontrolnu sobu, a među glavnu opremu spadaju:

- **Računalo/radna stanica:** omogućava upravljanje podacima prikupljenim od strane AMR pomoću pripadne aplikacije. Pruža mogućnosti poput nadzora i prikaza stanja opreme i senzora, a moguće je postavljane alarma u slučaju kvara ili greške.
- **Poslužitelj (engl. *server*):** za pohranu podataka se koriste poslužitelji. Na njih se spremaju zapisi koji sadrže vrijeme događaja, mjerene podatke, opis događaja te dodatni podaci ukoliko je došlo do aktivacije alarma.
- **Mrežna oprema:** u ovu opremu spadaju uređaji poput usmjerivača, preklopnika, kabela za povezivanje i slično. Pomoću njih se spajamo na internetsku vezu koja je potrebna za prijenos podataka na poslužitelj.

Oprema korištena u udaljenoj stanici je:

- **Mrežna oprema:** u ovu opremu spadaju uređaji poput usmjerivača, preklopnika, kabela za povezivanje i slično. Pomoću njih se spajamo na internetsku vezu koja je potrebna za prijenos podataka na poslužitelj.
- **Programabilni logički kontroler** (engl. *programmable logic controller – PLC*) je industrijsko računalo koje ima svoju memoriju te nam pruža mogućnost spajanja ulazno-izlaznih komponenti poput senzora.
- **Koncentrator podataka** (engl. *data concentrator unit – DCU*) se koristi za prikupljanje podataka sa pametnih brojila te komunikaciju sa ostatkom sustava.

- **Pametno brojilo:** uređaj za mjerenje količine vode, struje i plina na promatranoj lokaciji [17].

Kao primjer ovakvog sustava može se uzeti RIZ AMR. Ovaj sustav je razvijen od strane hrvatske tvrtke „Riz“ sa sjedištem u Zagrebu. Tvrtka je jedna od rijetkih koja se bavi proizvodnjom radio odašiljačke opreme. Njihov sustav dolazi u kombinaciji aplikacije za računalo, koje omogućuje očitavanje pametnih brojila koja ne moraju nužno biti proizvedene od strane tvrtke „Riz“. Kako bi se prenijeli podaci sa brojila na aplikaciju, sustav mora biti spojen na mrežu. Za uređaje ovog proizvođača potrebna je GSM (engl. *global system for mobile communications*) ili GPRS (engl. *general packet radio service*) mreža. Također je moguće i povezivanje putem PSTN (engl. *public switched telephone network*) mreže. Neke od značajki ovoga sustava su automatsko očitavanje stanja brojila uz istovremenu pohranu podataka u bazu i programiranje brojila. Osim stanja brojila moguće je uočiti i neispravnosti brojila. Sustavi ovakve vrste smanjuju troškove koje bi tvrtke ostvarile izlascima na teren zbog očitavanja brojila, a ujedno se i proces očitavanja odvija puno brže. Bitno je naglasiti i da imaju mogućnost identifikacije neovlaštenog otvaranja poklopca priključnice [18].

### 3.2.2. AMI

AMI je svojim karakteristikama jako sličan AMR sustavima. Oba sustava kreirana su kako bi se omogućilo daljinsko očitavanje podataka te se temelje na sličnom principu rada. AMI sustav koristi uređaje sa naprednijim značajkama što mu donosi određene prednosti. Kao glavna komponenta AMI se ponovno javljaju pametna brojila. Za prijenos podataka koriste se GPRS, GSM mreža, ali se uz njih može koristiti i prijenos podataka putem dalekovoda (engl. *powerline communication – PLC*). Komunikacija u ovim sustavima se odvija dvosmjerno. Moguće je odašiljanje mjerenih podataka u bazu, ali se istovremeno može vršiti daljinsko ažuriranje pametnog brojila. Prednost AMI nad AMR je očitavanje podataka koje se vrši u stvarnom vremenu, odnosno imamo prikaz trenutnih vrijednosti mjerene veličine, dok se za AMR te vrijednosti mjere periodično. Zbog drugačijeg načina mjerenja će podaci mjereni sa AMI biti precizniji, pružati bolji uvid u stanje sustava te će biti moguće pratiti trenutne potrebe za energijom i pratiti vrijeme najvećeg opterećenja sustava. Zbog prikupljanja podataka u stvarnom vremenu bitno je da sustav ima dobru vezu kako ne bi došlo do smetnji u komunikaciji i kašnjenja podataka. Još neke od prednosti AMI su sigurnost i mogućnost korištenja AMI u kreiranju pametnih mreža. Kako bi se postigle prednosti AMI sustav koristi kompliciraniju opremu od one u AMR sustavima, odnosno AMI je skuplje rješenje. Koriste se naprednija pametna

brojila od onih u AMR jer koriste dvosmjernu komunikaciju. Ovisno o potrebama korisnika i potrebama same mreže, AMR može biti sasvim dovoljan za pravilan nadzor sustava [19][20].

### **3.3. Sustavi za daljinsko upravljanje**

AMR i AMI sustavi nude nižu razinu kontrole u mreži, odnosno omogućavaju nadzor tako što pružaju uvid u ključne podatke vezane uz rad sustava. Za veću razinu kontrole u mreži koriste se uređaji za daljinsko upravljanje elementima mreže. Ti uređaji su daljinski terminali koji se koriste za upravljanje trafostanicom. Oni pružaju funkcionalnosti nadzora i upravljanja trafostanicom, ali mogu biti ugrađene i dodatne funkcije kao što su otkrivanje kratkog spoja u mreži i otkrivanje vrste kratkog spoja koji može nastati između uređaja i njegovog uzemljenog dijela. Također se omogućava praćenje kvalitete električne energije i drugih energetske elementa. Daljinski se terminali ugrađuju direktno u samo sklopovlje trafostanice ili mogu biti odvojeni u svoje kućište, a koriste se protokolima *distributed network protocol 3* - DNP3, Modbus te IEC 61850. Neki od sustava za daljinsko upravljanje su SCADA, EMS te distribuirani sustav upravljanja energijom (engl. *distributed energy resources management system - DERMS*) koji se koristi za distribuirane sustave. Iako postoji više različitih sustava kojima se omogućuje nadzor nad elektroenergetskom mrežom, oni su međusobno jako slični, dijele određene komponente te su često povezani zajedno kako bi se stvorila cjelina koja pruža potpuni nadzor nad mrežom [21].

#### **3.3.1. SCADA**

SCADA je sustav koji se često koristi za nadzor i upravljanje u EES, ali i u drugim područjima čija proizvodna industrija koristi automatizirane procese. SCADA se može svrstati u sustave za daljinski nadzor i upravljanje, ali bitno je napomenuti kako SCADA ne služi samo za promatranje i upravljanje na daljinu, već omogućava i dodatne funkcionalnosti poput praćenja stanja opreme na osnovu čega može predvidjeti kada je vrijeme za redovito održavanje ili zamjenu elementa. Danas postoji velik broj različitih vrsta SCADA sustava, od onih jednostavnijih, namijenjenih sakupljanju podataka do kompleksnih SCADA sustava pomoću kojih se ostvaruje nadzor nad cijelim industrijskim procesom. SCADA sustavi su se prvotno pojavili 60-tih godina 20. stoljeća, a danas su napredovali na razinu gdje mogu upravljati sa desecima tisuća ulazno-izlaznih jedinica. Ulazno-izlazne jedinice su skupina uređaja koji se spajaju na računalo ili sustav. Ulazne jedinice omogućuju unos i prikupljanje različitih vrijednosti, dok se izlazne jedinice koriste za njihov vizualni prikaz. Najčešći

operacijski sustavi koji se koriste u SCADA sustavima su Linux i NT. Osim upotrebe u EES, SCADA se koristi i u drugim proizvodnim industrijama, prijevozu, naftnoj industriji i slično [21].

