

# Komponente naprednih elektroenergetskih mreža i primjene

---

**Glavaš, Robert**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:509623>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-02**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**KOMPONENTE NAPREDNIH  
ELEKTROENERGETSKIH MREŽA I PRIMJENE**

**Diplomski rad**

**Robert Glavaš**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 14.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Robert Glavaš
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1401, 07.10.2021.
<b>OIB studenta:</b>	03240114172
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
<b>Sumentor:</b>	dr. sc. Matej Žnidarec
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Zvonimir Klaić
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Heidi Adrić, mag. ing. el.
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Komponente naprednih elektroenergetskih mreža i primjene
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	Opisati glavne razloge za razvoj naprednih mreža te osnovne principe rada. Nabrojati i detaljno opisati komponente naprednih mreža. Na laboratorijskoj razini prikazati primjer upotrebe pametnog brojila u modelu kupca s vlastitom proizvodnjom i baterijskim sustavom pohrane energije.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	14.09.2023.
<b>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</b>	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

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

Osijek, 27.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Robert Glavaš

**Studij:**

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

D-1401, 07.10.2021.

**Turnitin podudaranje [%]:**

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Komponente naprednih elektroenergetskih mreža i primjene**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Zvonimir Klaić

i sumentora dr. sc. Matej Žnidarec

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 studenta:

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. OPĆENITO O NAPREDNIM MREŽAMA</b> .....	2
<b>2.1. Konvencionalne elektroenergetske mreže</b> .....	2
2.1.1. Povijest elektroenergetske mreže.....	2
2.1.2. Mjerenje potrošnje električne energije.....	3
2.1.3. Konvencionalna elektroenergetska mreža i problemi.....	4
<b>2.2. Razvoj naprednih elektroenergetskih mreža</b> .....	5
2.2.1. Razlika naprednih i konvencionalnih elektroenergetskih mreža .....	6
2.2.2. Prednosti napredne elektroenergetske mreže.....	9
2.2.3. Potreba naprednih elektroenergetskih mreža .....	10
2.2.4. Tehnologije naprednih elektroenergetskih mreža .....	13
<b>3. KOMPONENTE NAPREDNIH MREŽA</b> .....	14
<b>3.1. Inteligentni elektronički uređaji (IED)</b> .....	15
3.1.2. Sučelje pametnih uređaja .....	16
<b>3.2. Pametna brojila</b> .....	16
3.2.1. Princip rada pametnih brojila.....	19
3.2.2. Karakteristike pametnih brojila.....	23
<b>3.3. Fazorske mjerne jedinice (PMU)</b> .....	25
<b>3.4. Komponenta prijenosnog sustava napredne mreže</b> .....	27
<b>3.5. Komponenta distribucijskog sustava napredne mreže</b> .....	28
<b>3.6. Pametni senzori</b> .....	30
<b>3.7. Komponenta pohrane energije</b> .....	30
3.7.1. Baterije.....	30
3.7.2. Superkondenzatori .....	31
3.7.3. Supervodljivo magnetsko skladištenje energije.....	32
3.7.4. Zamašnjaci .....	33

<b>4. PRIMJER KORIŠTENJA PAMETNOG BROJILA U MODELU KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM I BATERIJSKIM SUSTAVOM POHRANE ENERGIJE .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1. Pametno brojilo ET340.....</b>	<b>36</b>
4.1.1. Žično povezivanje RS485-to-USB sučelje .....	37
4.1.2. Zigbee povezivanje .....	39
<b>4.2. Mjerenja jednodnevnog pogona kupca s vlastitom proizvodnjom i baterijskim sustavom pohrane energije.....</b>	<b>41</b>
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>50</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>51</b>
<b>7. SAŽETAK .....</b>	<b>52</b>
<b>8. ABSTRACT .....</b>	<b>53</b>
<b>9. ŽIVOTOPIS .....</b>	<b>54</b>

## 1. UVOD

Sadašnja elektroenergetska mreža je stvorena prije više od 100 godina kada su potrebe za električnom energijom bile jednostavne. Proizvodnja električne energije bila je lokalizirana i izgrađena oko zajednica, a većina domova je imala male potrebe za električnom energijom. Brzi napredak tehnologije i sve veća potražnja za učinkovitom i održivom električnom energijom otežava sadašnjoj mreži da odgovori na rastuće energetske zahtjeve. Napredne mreže predstavljaju promjenu u odnosu na sadašnje konvencionalne elektroenergetske mreže uvodeći dvosmjernu interakciju gdje se električna energija i komunikacija razmjenjuju između proizvođača i potrošača. Integriranjem naprednih komponenti, koje rade zajedno, i tehnologija za komunikaciju, upravljanje i nadzor unutar sustava, elektroenergetsku mrežu čini učinkovitijom, pouzdanijom i sigurnijom.

Tema ovog diplomskog rada su komponente naprednih elektroenergetskih mreža i njihove primjene te će se ono u idućih nekoliko poglavlja detaljnije opisati. Rad se, osim uvoda i zaključka, sastoji od tri glavna poglavlja koja sadrže više potpoglavlja. U prvom poglavlju ovog rada, opisan je povijesni razvoj elektroenergetske mreže kao i temeljne razlike između konvencionalnih i naprednih mreža. Drugo poglavlje opisuje pojedine komponente koje su integrirane u elektroenergetsku mrežu te čine istu naprednom. Komponente napredne mreže su inteligentni elektronički uređaji koji pružaju naprednu mogućnost kontrole i automatizacije. Zatim su opisana pametna brojila koja omogućuju praćenje u stvarnom vremenu i dvosmjernu komunikaciju između proizvođača i potrošača, dok fazorske mjerne jedinice pružaju sinkronizirana mjerenja za poboljšanu stabilnost sustava. Komponente naprednog prijenosnog i distribucijskog sustava, poput prijenosnih vodova, trafostanica i ostalih uređaja, su nadograđene pametnim tehnologijama kako bi se preciznije upravljalo električnom energijom. Pametni senzori omogućuju precizna mjerenja parametara elektroenergetskog sustava, a napredne komponente pohrane energije igraju ključnu ulogu u ravnoteži ponude i potražnje, integraciji obnovljivih izvora energije te pomažu u boljitku otpornosti elektroenergetske mreže. Treće poglavlje rada predstavlja praktičnu primjenu pametnog brojila u mikromreži koja predstavlja kupca s vlastitom proizvodnjom i baterijskim sustavom pohrane energije. Praktični dio je rađen u Laboratoriju za obnovljive izvore energije u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Provedena su mjerenja prikupljena u stvarnom vremenu na temelju jednog dana, odnosno 24 sata, a mjere se električne veličine struje, napona i snage u karakterističnim točkama mikromreže te su dobiveni grafovi, koji su objašnjeni, pomoću proračuna.

## **2. OPĆENITO O NAPREDNIM MREŽAMA**

### **2.1. Konvencionalne elektroenergetske mreže**

#### 2.1.1. Povijest elektroenergetske mreže

Prvi sustav izmjenične električne mreže je uspostavljen 1886. godine u Great Barringtonu, Massachusetts, Sjedinjenim Američkim Državama. U početku su mreže bile male, lokalizirane i služile su ograničenom broju potrošača, a djelovale su kao centralizirani jednosmjerni prijenos električne energije, distribucije električne energije i upravljanja prema potrebama potražnje. Tijekom 20. stoljeća mreže su se postepeno širile i postojale sve sofisticiranije te su se na kraju međusobno povezale zbog veće ekonomičnosti i pouzdanosti, a uz to su se razvijale i tehnologije prijenosa i distribucije električne energije. Do 1960.-tih godina, električne su se mreže, u bolje razvijenim državama, razvile u vrlo velike i dobro povezane mreže s velikim brojem, tzv. centralnih elektrana koje su koristile različite izvore energija poput ugljena, nafte, plina i nuklearne energije za proizvodnju električne energije te istu isporučivale, putem mreže, do glavnih potrošačkih centara pomoću dalekovoda velikih kapaciteta. Odatle se električna energija dalje prenosila putem raznih grananja i podjela za opskrbu industrijskih i stambenih potrošača. Već do kasnih 1960.-tih godina, električne mreže su dosegnule veliku većinu stanovništva razvijenih zemalja, a samo su udaljena područja ostala 'izvan mreže' [1].