#### a) Glavni dijelovi i arhitektura SCADA sustava

- **Daljinski terminal** (engl. *remote terminal unit – RTU*)

RTU predstavlja glavnu poveznicu u komunikaciji između svih uređaja potrebnih za rad jednog SCADA sustava. Najčešće su to uređaji poput raznih senzora i sklopki, čiji se podaci prikupljaju i uz pomoć RTU šalju na glavnu stanicu. RTU se često u raznoj literaturi naziva PLC kontrolerom. RTU se temelji na arhitekturi mikroprocesora i dijeli određene sličnosti sa PLC kontrolerima, ali postoje i određene razlike. RTU osim što prikuplja podatke prilikom komunikacije aplikacije i opreme, posjeduje i mogućnost upravljanja komponentama, npr. upravljanje snagom rada motora. Kao što je prethodno spomenuto, arhitektura RTU temelji se na arhitekturi mikroprocesora sa više ulazno-izlaznih jedinica za razne priključke koji mogu biti i digitalni i analogni. Osim ulazno-izlaznih modula postoji i barem jedan ulaz kojim RTU ostvaruje komunikaciju sa glavnom stanicom. U tome slučaju koristi se starijim RS-232 protokolom te modernijim protokolom poput Ethernet protokola. Osim dijela za komunikaciju te ulazno-izlaznih jedinica u ključne dijelove RTU spadaju i napajanje te procesor. Iako je svaki RTU napajan od strane glavne stanice, za dodatnu mjeru sigurnosti u svaki RTU dodaje se baterija kao dodatni izvor napajanja. Najčešće se koriste 32-bitni mikroprocesori, a postoje verzije sa jednim ili dva procesora, u kojem slučaju je jedan od njih definiran kao rezervni procesor. Programiranje uređaja vrši se putem ljestvičastog dijagrama, C# jezika ili putem *web* sučelja [22].

- **Glavna jedinica** (engl. *master terminal unit – MTU*)

MTU predstavlja poslužitelj koji se koristi pri komunikaciji s opremom i sučeljem čovjek-stroj (engl. *human-machine interface – HMI*). Ovisno o veličini sustava MTU može biti jedno računalo ili više poslužitelja koji sadržavaju razne sigurnosne kopije sa podacima. MTU prima podatke sa svake kontrolne točke te ih obrađuje i prosljeđuje. Komunikacija se odvija na način da RTU osluškuje vezu i čeka unaprijed poznatu naredbu, odnosno poruku od MTU. U naredbi MTU šalje informacije o traženoj vrijednosti, a potom RTU odgovara na naredbu sa traženim podacima.

- **Dio za komunikaciju**

Dio za komunikaciju predstavlja komunikacijsku infrastrukturu koja osigurava ispravan prijenos podataka preko RTU na podatkovne poslužitelje. Najčešće se radi o dvosmjernoj komunikaciji, ona može biti ostvarena putem bežične internetske veze ili preko bakrene parice, a modernizacijom infrastrukture sve više se koriste i optički kabeli. U lokalnoj mreži koriste se uređaji poput usmjerivača i preklopnika.

- **Sučelje čovjek-stroj**

Odnosi se na same aplikacije koje služe za upravljanje sustavom. One omogućavaju izvršavanje naredbi i pružaju dodatne značajke. HMI nije ništa drugo nego programsko sučelje koje je pokrenuto na računalu ugrađenom unutar pogona. Pomoću HMI operater upravlja pojedinim dijelom sustava. Na primjer, ukoliko je potrebno provjeriti temperaturu unutar određenog dijela postrojenja, operater može putem HMI pristupiti dijelu aplikacije na kojoj su pohranjeni podaci o stanju unutar postrojenja poput temperature, tlaka, vlažnosti te ih lako iščitati.

- **Senzori**

Postoje razne vrste senzora i mjernih uređaja koje se koriste kako bi mjerenje u postrojenjima bilo što preciznije. Njihov izbor ovisi o potrebama postrojenja i sustava, a najčešće vrste senzora prethodno su navedene u radu.

- **Soba za nadzor**

Kako bi se SCADA sustavom upravljalo na daljinu postoje nadzorne sobe unutar kojih su smještene računala, a ponekad i podatkovni poslužitelji. Pomoću računala i HMI, operater može ostvariti pristup nekoj od udaljenih jedinica unutar sustava te prikupljati podatke koji se potom spremaju na bazu podataka [23].

## **b) Komunikacija u SCADA sustavima**

Nakon definiranja glavnih komponenti i arhitekture, potrebno je definirati način na koji se odvija komunikacija u SCADA sustavu. U arhitekturi sustava postoje dvije glavne mreže, odnosno vrste veze. U prvom koraku poslužitelj ostvaruje komunikaciju sa željenim uređajima preko RTU, odnosno upravljačkog uređaja koji je na poslužitelj povezan preko sabirnice. Druga vrsta mreže koja se koristi u ovoj arhitekturi je internetska veza. Putem Ethernet protokola odvija se međusobna komunikacija poslužitelja i klijenta. Osim sklopovske arhitekture postoji i programska arhitektura čiji



je glavni zadatak upravljanje sa bazom podataka. Koriste se poslužitelji koji podatke pohranjuju u bazu podataka, ali se promjene događaju u stvarnom vremenu. Omogućuje da podaci budu ažurirani odmah, sa svakom promjenom u sustavu. Za komunikaciju u SCADA sustavima najčešće se koristi TCP/IP protokol. Pri komunikaciji postoje 3 vrste izvršavanja operacija unutar sustava, a to su cikličke operacije, događajem upravljane operacije i princip odobravanja. Operacije predstavljaju način, odnosno protokol prema kojemu se podaci razmjenjuju između upravljačkih uređaja i radnih stanica. Radne stanice podatke primljene od RTU obrađuju i pohranjuju na poslužitelj [24].

- **Cikličke operacije**

Komunikacija između radne stanice i RTU se odvija na način da svaka radna stanica periodički izdaje naredbu u kojoj traži podatke. Nakon što radna stanica od jedne ili više RTU jedinica (ovisno o veličini sustava) zatraži podatke, oni se dalje prenose putem sabirnice. Tada se sabirnica ponaša kao baza podataka koja u stvarnom vremenu prikuplja podatke, a oni se periodički ažuriraju na poslužitelju. Glavna prednost je što se sve odvija u stvarnom vremenu, a problem je što može doći do zagušenja linije ovisno o propusnom opsegu same upravljačke sabirnice [24].

- **Događajima upravljane operacije**

Komunikacija u kojoj svaki upravljački uređaj, odnosno RTU osluškuje mrežu. Radna stanica kao i kod cikličkih operacija periodički šalje zahtjeve za podacima. Iako je RTU primio naredbu za slanjem podatka, ta se naredba ignorira sve dok ne dođe do promjene stanja na nekoj mjerenoj veličini. Tek kada se dogodi promjena RTU odašilje novu vrijednost preko sabirnice. U ovome slučaju svaka stanica podatke sprema u lokalnu bazu podataka. Zbog kašnjenja može doći do razlike u podacima koji su pohranjeni na različitim stanicama [24].

- **Princip odobravanja**

Za razliku od prva 2 modela komunikacije, u ovom modelu se podaci ne šalju trenutno između upravljačkih uređaja i radnih stanica. Stanice prvo šalju upit za željeni podatak, a tek onda upravljački uređaj predaje tražene podatke stanici. U ovome se slučaju baza podataka nalazi u upravljačkom uređaju kako bi podaci bili pohranjeni sve dok radna stanica ne zatraži neki od njih [24].

### c) **Funkcionalnosti SCADA sustava**

SCADA omogućava mnoge funkcionalnosti koje mogu pomoći u upravljanju EES. Kao što je ranije navedeno SCADA se može koristiti u svrhu pohrane podataka koji se kasnije mogu obrađivati, uspoređivati te koristiti za stvaranje raznih evidencija i izvještaja. Također postoje opcije aktiviranja alarma te stvaranja zapisa o važnim događajima. Osim obrade podataka, neke napredne značajke omogućuje HMI. Sučelje čovjek-stroj omogućava vizualni prikaz (odnosno grafički prikaz pomoću aplikacije) uređaja unutar postrojenja, prikaz njihova stanja i poruke upozorenja/obavijesti. Uz pomoć opcije sučelje čovjek-stroj se mogu izvršavati naredbe koje se odnose na upravljanje ulazno-izlaznim uređajima, mijenjati ovlasti pristupa uređajima te pružati online pomoć [23].

#### **d) SCADA sustav u EES**

SCADA ima široku primjenu u elektroenergetskim sustavima. Zbog svakodnevnog širenja i povećanja elektroenergetskih sustava i opskrbe mreže vrši se sve veća automatizacija i daljinsko upravljanje procesima. Moderni sustavi omogućavaju veliku razinu samostalnosti te nije potreban po jedan operater (ili cijeli tim) za nadzor jednog sustava. Postoje prethodno definirani protokoli koji se aktiviraju u slučaju greške, dok jedan operater kontrolira više sustava na daljinu. Na primjer, SCADA može aktivirati proces detekcije i otklanjanja problema ukoliko se analizom primijeti nepravilnosti u prikupljenim podacima za jedan dio mreže. Ukoliko je došlo do kratkog spoja ili prenapona SCADA ima mogućnost automatskog isključivanja osigurača. Na taj način se izolira dio mreže na kojemu je nastao problem te se sprječava njegovo daljnje širenje. Ukoliko dođe do ispada mreže tijekom vremenske nepogode, analizom i usporedbom prikupljenih podataka može se locirati mjesto na kojemu se dogodio problem. SCADA sustavi se unutar EES najčešće integriraju kako bi se nadzirao rad trafostanice, prijenos energije vodovima i omogućila pravilna raspodjela električne energije krajnjim korisnicima. Jedna od glavnih komponenti trafostanice je sabirnica (engl. *substation bus*). Njena uloga je distribucija energije i povezivanje komponenti (transformatori, sklopke, linijski vodovi). SCADA je najčešće zadužena za kontrolu napona na sabirnici trafostanice te razne vrste zaštite od stvaranja prenapona ili ispada neke od glavnih komponenti u trafostanici [25].

Kao primjer jednog terminala koji omogućuje upravljanje trafostanicom može se navesti terminal DT-10TSc. Ovaj terminal omogućava operatoru upravljanje trafostanicom iz udaljenog centra, ali i unutar same trafostanice. Glavna funkcija ovog terminala je nadzor nad uređajima i opremom koja je ugrađena u trafostanicu, ali i kontrola transformatora. Neke od dodatnih značajki koje omogućava ovaj sustav su otkrivanje kratkog spoja na vodovima te otkrivanje kvara. Svi se

dogadaji bilježe u obliku standardnih dnevnika. Za ostvarivanje dodatnih značajki potreban je dodatni modul. Komunikacija sa centrom se može ostvariti na više načina (npr. GPRS mreža), a odvija se preko standardiziranih IEC 60870 protokola. Terminala se nalazi unutar sigurnosnog kućišta i spaja na trafostanicu te daljinskom vezom komunicira sa centrom, unutar kojega su smješteni računalo i operater. Potrebna je internet veza kako bi se dnevnici i podatci uspješno spremali i ažurirali u bazi podataka [26].

SCADA se također koristi i za kontrolu u distribucijskoj mreži. Zbog veličine mreže, u kojoj može doći do kvara na vodovima, SCADA sustav uvelike olakšava otkrivanje lokacije te identifikaciju razine kvara. Iako je glavni cilj osigurati da ne dođe do ispada u mreži, ponekad to nije moguće. U takvim situacijama postoje procesi i uređaji pomoću kojih je moguće otkloniti razne vrste kvarova. SCADA također bilježi zapise koji sadrže sve podatke vezane uz kvar te se analizom zapisa može otkriti postoji li određena mana u dizajnu mreže ili pak postoji komponenta koja uzrokuje probleme. Ukoliko postoji dublji problem, operatori ga mogu otkloniti te osigurati da se takvi ispadi u mreži ne ponavljaju. Jedna od čestih primjena je i u svrhu raspodjele energije korisnicima. Kontrola nad korisnicima u mreži nije temeljena na prevenciji kvarova, već se fokus stavlja na mjerenje potrošnje. Ovakvu vrstu kontrole i mjerenja obavljaju i prethodno objašnjeni sustavi poput AMI i AMR koji se ponajviše koriste u svrhu izdavanja računa ovisno o potrošnji te kako bi se prevenirali razni pokušaji varanja i manipuliranja podacima o količini potrošnje [27].

HMI je velika prednost SCADA-e jer operateri mogu dobiti grafički prikaz s informacijama o svakoj jedinici u mreži ili informacije o stanju vodova. Na ovaj način je puno lakše pratiti ponašanje pojedine jedinice jer se ne mora iščitavati stanje pojedinog uređaja iz tablice sa numeričkim podacima. Također olakšava praćenje stanja na vodovima jer postoji vizualni prikaz dijela mreže na kojemu se desio ispad. Vizualni prikaz također olakšava identifikaciju osigurača koji je iskočio od posljedica kratkog spoja ili prenapona u mreži [28].

### **3.3.2. EMS**

EMS ima široku primjenu u velikim EES, ali se koristi i u manjim sustavima poput obiteljskih poduzeća, prehrambene industrije te medicinskim ustanovama kako bi se bolje upravljalo potrošnjom električne energije. EMS kao cjelinu sačinjava programski paket pomoću kojega se upravlja sustavom i sklopovlje koje prikuplja podatke. Programski paket nije ništa drugo nego aplikacija koja pruža opcije nadzora nad proizvodnjom energije, ali i nad prijenosom energije. Sklopovlje EMS su sve

elektroničke naprave poput pametnih sklopki i brojila te senzori pomoću kojih se vrši mjerenje i pruža mogućnost upravljanja sustavom. EMS se ne koriste samo u svrhu kontrole električne energije, već i sustava koji se koriste za grijanje, hlađenje ili rasvjetu. U njihovom sklopovlju mogu se pojaviti termostati, senzori pokreta i razni mjerači vremena. Sklopovlje EMS čiji je fokus na potrošnji električne energije slično je sklopovlju SCADA sustava, a ponekad se direktno oslanja na SCADA-u [29].

Kao i SCADA, EMS također prikuplja podatke vezane uz razine napona, struje, frekvencije te snage (prividne, jalove te radne snage). Bitno je napomenuti kako se ovi podaci prikupljaju u stvarnom vremenu te ih sustav obrađuje i koristi u svojim proračunima. Osim njih stvaraju se i trendovi vezani uz prethodnu količinu proizvedene i distribuirane energije, zapisi s vremenskim razdobljima najvećeg opterećenja mreže te zapisi o greškama u sustavu. Cilj sustava je smanjenje gubitaka i povećanje pouzdanosti, a sve u svrhu što bolje optimizacije proizvodnje i prijenosa energije što osigurava i veću ekonomsku isplativost. Ako se EMS koristi za optimizaciju na korisničkoj strani (npr. poduzeće) tada se više pažnje daje proračunima vezanima uz potrošačke zahtjeve. Određuje se optimalna količina energije potrebna za normalno funkcioniranje poduzeća, odnosno prave se zapisi vezani uz potrošnju na pojedinom dijelu proizvodnog procesa, u skladištima ili rashladnim komorama. Također EMS ima mogućnost prikaza popisa uređaja te njihove potrošnje kako bi se u svakom trenutku znao najveći potrošač. Poznavanje podataka o potrošnji omogućuje i predviđanje troškova vezanih uz potrošnju električne energije za pojedini mjesec. U poduzeću se na ovaj način smanjuju troškovi, a razlika koja se uštedi može se iskoristiti u svrhu nadogradnje i daljnjeg razvoja poduzeća, a sve više se cijeni trud koji poduzeća ulažu u čišću, optimalniju proizvodnju kako bi se smanjilo zagađenje okoliša. U proizvodnji su česti troškovi uzrokovani zaustavljanjem proizvodnje zbog kvara na opskrbenj mreži ili na električnim instalacijama unutar samog poduzeća. Povećanjem pouzdanosti se takvi troškovi smanjuju te se lakše pronalazi izvor greške. Zbog uvida u potrošnju EMS omogućavaju projektiranje dodatnih, odnosno rezervnih izvora energije za dio poduzeća ili za cijelo poduzeće. Rezervni izvori se aktiviraju u slučaju većeg ispada na opskrbenj mreži. Njihova uloga je omogućiti nastavak proizvodnje ili pak napajati skladišta s već gotovim proizvodima kako bi se spriječilo njihovo kvarenje. EMS se mogu nadovezati na SCADA sustave. U ovoj varijanti SCADA sustav prikuplja bitne podatke vezane uz proizvodnju energije, a EMS sustav prati dodatne parametre vezane uz distribucijsku mrežu i potrebe korisnika te ih objedinjuje u jednu cjelinu koja pomoću računalnog

programa pruža uvid u cjelokupni proces proizvodnje i prijenosa energije unutar elektroenergetskog sustava [29].