Od 1970.-tih godina do 1990.-tih godina, sve veća potražnja za električnom energijom rezultira izgradnjom većeg broja elektrana za proizvodnju. No, upravo zbog rastuće potražnje za električnom energijom dolazi do mnogih problema poput loše kvalitete električne energije koju karakteriziraju prenaponi, propadi napona i prekidi napajanja. Potrošači su počeli zahtijevati višu razinu pouzdanosti iz razloga što im je električna energija postajala sve važnija za industriju, grijanje, komunikaciju, rasvjetu, ali i zabavu [1]. Kako je razvoj elektroenergetskih mreža bio, tijekom povijesti, kontinuiran i dinamičan proces, do danas se nije mnogo toga promijenilo zbog izazova i zahtjeva koje stvara konstantni razvoj tehnologije te elektrotehnika kao znanstvena disciplina i industrija.

Sve veća zabrinutost za okoliš ponajviše zbog elektrana na fosilna goriva, podiže svijest o obnovljivim izvorima energije kao alternativni fosilnim gorivima. Međutim, obnovljivi izvori kao što su Sunčeva energija, vjetar, hidroelektrane i druge vrste energija varijabilne su u prirodi što zahtjeva sofisticiraniji sustav upravljanja kako bi se učinkovito integrirali u mrežu. U današnje vrijeme, elektroenergetske mreže su u razvitku kako bi se prilagodile svim potrebama



potrošača i zahtjevima održivosti, a tako je i povećana svijest o potrebi za energetsom učinkovitošću i pametnim sustavima upravljanja mrežom.

### 2.1.2. Mjerenje potrošnje električne energije

Mjerenje potrošnje električne energije ne izvodi se isključivo zbog točnog obračuna potrošnje, već i zbog praćenja tijeka potrošnje električne energije, odnosno praćenja opterećenja u danu ili mjesecu.

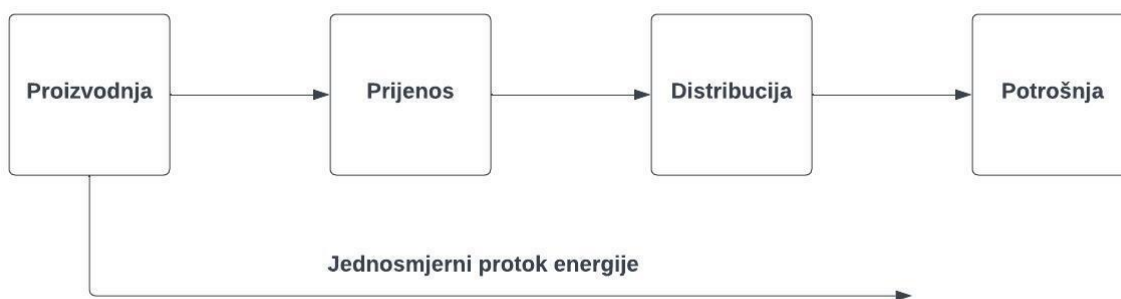
Uobičajeno postoji nekoliko vrhunaca potrošnje električne energije tijekom jednog dana, odnosno 24 sata. Vršna opterećenja obično se pojavljuju u jutarnjim i večernjim satima, točnije kada se ljudi probude ili vrate kući s posla te započnu sa svakodnevnim aktivnostima (upotreba rasvjete, kućanskih aparata, klima uređaja za grijanje ili hlađenje, televizora i drugih uređaja). Bolje rečeno, uobičajeno je da se dnevni vrhunac opterećenja javlja tijekom najveće aktivnosti korisnika, dok se potrošnja smanjuje noću kada je i manja aktivnost.

Dnevno opterećenje je promjenjivo i ono se može mijenjati tijekom vikenda, praznika i sezonskih doba. Na primjer, ljeti je veća potrošnja električne energije zbog korištenja klima uređaja, dok je zimi povećana potrošnja zbog grijanja. Ti faktori su bitni pri planiranju i upravljanju elektroenergetskom mrežom zbog osiguravanja pouzdane isporuke električne energije. Zbog svega toga, izrazito je bitno praćenje dnevnog opterećenja električne energije [1].

Uvedeni su dvotarifni aranžmani kojima je cilj potaknuti potrošače na efikasno korištenje električne energije. Tarifna struktura omogućuje različite cijene električne energije koja ovisi o vremenskom razdoblju, odnosno ona uključuje nižu tarifu, tj. nižu cijenu električne energije noću u odnosu na dnevnu tarifu, tj. višu cijenu kako bi se potaklo potrošače na manju potrošnju električne energije preko dana, a veću potrošnju noću kada je niže opterećenje u elektroenergetskoj mreži. Time se potiče potrošače da svoju potrošnju električne energije pomaknu na noćno razdoblje kada su cijene niže. Na primjer, korištenje određenih uređaja poput perilice rublja, sušilica, punjenje električnih vozila i drugih uređaja. I potrošači i elektroenergetska infrastruktura imaju korist. Potrošači prilagođavajući svoje navike kontroliraju svoju potrošnju što rezultira smanjenjem računa za potrošnju električne energije, a time se smanjuje opterećenje elektroenergetskih mreža. Dvotarifno mjerenje električne energije je praksa koja se odvija u mnogim državama.