#### a) Dijelovi EMS

Sklopovlje EMS vrlo je slično sklopovlju SCADA-e, a oba sustava kao centralnu jedinicu koriste RTU. RTU kao i kod SCADA-e služi za povezivanje komponenti i omogućava njihovu međusobnu komunikaciju. Osim RTU može se koristiti još i IED (engl. *intelligent electronic device - IED*) koji je jedna vrsta mikroprocesora. Cilj je ostvariti funkcionalnu mrežu, odnosno sustav kojim upravlja stručna osoba iz udaljene sobe uz pomoć aplikacije. Stručnoj osobi aplikacija omogućava održavanje sustava na daljinu te provođenje optimizacije za što učinkovitiju proizvodnju i distribuciju električne energije. Kako bi se pratio protok energije i potrošnja uređaja potrebno je uložiti u senzore i pametna brojila. Umjesto standardnih kutija sa osiguračima koriste se pametne razvodne kutije pomoću kojih se umjesto ručnog isključivanja osigurača to može obaviti kontrolom preko aplikacije. Većina posla koji obavlja EMS temelji se na obradi podataka. U ovome sustavu bitno je da su podaci o potrošnji uređaja precizni i da se spremaju na podatkovni poslužitelj. Kada se prikupi dovoljna količina podataka aplikacija radi analize i proračune te prilagođava uporabu energetske resursa stvarnim potrebama sustava. U kontrolnoj sobi se nalazi računalo sa pripadnom aplikacijom pomoću koje se upravlja sa EMS te postoji osoba zadužena za upravljanje sustavom. Ukoliko se radi o manjem poduzeću, bitno je imati na umu da bi se aplikacijom mogla koristiti osoba koja nema dovoljno veliko iskustvo ili prethodno obrazovanje u području elektrotehnike, stoga aplikacija mora biti dovoljno jednostavna. Ukoliko se radi o većem sustavu potrebna je složenija aplikacija koja pruža dodatne značajke i mogućnosti, ali zahtjeva da se njome koristi osoba koja ima prethodno iskustvo rada na EES [29][30][31].

Spomenut je način na koji se SCADA i EMS nadopunjuju, a ovdje će biti istaknute njihove glavne razlike. Iako imaju jako puno sličnosti koje su ponajviše vezane uz samu arhitekturu i sklopovlje sustava. Kao glavnu razliku između ova dva sustava može se izdvojiti način na koji oni upravljaju elektroenergetskim sustavom. SCADA sustav ima jako puno opcija kontrole samih uređaja u proizvodnom procesu i ima široku primjenu u raznim drugim područjima izvan EES, kao što su naftne platforme te razne industrije koje se bave proizvodnjom. EMS najčešće se koriste u svrhu analitike i predviđanja promjena unutar EES. Služe za definiranje potrebne količine energije u

određenim vremenskim intervalima. Koriste se za optimizaciju proizvodnje, ali i distribucije energije [32].

### 3.3.3. DERS

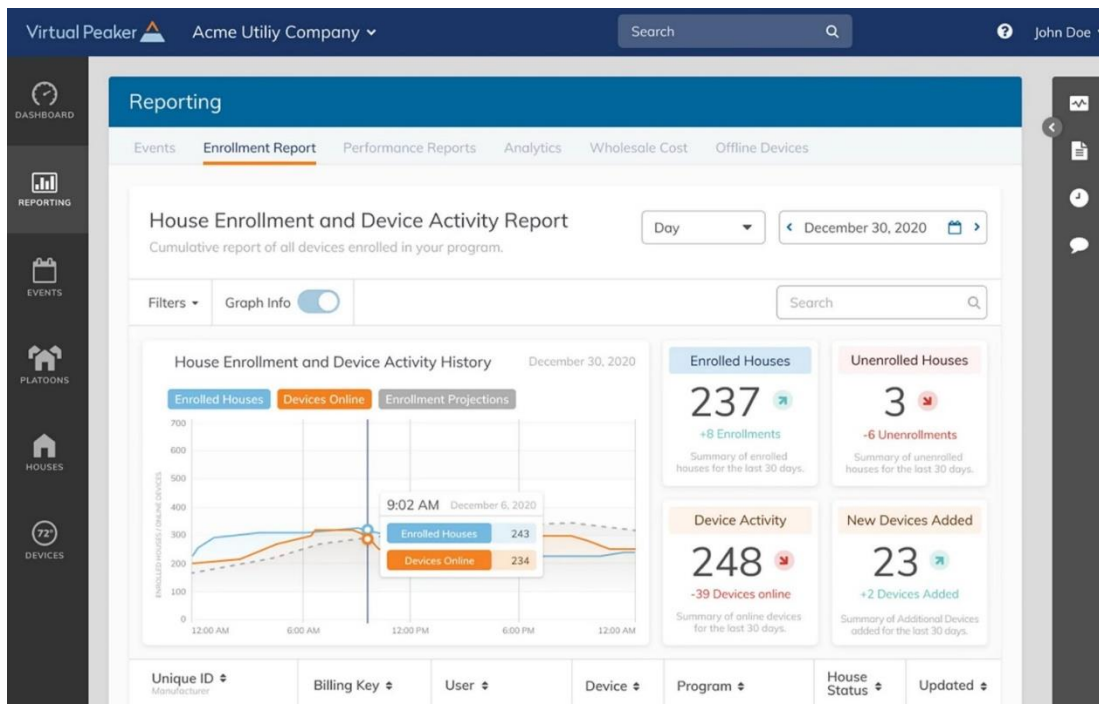
Distribuirani izvor energije (engl. *distributed energy resource system – DERS*) služi za proizvodnju električne energije u neposrednoj blizini potrošaču. Najčešće se temelji na proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora, poput solarnih ili vjetroelektrana. Glavna prednost DERS-a je minimalan utjecaj na okoliš upravo zbog činjenice da se koriste elektrane temeljene na obnovljivim izvorima energije. U DERS se može svrstati i upotreba male kućne solarne elektrane. DERS može, a ne mora biti spojen direktno na mrežu. Postoje razne vrste, od onih manjih koji služe za jedno kućanstvo, do onih većih koji imaju mogućnost napajanja jednog mjesta. DERS ponekad služi kao rezerva za slučaj ispada glavne mreže, a osim toga DERS se također koristi i za projektiranje punionica električnih vozila. Nedostaci DERS sustava su što svaki manji DERS ima svoje karakteristike i razlikuje se od ostalih proizvođača u mreži što može otežati analizu i projekciju ponašanja sustava. Kako bi se ostvarila kontrola nad sustavom (čak i onima manjima poput kućne solarne elektrane) i u obzir uzeli svi faktori, koristi se DERMS.