### 2.1.3. Konvencionalna elektroenergetska mreža i problemi

Današnje, odnosno postojeće elektroenergetske mreže su oblikovane brзом urbanizacijom i razvojem infrastrukture koje se odvijalo diljem svijeta. Na rast elektroenergetskog sustava utjecali su ekonomski, politički i geografski čimbenici te unatoč takvim razlikama, temeljna struktura elektroenergetskog sustava ostala je nepromijenjena. Današnje mreže (ili konvencionalne elektroenergetske mreže, koje se također nazivaju i tradicionalnim elektroenergetskim mrežama) su mreže koje povezuju različite komponente elektroenergetskog sustava uključujući generatore, transformatore, dalekovode i različite vrste električnih trošila. Glavna namjena im je prijenos električne energije te u njima funkcionira jednosmjernan protok električne energije - od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje.



**Slika 1.** Smjer energije u konvencionalnim mrežama od mjesta proizvodnje prema potrošaču

Velik dio opreme i infrastrukture je instaliran prije mnogo godina te zahtijeva redovito održavanje i nadzor kako bi se osigurala pouzdana opskrba električnom energijom. Glavni izvori energije mrežama su i dalje elektrane na fosilna goriva što također predstavlja ekološki problem, no i problem u konstantnom iscrpljivanju takvih izvora [2]. Konvencionalna mreža se suočava i s mnogim drugim izazovima koji zahtijevaju ažuriranja i poboljšanja.

Konvencionalna su postrojenja za proizvodnju električne energije najčešće izgrađena i grupirana u blizini gradova i prigradskih naselja, stoga isporuka električne energije udaljenim područjima predstavlja problem u procjeni budućih potreba za kapacitetom za prijenosnu i distribucijsku infrastrukturu. Rast zajednica i njihovih energetske zahtjeva dodatno komplicira zadatak predviđanja i planiranja potrebnog kapaciteta infrastrukture za isporuku. Također, za postojeću infrastrukturu predstavlja izazov i povećana potražnja za električnom energijom.

Jedan od najvažnijih zadataka u elektroenergetskim mrežama je uravnoteženje opterećenja, odnosno usklađivanje potražnje za električnom energijom s dostupnom opskrbom. Ako je

potražnja za električnom energijom veća od ponude, tada može doći do kolapsa mreže i električna energija neće biti dostupna, no također je problem ukoliko ponuda premašuje potražnju. Alternativa za rješavanje viška energije je implementacija sustava za pohranu električne energije [2].

Konvencionalne elektroenergetske mreže rade s jednosmjernom interakcijom gdje energija i komunikacija teku isključivo od proizvodnje do korisnika što predstavlja ograničenja u prilagodbi sve većim zahtjevima za energijom, lociranju kvarova u mreži, preusmjeravanju električne energije pa čak i upravljanju rizikom od pregrijavanja dalekovoda što bi rezultiralo gubitkom energije. Infrastruktura konvencionalne mreže je opremljena s nekoliko senzora na određenoj opremi mreže što otežava određivanje mjesta kvara u sustavu i ponekad rezultira dužem isključenju mreže kako bi se locirali kvarovi, a zatim i otklonili. Problemi s čestim kvarovima i prekidima opskrbe su postali uobičajena pojava koja je često uzrokovana prirodnim katastrofama, odnosno nepovoljnim vremenskim uvjetima. No pojavljuju se i tehnički problemi s upravljanjem mreže i praćenjem distribucije energije koje se, zbog nedostatka senzora i upotrebe tradicionalne opreme, oslanjaju na ručne metode [2]. Na primjer, u slučaju kvara u sustavu, potrebno je ručno uspostavljanje napajanja, odnosno tehničari moraju posjetiti mjesto kvara kako bi izvršili popravke i vratili funkcionalnost mreže.

Kako bi se riješili navedeni problemi koji uzrokuju gubitke energije te eventualne štete, aktivno se radi na zamjeni i poboljšanju postojećih elektroenergetskih mreža kako bi ju transformirali u inteligentniju mrežu ugradnjom naprednih komponenti i tehnologija. Napredna mreža nudi rješenja za mnoge gore opisane izazove i probleme usvajanjem tehnologije pametne mreže kojom se omogućuje bolji nadzor, upravljanje i automatizacija mreže poboljšavajući ravnotežu između proizvodnje i potrošnje, otkrivanje kvarova i ponovno uspostavljanje napajanja, a sve to s ciljem učinkovitije proizvodnje, distribucije i potrošnje električne energije.

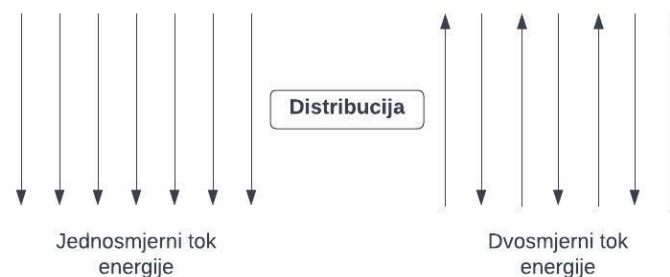
## **2.2. Razvoj naprednih elektroenergetskih mreža**

Napredne elektroenergetske mreže su modernizirane elektroenergetske mreže koje koriste napredne tehnologije i komunikacijske sustave za učinkovito upravljanje proizvodnjom, distribucijom i potrošnjom električne energije. Ovaj sustav omogućuje praćenje, analizu, upravljanje i komunikaciju unutar lanca opskrbe kako bi se poboljšala učinkovitost, smanjila potrošnja energije i troškovi te maksimizirala pouzdanost opskrbe energijom. Koriste pametne

uređaje za nadzor i upravljanje, stoga se napredna elektroenergetska mreža može nazvati i pametna elektroenergetska mreža [3].

### 2.2.1. Razlika naprednih i konvencionalnih elektroenergetskih mreža

Dvosmjerna komunikacija u naprednim elektroenergetskim mrežama odnosi se na mogućnost razmjene podataka i informacija između različitih komponenti unutar elektroenergetskog sustava i opterećenja u oba smjera, od proizvođača do potrošača i zatim natrag od potrošača prema proizvođaču. Takva dvosmjerna razmjena podataka je omogućena pametnim komunikacijskim tehnologijama, a jedna od glavnih tehnologija je AMI (engl. *Advanced Metering Infrastructure*), odnosno napredna mjerna infrastruktura, koja služi za dvosmjernu komunikaciju između pametnog brojila s IP adresom i opskrbljivača električne energije. U konvencionalnim elektroenergetskim mrežama, komunikacija se obično odvaja jednim smjerom gdje informacije teku samo od proizvođača prema potrošaču. Primarna svrha jednosmjerne komunikacije je isporuka električne energije potrošačima bez povratne informacije, odnosno interakcije u stvarnom vremenu [3].



**Slika 2.** Razlika smjera toka energije u konvencionalnim i naprednim mrežama

Napredne elektroenergetske mreže opremljene su tehnologijama samooporavka koje brzo otkrivaju i reagiraju na kvarove ili smetnje u mreži ukoliko se oni dogode. Automatskim preusmjeravanjem električne energije ili izolacijom pogođenih područja, napredne mreže smanjuju utjecaj prekida rada i financijski gubitak, dok konvencionalne mreže obično zahtijevaju ručnu intervenciju za otkrivanje kvara i ponovno uspostavljanje [3]. U konvencionalnim elektroenergetskim mrežama centralizirana proizvodnja uključuje izgradnju velikih elektrana, kao što su elektrane na ugljen, prirodni plin ili nuklearnu energiju, smještene na određenim lokacijama koje proizvode električnu energiju u velikim količinama te ju isporučuju u mrežu. U kontekstu naprednih mreža, distribuirana proizvodnja ima ključnu ulogu jer omogućuje integraciju različitih izvora energije na mjestu potrošnje ili blizu njega. To se

postiče fotonaponskim sustavima, malim vjetroturbinama, gorivnim ćelijama i dr. Distribuirana proizvodnja nudi prednosti poput povećane otpornosti, poboljšane učinkovitosti i lakše integracije obnovljivih izvora energije [1].