#### a) DERMS

U radu su prethodno objašnjene tehnologije koje se zajedno brinu za kvalitetnu, sigurnu proizvodnju i distribuciju električne energije. DERMS spada u kategoriju tehnologije čiji je zadatak kontrola sustava za proizvodnju energije, ali se najčešće koristi za distribuirane izvore (DERS). Za kontrolu distribuiranih izvora energije koristi se kombinacija DERMS i sustava za raspodjelu energije (engl. *distribution management system – DMS*). DMS je zadužen za distribuciju energije mrežom, odnosno pruža dodatan uvid u stanje vodova te informacije o količini energije koja se prenosi i distribuira mrežom. DMS sustavi u svojim izračunima u obzir uzimaju i razne podatke vezane uz samu topologiju, veličinu mreže te karakteristike elemenata mreže. Može se koristiti u distribuiranim, manjim sustavima poput DERS-a, ali se koristi i u većim mrežama kako bi se izbjegle situacije prenapona i ispada u mreži [33].

DERMS se kao i mnogi drugi sustavi za nadzor sastoji od programskog dijela te sklopovskih komponenti. Glavnom komponentom ovoga sustava može se smatrati sustav za proizvodnju energije te baterije koje služe za pohranu energije (u slučaju da se radi o rezervnom izvoru energije). Kontrola

sustava vrši se uz pomoć programskog paketa koji informacije i podatke dobiva preko raznih senzora i pametnih brojila koja su međusobno povezana putem RTU jedinice. Njegova uloga u kontroli ovakvih sustava je vrlo velika, a omogućuje se nadzor nad DERS sustavima koji su dio jedne mreže, upravljanje svakim od uređaja te analiza podataka u svrhu stvaranja projekcija vezanih uz proizvodnju i potrošnju u mreži. Korisnost DERMS-a može se vidjeti na primjeru kućne solarne elektrane. Ukoliko kućanstvo koristi solarnu elektranu, DERMS prikuplja podatke o proizvodnji ovisno o vremenskim uvjetima ili bilježi količinu energije pohranjenu na bateriji. Prilagođava snagu izlaza sa baterije kako bi bila dovoljna za napajanje svih uređaja koji se koriste u kućanstvu. DERMS je bitan i kako bi se spriječile smetnje ili prenapon mreže ukoliko se pojavi višak energije na opskrbenoj mreži. DERMS se koristi i za kontrolu DERS-a koji su namijenjeni za napajanje punionica za električne automobile. S obzirom da punionice predstavljaju dinamično trošilo, odnosno zahtjevi za količinom energije se mijenjaju ovisno o tome koliko je korisnika priključeno. DERMS može u stvarnom vremenu pratiti zahtjeve mreže te kontrolirati količinu i snagu punionice ovisno o zahtjevima korisnika. Na taj se način osigurava dovoljna količina energije i dovoljna snaga za brzo punjenje bez obzira na broj spojenih korisnika. Također je zadužen za automatizaciju prethodno zakazanih procesa te se ponovno smanjuje uporaba resursa zbog smanjene potrebe operaterima. Na slici 3.3. prikazan je izgled korisničkog sučelja programa *Virtual Peaker* koji se brine o DERS sustavima u mreži. Ovaj program ima mogućnost prikaza svih kućanstava koji su spojeni unutar jedne mreže koja je napajana pomoću DERS. Iz slike je također vidljivo da je pomoću programa moguće iščitati i broj trenutno uključenih uređaja i aktivnost, odnosno vrijeme u koje je potrošnja bila najveća. Podaci ovog tipa bilježe se i pohranjuju pa je zbog toga moguće naknadno pregledati aktivnost od prije par dana [34][35][36].



Slika 3.3. Korisničko sučelje programa koji se koristi za upravljanje DERS sustavom [35].



## 4. RAZVOJ TEHNOLOGIJE KROZ POVIJEST

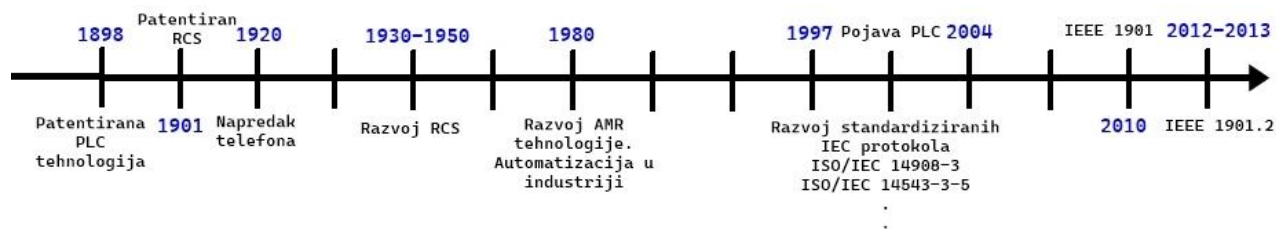
Ključno pitanje nakon otkrića električne energije bilo je koji je najbolji način za njenu proizvodnju, distribuciju i iskorištavanje njene snage. Prvom elektranom smatra se elektrana Thomasa Edisona, koja je sa svojim radom započela 1882. godine u New York-u. Iako je elektrana izgorjela 1890. godine, ostala je značajna jer su po njenom principu projektirane mnoge druge elektrane u to vrijeme. 72 godine nakon Edisonove prve elektrane, sa radom je započela i prva nuklearna elektrana. Nalazila se u Rusiji, u gradu Obninsku te je služila za napajanje grada Moskve. Još od izgradnje prvih elektrana i početka širenja mreže glavni cilj bio je osigurati što veću automatizaciju, sigurnost i što bolju iskoristivost energije. Prve trafostanice nisu mogle računati na prikupljanje i obradu podataka kakvu pružaju SCADA sustavi. Koristili su se osnovni mjerni uređaji i razni releji. Za razliku od današnjih sustava koji su međusobno povezani te je obavezna komunikacija među njima, u prvim sustavima to nije bilo moguće te su se spremali samo osnovni podaci o greškama. Današnji sustavi posjeduju mogućnost otklanjanja grešaka bez ikakve intervencije operatera, za što je prije bio potreban tim stručnjaka koji se slao na lokaciju u mreži gdje se kvar dogodio [37].

Razvoj tehnologije omogućio je razvoj sustava kao što su SCADA, AMR, DERMS i potaknuo ideju razvoja pametne mreže koja je već prethodno spomenuta u radu. Pametna mreža predstavlja tehnologiju koja se razvila iz ideje koja se javila davno prije, ali je službeno definirana tek 2000-ih godina. Tehnologija za prijenos podataka putem dalekovoda (engl. *powerline communication - PLC*) predstavila je prvi pomak prema automatizaciji mreže. PLC je omogućio veću razinu komunikacije, a daljnji razvoj protokola za komunikaciju, sustava za nadzor i druge opreme omogućio je da pametna mreža od ideje postane realan koncept. Danas, po pitanju razvijenosti ove vrste tehnologije prednjače države kao što su Kina, Sjedinjene Američke Države, Japan, Njemačka. Navedene države su jedne od prvih koje su u uporabu stavile pametna brojila i naprednu tehnologiju za nadzor, a sada se već okreću prelasku na najrazvijenije vrste AMI sustava. Uz to se sve veći fokus stavlja i na osiguravanje energetske rezervi uz pomoć sustava poput DERS-a. U nastavku rada opisan je razvoj tehnologija koje su omogućile razvoj i implementaciju pametnih mreža diljem svijeta [38].

## 4.1. Razvoj pametne mreže pomoću telekomunikacija u EES

U začetcima razvoja EES pametne mreže su bile daleko od realizacije, ponajviše zbog činjenice da su se koristili obični releji i vrlo jednostavni mjerni uređaji. Nije bilo moguće spremati zapise s podacima i pratiti trendove na način na koji je to danas moguće. Osim nerazvijenih, jednostavnih mjernih uređaja, problem je bio i nedostatak komunikacije između pojedinih dijelova same električne mreže. Glavna funkcija EES bio je prijenos električne energije do naselja, a za potrebe daljnjeg razvoja i napretka tražili su se načini kako omogućiti komunikaciju i odašiljanje podataka putem već postojeće mreže te su se razvijali komunikacijski protokoli. EES danas predstavlja raširenu i dobro razvijenu mrežu, koju se osim za prijenos struje može koristiti i za prijenos podataka u telekomunikacijama. Ova tehnologija ima široku primjenu i više načina izvedbe koji ponajviše ovise o potrebama korisnika te dizajnu mreže. Kako bi se izbjegla interferencija, prijenos podataka se najčešće provodi na frekvencijama različitim od onih na kojima se prenosi električna energija. Također, važno je razlikovati PLC koji je opisan u ovome dijelu rada od prethodno spomenutog programabilnog logičkog kontrolera čiji je akronim također PLC.

Kroz povijest, PLC se spominjao čak i u početcima 19. stoljeća, a prve prave pomake u razvoju doživio je početkom 20. stoljeća. Prve ideje vezane uz PLC tehnologiju odnosile su se na kontrolu distribucijskog sustava, a tražila su se rješenja za sprječavanje prenapona vodova. Prvo takvo rješenje bio je protokol imena *Rich communication services – RCS*, koji je zaživio sredinom 20. stoljeća. Uz RCS, jedna od najraširenijih tehnologija tog doba bio je i prijenos glasovnih poruka putem srednje naponskih i visokonaponskih vodova. Na slici 4.1. prikazan razvoj PLC tehnologije kroz povijest te su navedene tehnologije koje su se zajedno s njom razvijale. Iz dijagrama je vidljivo kako je PLC omogućio i razvoj AMR tehnologije koja se i danas koristi, a opisana je prethodno u radu. Također je omogućen i razvoj standarda za komunikaciju od strane Instituta za električno i elektroničko inženjerstvo (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*) [39].



Slika 4.1. Razvoj PLC tehnologije kroz povijest [39].

Glavna ideja PLC tehnologije je iskorištavanje već postojeće mreže za razne oblike komunikacije, poput prijenosa govora i podataka te ostvarivanje internetske veze. Postojeća infrastruktura predstavlja najveću prednost ove tehnologije. Iskorištavanjem postojeće infrastrukture omogućuje se značajna ušteda u odnosu na cijene razvoja skupe telekomunikacijske infrastrukture. Svaka tehnologija ima svoje prednosti, ali isto tako postoje i određene mane. Za PLC se one manifestiraju u obliku limitirane brzine interneta i potrebe ugradnje raznih vrsta adaptera u trafostanicama kako bi se omogućilo razdvajanje telekomunikacijskog prometa od električne energije [39].

#### 4.1.1. Razvoj komunikacijskih protokola

PLC je omogućio prijenos podataka putem postojeće mreže, a uz pomoć protokola se regulirao način na koji se podaci prenose između uređaja, odnosno poslužili su kao načelo prema kojemu se odvija komunikacija. U počecima industrije, protokoli su bili definirani od strane proizvođača same opreme te su izazivali probleme zbog nekompatibilnosti sa protokolima drugih proizvođača. Kako bi se takvi problemi izbjegli i kako bi se omogućilo povezivanje opreme različitih proizvođača osnovane su međunarodne organizacije čiji je cilj definiranje normi i standardizacija protokola. Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo (engl. *International Electrotechnical Commission – IEC*) jedna je od organizacija koja se bavi definiranjem normi za potrebe elektrotehnike. Njihov standardizirani IEC 60850 protokol zamijenio je prethodno spominjane protokole poput DNP3 i Modbus protokola koji su se koristili u AMI i AMR tehnologijama. RTU uređaji koristili su RS-232 i RS-482 protokole za komunikaciju sa SCADA sustavima, a njih je kasnije zamijenio moderniji Ethernet protokol. Većina protokola koji se koriste u elektroenergetskim sustavima zasnivaju se na *master-slave* komunikaciji.

Takav slučaj je i s Modbus protokolom. Komunikacija se odvija na način da *master* uređaj šalje određeni upit te jedan od *slave* uređaja šalje odgovor ukoliko ima tražene podatke. Jednostavnost ovoga protokola jedna je od njegovih glavnih prednosti te razlog zašto se jako dugo koristio. Ipak, razvoj same infrastrukture doveo je do zahtjeva za definiranjem i uporabom složenijih protokola poput onih koje je razvio IEC. Iz slike 4.1. se može vidjeti da se razvoj takvih protokola odvijao između 1997 i 2007 godine. Iako su sami protokoli složeniji, konfiguracija je bila puno jednostavnija te su donijeli veliku promjenu po pitanju obrade podataka s uređaja te su omogućili komunikaciju između uređaja različitih proizvođača. Protokoli poput IEC 60850 protokola zahtijevali su određenu kvalitetu mjernih uređaja kako bi cijeli sustav bolje funkcionirao, a komunikacija se po prvi puta odvijala putem internetske veze te se smanjilo vrijeme čekanja i odašiljanja podataka [40].

#### 4.1.2. Razvoj sustava za nadzor

Sustavi poput SCADA-e počeli su se razvijati sredinom prošlog stoljeća, a u usporedbi sa današnjim sustavima bili su dizajnirani za obavljanje osnovnih funkcija te se nisu mogli međusobno povezivati. Današnji SCADA sustavi su povezani i omogućavaju daljinski nadzor nad velikim mrežama.

**Tablica 4.1.** Razlike između 4 generacije SCADA sustava [41].

	1. Generacija	2. Generacija	3. Generacija	4. Generacija
<b>Mogućnost povezivanja više SCADA sustava</b>	Nema mogućnost povezivanja, svaki SCADA sustav funkcionira odvojeno	Mogućnost povezivanja par SCADA sustava jedan sa drugim	Mogućnost povezivanja SCADA sustava u WAN mreži, IP protokol donosi mogućnost povezivanja na internet	Mogućnost povezivanja SCADA sustava u WAN mreži
<b>Komunikacija između RTU i SCADA</b>	Komunikacija putem protokola koje je definirao proizvođač	Komunikacija unutar LAN mreže putem protokola koje je	Standardizirani protokoli poput Modbus i DNP3 protokola	Standardizirani moderni protokoli

		definirao proizvođač		
<b>Standardizirani protokoli</b>	Protokoli nisu standardizirani	Protokoli nisu standardizirani	IP protokol, DNP3, Modbus, IEC protokoli	DNP3, Modbus, IEC protokoli
<b>Funkcionalnosti</b>	Osnovne mjerne funkcionalnosti	Mjerne funkcionalnosti	Mjerne funkcionalnosti	Mjerne funkcionalnosti
<b>Napredne značajke</b>	Nema	Razmjena informacija između SCADA sustava	Razmjena informacija između SCADA sustava putem internetske veze	Programska podrška, razmjena informacija više SCADA uređaja, komunikacija sa SCADA sustavima sa udaljenih lokacija ili putem mobitela, računarstvo u oblaku, analitika i proračuni potrošnje, opterećenja i slično

Iz tablice 4.1. vidljivo je kako je 1990. godine došlo do velikih promjena u načinu povezivanja SCADA sustava, čemu je uvelike pridonio razvoj PLC tehnologije i standardizacija protokola i opreme. Sljedeće generacije SCADA sustava također će pratiti razvoj tehnologije te će biti još naprednije, a jedna od glavnih značajki budućih generacija SCADA-e biti će oslanjanje na umjetnu inteligenciju u svrhu analitike podataka [41].

### 4.1.3. Razvoj pametne mreže uz pomoć PLC

Za ispravan rad pametne mreže bitno je osigurati dobru, stabilnu komunikaciju između uređaja koji su spojeni na mrežu distribucijskog sustava (razni mjerni uređaji čiji podaci se prikupljaju i analiziraju u svrhu omogućavanja automatizacije sustava i kreiranja pametne mreže). Razvoj PLC tehnologije osigurao je stabilnost u komunikaciji, a uz to doveo i do standardizacije protokola te razvoja sustava za nadzor poput SCADA-e. U povijesti se najčešće koristila amplitudna modulacija za prijenos poruka upozorenja kroz samu mrežu, a PLC tehnologija omogućila je prijenos podataka koristeći postojeću mrežu. Podjela PLC tehnologije vrši se s obzirom na frekvenciju korištenu za prijenos podataka koja mora biti viša od one na kojoj se vrši prijenos električne energije:

- Ultra-uskopojasni prijenos (engl. *ultra-narrowband powerline communication - UNB PLC*): ova vrsta prijenosa koristi se za prethodno spomenute RCS sustave, a glavna obilježja su frekvencije u rasponu 300 - 3000 Hz te propusnost oko 100 bita u sekundi [bps]. Komunikacija se najčešće vrši samo u jednome smjeru.
- Uskopojasni prijenos (engl. *narrowband powerline communication - NB PLC*): ova vrsta prijenosa odvija se na frekvencijama čiji je raspon u intervalu 3 - 500 kHz, a omogućuje prijenos podataka na udaljenosti do nekoliko kilometara, pri brzini do nekoliko stotina kilobita u sekundi [kbps].
- Širokopojasni prijenos (engl. *broadband powerline communication - BB PLC*): ova vrsta prijenosa odvija se na frekvencijama čiji je raspon u intervalu 1.8 - 250 MHz, a omogućuje prijenos podataka na udaljenosti do nekoliko kilometara pri čemu je brzina značajno veća te doseže nekoliko stotina megabita po sekundi [Mbps].