**Slika 3.** Razlika proizvodnje u konvencionalnim i naprednim mrežama

U naprednim mrežama daljinska provjera postaje sastavni dio sustava upravljanja mrežom. Napredna mjerna infrastruktura (AMI), napredni elektronički uređaji (engl. *Intelligent Electronic Devices*), inteligentni senzori i komunikacijske mreže omogućuju kontinuirano prikupljanje podataka, praćenje i kontrolu mreže u stvarnom vremenu. Implementacija senzora značajno je proširena i integrirana kroz mrežnu infrastrukturu. Koriste se napredne senzorske tehnologije za prikupljanje podataka u stvarnom vremenu koje pružaju sveobuhvatni nadzor mrežne infrastrukture. Neki ključni tipovi senzora u naprednim mrežama su implementirani u naprednu mjernu infrastrukturu (AMI) kao i u fazorskim mjernim jedinicama (engl. *Phasor Measurement Units*) te senzori koji su distribuirani diljem distribucijskog sustava i dr. Podaci prikupljeni sensorima u pametnoj mreži prenose se putem komunikacijskih mreža do kontrolnog centra te se analiziraju korištenjem naprednih analitičkih tehnika kako bi se omogućilo donošenje odluka u stvarnom vremenu, otkrile greške i kvarovi te poboljšala učinkovitost mreže [3].

S druge strane, u konvencionalnim mrežama ručne provjere podrazumijevaju obavljanje fizičkih pregleda od strane tehničara na terenu koji vrše mjerenja, pregledavaju i održavaju opremu, a sve otkrivene greške i kvarovi prijavljuju se ručno kako bi se poduzele odgovarajuće radnje. Implementacija senzora, u konvencionalnoj mreži, je ograničena i usmjerena samo na kritične komponente u mreži, a neki od uobičajenih tipova senzora su senzori napona i struje, senzori temperature, senzori kvalitete električne energije i senzori kvarova te se najčešće instaliraju na određenim lokacijama kao što su trafostanice ili kritični čvorovi mreže i pružaju lokalizirane informacije o mreži. Podaci prikupljeni od senzora obično se koriste za praćenje, održavanje i rješavanje problema [1].

Skladištenje električne energije ima ključnu ulogu i u konvencionalnim mrežama i u naprednim mrežama kako bi se višak proizvedene električne energije mogao pohraniti, a zatim koristiti kada je to potrebno. Međutim, pristupi skladištenju električne energije se razlikuje između ove dvije mreže. U naprednoj mreži sustavi za pohranu energije imaju veliku važnost jer podržavaju integraciju obnovljivih izvora energije, omogućuju odgovor na potražnju energije i povećavaju pouzdanost mreže. Neke ključne tehnologije pohrane energiju su litij-ionske baterije, protočne baterije, zamašnjaci, superkondenzatori, komprimirani zrak i dr. [1]. U konvencionalnoj mreži sustavi za pohranu energije su ograničeni, a njihova implementacija se obično primjenjuje u većem kapacitetu. Pomažu u ravnoteži ponude i potražnje električne energije, stabilizaciji frekvencije i napona mreže te osiguravaju rezervno napajanje u hitnim slučajevima. Dok su sustavi za pohranu energije u konvencionalnim mrežama često većih razmjera, pohrana energije u naprednim mrežama naglašava veću fleksibilnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava, decentralizirano skladištenje bliže potrošnji i integraciju s naprednim sustavima upravljanja mrežom. Ključne razlike konvencionalnih i naprednih mreža prikazane su u tablici 1 [3].

**Tablica 1.** Ključne razlike konvencionalne mreže i napredne mreže [3]

Konvencionalne mreže	Napredne mreže
Jednosmjerna komunikacija	Dvosmjerna komunikacija
Ručno ponovno uspostavljanje (engl. <i>Manual restoration</i> )	Samooporavak mreže (engl. <i>Self-healing grid</i> )
Centralizirana proizvodnja (engl. <i>Centralized Generation</i> )	Distribuirana proizvodnja (engl. <i>Distributed Generation</i> )
Elektromehanički sustav	Digitalni sustav
Ručna provjera (engl. <i>Manual check/test</i> )	Daljinska provjera (engl. <i>Remote check/test</i> )
Ograničeni sustav nadzora (engl. <i>Blind</i> )	Samonadzor (engl. <i>Self-monitoring</i> )
Kvarovi i prekidi opskrbe (engl. <i>Failures and Blackouts</i> )	Prilagodljiva mreža i otočni sustav (engl. <i>Adaptive and Islanding</i> )
Nema pohrane energije	Pohrana energije
Manji broj senzora (engl. <i>Few sensors</i> )	Senzori u svakom dijelu mreže (engl. <i>Sensors Throughout</i> )
Sporo vrijeme reakcije	Izuzetno brzo vrijeme reakcije