U pametnoj mreži, PLC tehnologija zadužena je za ostvarivanje komunikacije, a performanse, odnosno brzina i kvaliteta prijenosa podataka razlikuje se ovisno radi li se o visokonaponskim, srednje naponskim ili niskonaponskim vodovima. Razliku u performansama uzrokuje i različita impedancija podzemnih i zračnih srednje naponskih vodova. Vodovi koji su postavljeni bliže potrošačima su niskonaponski. Svaki potrošač ima različite potrebe za količinom energije te je njihova potrošnja i opterećenje mreže varijabilno. Zbog toga dolazi do promjene impedancije u tom dijelu mreže te je moguća pojava određenih šumova i smetnji. Zbog toga se svaki niskonaponski dio mreže najčešće promatra kao zasebna pod mreža te se u obzir uzima broj korisnika i udaljenost među njima. Prema

ovim podacima se određuje ekonomska isplativost PLC tehnologije te njene performanse na tome dijelu mreže [39].

#### **4.1.4. Umjetna inteligencija i analitika podataka**

Sustavi za nadzor su dosegli veliku razinu autonomije, a umjetna inteligencija će uvelike pomoći u daljnjem razvoju. Trenutno se uz pomoć umjetne inteligencije najveći napredak može stvoriti na području analitike podataka. Značajne promjene tako bi se mogle dogoditi u smislu proizvodnje i distribucije električne energije. Ako se za primjer uzmu vjetroelektrane, čija iskoristivost ovisi ponajviše o vremenskim prilikama, uz pomoć dostupnih podataka o vremenskoj prognozi i uz pomoć umjetne inteligencije bi se moglo unaprijed izračunati i predvidjeti količinu energije koju je moguće proizvesti u razdoblju od sljedeća 2 dana. Umjetna inteligencija donosi i razvoj po pitanju već prethodno spominjanih razdoblja velikog opterećenja. Uz pomoć AI moći će se lakše predvidjeti razdoblje u godini te lokacije na kojima je veća količina opterećenja, poznavanje ovih podataka može pomoći i u planiranju razdoblja za održavanje sustava i redovite servise.

## 5. ZAKLJUČAK

Krajem 19. stoljeća počela je izgradnja prvih elektrana i razvoj elektroenergetskih sustava. Otkrivali su se i razvijali razni tipovi elektrana, a danas su najpoznatije termoelektrane, hidroelektrane, a sve veći utjecaj imaju elektrane čija se proizvodnja energije zasniva na obnovljivim izvorima energije. Od samog početka glavni cilj bio je povećati iskoristivost i smanjiti gubitke pri proizvodnji i distribuciji energije, zbog čega je počeo i razvoj mjernih uređaja i rad na automatizaciji sustava. Prvi sustavi za nadzor i kontrolu u elektroenergetskim sustavima pojavili su se sredinom 20. stoljeća. Iako su njihove funkcionalnosti u početku bile ograničene, njihov razvoj išao je u korak s ostatkom tehnologije, a najveću razliku napravio je razvoj interneta i PLC tehnologije te standardizacija protokola. Prethodno su spominjane tehnologije poput AMI i AMR čija je uporaba modernizirala izdavanje računa i praćenje potrošnje električne energije na strani korisnika. Za uspješno praćenje proizvodnje i distribucije električne energije koriste se sustavi poput SCADA-e i EMS-a, dok je za praćenje proizvodnje iz obnovljivih izvora najkorišteniji DERMS sustav. Sva tri sustava dijele određene sličnosti u svojoj arhitekturi i sklopovlju potrebnom za normalno funkcioniranje, a najveće razlike su u značajkama i funkcionalnostima na koje se stavlja fokus unutar aplikacija pomoću kojih operater upravlja sustavom. Velik doprinos daju i senzori i mjerni uređaji, bez čije preciznosti nijedan od ovih sustava ne bi mogao ispravno obavljati svoju zadaću. Izbor sustava za nadzor ovisi isključivo o značajkama koje su potrebne kako bi se osigurao ispravan rad sustava i dobila željena razina autonomnosti. Zbog veličine mreže i njene kompleksnosti, u opskrbnim mrežama jedne države najčešće se koriste kombinacije više vrsta sustava. U današnje vrijeme kada se većina svijeta zasniva na tehnologiji, a količina gubitaka prihoda poduzeća ovisi o dostupnosti električne energije potrebno je osigurati sprječavanje ispada mreže ili se pobrinuti da postoji mogućnost brzog otklanjanja kvara. Jedan kvar na opskrbenj mreži može prouzročiti probleme u prometu, komunikaciji među hitnim službama ili probleme u zdravstvu. Kako bi se takve situacije izbjegle koriste se pričuvne rezerve DERS sustava dok se uz pomoć sustava za nadzor ne otkrije mjesto kvara te se on otkloni. Činjenica je da su ovakvi sustavi prethodnih par desetljeća jako napredovali i postali standard u proizvodnji energije. Kako dolazi do razvoja umjetne inteligencije vjeruje se da će ona donijeti novi veliki napredak i oblikovati sljedeću generaciju sustava za nadzor i upravljanje te smanjiti potrebu za brojem operatera koji daljinski upravljaju sustavima.



## LITERATURA

- [1] EES, Hrvatska enciklopedija, dostupno na: <https://enciklopedija.hr/clanak/elektroenergetski-sustav> [4.6.2024.]
- [2] Element - d.o.o, Elektroenergetski sustav [online], Element – d.o.o, Zagreb, dostupno na: <https://element.hr/wp-content/uploads/2020/06/unutra-52131.pdf> [4.6.2024.]
- [3] L. Ujević, Z. Buntić, Elektrane, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [4] S. Škuletić, N. Kaljević, Visokonaponska razvodna postrojenja - udžbenik za treći razred srednje stručne škole, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Podgorica, 2019.
- [5] HEP, Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu [online], Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, 2023, dostupno na: [https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Pristup\\_mrezi/Pravila\\_o\\_priključenju\\_na\\_distribucijsku\\_mrežu%202023\\_2.pdf](https://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Pristup_mrezi/Pravila_o_priključenju_na_distribucijsku_mrežu%202023_2.pdf) [8.6.2024.]
- [6] Arrow Electronics, Inc. What is a smart grid and how does it work? [online], dostupno na: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/what-is-a-smart-grid-and-how-does-it-work> [8.6.2024.]
- [7] The Office of Electricity (OE), The Smart Grid [online], Office of Electricity, U.S. Department of Energy, Washington, dostupno na: [https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/smart\\_grid.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html) [15.6.2024.]
- [8] GARMIN Ltd., ŠTO JE GPS? [online], GARMIN Ltd., dostupno na: <https://www.garmin.com/hr-HR/aboutgps/> [19.6.2024]
- [9] National Geographic Society, GIS (Geographic Information System) [online], National Geographic Society, Washington, dostupno na: <https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/> [19.6.2024]
- [10] S. Mitra, GIS for Smart Grid [online], 2010, dostupno na: <https://www.slideshare.net/slideshow/gis-for-smart-grid-12847281/12847281#2> [21.6.2024]
- [11] NextGIS, Web GIS made easy [online], NextGIS 2011-2014, dostupno na: <https://nextgis.com/> [21.6.2024]

- [12] Is SCADA able to collect data directly from sensor? What are the types of data exchange between PLC and SCADA? [online], Quora, 2018, dostupno na: <https://www.quora.com/Is-SCADA-able-to-collect-data-directly-from-sensor-What-are-the-types-of-data-exchange-between-PLC-and-SCADA#:~:text=If%20the%20sensor%20is%20Ethernet,that%20data%20from%20the%20PLC.> [2.9.2024]
- [13] Peak Sensors Ltd, What Is RTD Sensor And How Does It Work? [online], Peak Sensors Ltd, Chesterfield, dostupno na: <https://peaksensors.com/blog/resistance-thermometer/what-is-rtd-sensor-and-how-does-it-work/> [21.6.2024]
- [14] G. M. Smith, What Is a Thermocouple Sensor and How Does It Work? [online], DEWESoft, 2023, dostupno na: <https://dewesoft.com/blog/temperature-measurement-thermocouple-sensors> [22.6.2024]
- [15] RS Components AB, The Guide to Hall Effect Sensors [online], RS Components AB, Kronborgsgränd, dostupno na: <https://se.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide> [22.6.2024]
- [16] AspenCore, Inc., The Current Transformer [online], AspenCore, Inc., dostupno na: <https://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html> [22.6.2024]
- [17] Water Supplies Department, Introduction of the Automatic Meter Reading (AMR) System in Water Supplies Department (WSD) [online], Water Supplies Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, dostupno na: [https://www.wsd.gov.hk/filemanager/en/content\\_1256/Intro\\_AMR\\_System.pdf](https://www.wsd.gov.hk/filemanager/en/content_1256/Intro_AMR_System.pdf) [15.6.2024]
- [18] RIZ-Odašiljači d.d, RIZ AMR Sistem [online], RIZ-Odašiljači d.d., Zagreb, dostupno na: <https://riz.hr/hr/brojila/programska-rjesenja/riz-amr-system.html> [15.6.2024]
- [19] Zhejiang Yongtailong Electronic Co., Electronic Power meter and AMI/AMR systems [online], Zhejiang Yongtailong Electronic Co. Ltd., 2024, dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/electronic-power-meter-amiamr-systems-ytlmeter-5t5oc> [15.6.2024]
- [20] Badger Meter, AMR vs. AMI: What's the Difference? [online], Badger Meter Inc., 2022, dostupno na: <https://www.badgermeter.com/blog/amr-vs-ami-whats-the-difference/> [15.6.2024]

- [21] IEL - Razvoj, proizvodnja i inženjering industrijske elektronike, Daljinsko vođenje trafostanica (rasklopišta) 10(20)/0,4 kV [online], IEL D.O.O. 2018, Zagreb, dostupno na: <https://www.iel.hr/grupe-proizvoda/nadzor-upravljanje-indikacija-kvara-po-dubini-napredne-mreze/daljinsko-vodenje-trafostanica-rasklopista-1020-04-kv/> [16.6.2024]
- [22] A. Armenta, What is a Remote Terminal Unit (RTU) [online], Control Automation, 2021, dostupno na: <https://control.com/technical-articles/what-is-a-remote-terminal-unit-rtu/> [16.6.2024]
- [23] ERP information, What is SCADA System? (Components and Architecture) [online], ERP information, 2024, dostupno na: <https://www.erp-information.com/scada-system> [16.6.2024]
- [24] SCADA and Central Applications, An introduction [online], Royal institute of technology, dostupno na: <https://www.kth.se/social/upload/535629dcf2765437a2fd88f3/Lecture%209%20-%20SCADA%20System.pdf> [2.9.2024]
- [25] How can SCADA systems troubleshoot power distribution problems? [online], LinkedIn, dostupno na: <https://www.linkedin.com/advice/1/how-can-scada-systems-troubleshoot-power-distribution> [2.9.2024]
- [26] IEL - Razvoj, proizvodnja i inženjering industrijske elektronike, Daljinski terminal DT-10TSc, tip 1 [online], IEL D.O.O. 2018, Zagreb dostupno na: <https://www.iel.hr/grupe-proizvoda/nadzor-upravljanje-indikacija-kvara-po-dubini-napredne-mreze/daljinsko-vodenje-trafostanica-rasklopista-1020-04-kv/daljinski-terminal-dt-10tsc-tip-1/> [23.6.2024]
- [27] Electrical Technology, SCADA Systems for Electrical Distribution, Electrical Technology, dostupno na: <https://www.electricaltechnology.org/2015/09/scada-systems-for-electrical-distribution.html#feeder-control-using-scada> [16.6.2024]
- [28] How does SCADA work in electrical grids? [online], Quora, dostupno na: <https://www.quora.com/How-does-SCADA-work-in-electrical-grids> [2.9.2024]
- [29] Codibly, Custom Software and Product Development, What is an Energy Management System? [online], Codibly, Kraków, dostupno na: <https://codibly.com/news-insights/what-is-an-energy-management-system/> [16.6.2024]
- [30] What Are the Components of Energy Management Systems? [online], Legacy Electric LLC., Dallas, dostupno na: <https://legacyllcelectric.com/what-are-the-components-of-an-energy->



[40] 2024 Eaton, Substation automation: fundamentals of substation automation [online], Eaton, dostupno na: <https://www.eaton.com/tw/en-us/products/utility-grid-solutions/grid-automation-system-solutions/fundamentals-of-substation-automation.html> [23.6.2024]

[41] Process Solutions, Inc., A brief history of SCADA system [online], Process Solutions, Inc., Arlington, dostupno na: <https://processsolutions.com/a-brief-history-of-the-scada-system/>[23.6.2024]

## SAŽETAK

U uvodu se opisuju elektroenergetski sustavi te se navode njegovi ključni dijelovi. Navedene su neke od najpoznatijih vrsta elektrana i načini prijenosa električne energije do potrošača.

U nastavku rada opisani su sustavi za nadzori i kontrolu elektroenergetskih sustava. Neki od njih su pametna brojila, AMI, AMR sustavi čija je najčešća svrha daljinsko mjerenje količine potrošnje na strani potrošača. Opisani su kompliciraniji sustavi poput SCADA i EMS sustava koji se koriste unutar elektroenergetskih sustava koji služe za napajanje velikih područja te DERMS sustavi koji se najčešće koriste u sklopu manjih sustava čija se proizvodnja električne energije temelji na obnovljivim izvorima. Opisana je njihova arhitektura i glavni dijelovi te razni protokoli koji se koriste u komunikaciji.

Kao zadnja cjelina, navodi se povijesni razvoj i napredak elektroenergetskih sustava i opreme koja se u njima koristi. Pruža se pogled na razvoj SCADA sustava kroz povijest i spominje se umjetna inteligencija kao budućnost u nadzoru elektroenergetskih sustava.

**Ključne riječi:** DERMS, elektroenergetski sustav, EMS, pametna brojila, SCADA.

## **SUMMARY**

### **Information and communication technologies for measurement, monitoring and control in power systems**

The basics of power systems and its key parts are described in the introduction. Most common types of power plants are presented, alongside their key advantages and disadvantages. Electrical grid and electrical substations are also explained in the introduction.

Second part of this thesis describes monitoring systems like AMI and AMR, but it also focuses on more complex systems like SCADA and EMS that are used not only for monitoring, but for control and supervisory of the power systems. DERMS is another important system that is described in this part of thesis. DERMS plays a big role in managing power systems whose production of electrical energy is based on renewable sources of energy. This part doesn't only describe the features of every system, it also describes their key elements and sensors that make them precise and accurate.

Last part of the thesis puts the development of technology throughout the years into perspective. It shows how different new, modern systems are compared with the first systems that were used. A distinction is made between different generations of SCADA systems. Artificial intelligence is referred to as the future of managing, monitoring and supervisory of power systems.

**Key words:** DERMS, EMS, power system, SCADA, smart meter.