(engl. <i>Slow Reaction time</i> )	(engl. <i>Extremely quick reaction time</i> )
Nedostatak praćenja u stvarnom vremenu (engl. <i>Lack of real time monitoring</i> )	Opsežno praćenje u stvarnom vremenu (engl. <i>Extensive real time monitoring</i> )
Procijenjena pouzdanost (engl. <i>Estimated Reliability</i> )	Predviđena pouzdanost (engl. <i>Predictive Reliability</i> )

### 2.2.2. Prednosti napredne elektroenergetske mreže

Napredne mreže nude brojne prednosti u usporedbi s konvencionalnim mrežama, a neke ključne prednosti su:

- Poboljšana pouzdanost i otpornost mreže
- Poboljšana energetska učinkovitost
- Poboljšana fleksibilnost mreže
- Integracija obnovljivih izvora energije
- Dvosmjerna komunikacija
- Izjednačavanje vršne potrošnje (engl. *Peak leveling*)
- Samooporavak mreže
- Ušteda troškova
- Smanjenje ugljičnog otiska (engl. *Reduce carbon footprint*)
- Nove tehnološke prilike

Napredne mreže koriste napredne tehnologije nadzora i upravljanja za otkrivanje i reagiranje na smetnje i kvarove u mreži u stvarnom vremenu. Ova mogućnost poboljšava pouzdanost mreže smanjenjem trajanja i učestalosti prekida napajanja. Također omogućuju bržu obnovu mreže kroz automatizirano otkrivanje smetnji i njenu izolaciju te mogućnost samooporavka. Integriranjem distribuiranih izvora energije i decentralizirane pohrane energije, napredne mreže povećavaju otpornost mreže tijekom prijelaznog ili poremećenog stanja mreže i prirodnih nepogoda [1].

Potrošači mogu pristupiti detaljnim informacijama o svojoj potrošnji energije što im omogućuje donošenje odluka za smanjenje potrošnje električne energije i troškova. Napredna mjerna infrastruktura (AMI), pametna brojila i sustavi kućnog upravljanja energijom omogućuju potrošačima da prate svoju potrošnju, razumiju obrasce i donose informirane odluke za optimizaciju potrošnje električne energije.

Nadalje, odgovori na potražnju električne energije omogućuju prebacivanje opterećenja i dinamičko određivanje cijena te tako potiču potrošače na prilagođavanje svoje potrošnje električne energije tijekom razdoblja veće potražnje, npr. kako bi se motiviralo potrošače na smanjenu potražnju električne energije, cijene električne energije se povećavaju tijekom razdoblja veće potražnje, a smanjuju tijekom razdoblja niske potražnje. Sve to rezultira u poboljšanju energetske učinkovitosti. No, napredne mreže uštedu pružaju i opskrbljivačima električne energije. Poboljšani rad mreže i smanjeno trajanje prekida rada rezultiraju smanjenjem troškova za opskrbljivačima električne energije [1].

Poboljšana fleksibilnost napredne mreže dopušta veću upotrebu obnovljivih izvora energije kao što su solarna energija i energija vjetra. Trenutna mrežna infrastruktura nije izgrađena kako bi omogućila mnoge distribuirane priključke, a čak i ako su neki izvori energije dopušteni na lokalnoj i distribucijskoj razini, infrastruktura na razini prijenosa to ne može podnijeti. Velike promjene u proizvodnji električne energije preko obnovljivih izvora energije uzrokovane oblačnim ili vjetrovitim vremenom predstavljaju značajne izazove u elektroenergetskoj infrastrukturi zbog stabilizacije razine snage uzrokovane mijenjanjem izlazne snage izvora. Napredne mreže omogućuju praćenje i upravljanje distribuirane proizvodnje u stvarnom vremenu te tako omogućavaju upravljanje varijabilnošću i povremenim pojavama u obnovljivim izvorima. Time podržavaju učinkovitu integraciju različitih obnovljivih izvora energije i smanjuju ovisnost o fosilnim gorivima i doprinose smanjenju emisije štetnih plinova [1].

Ove prednosti naprednih mreža pridonose održivoj, učinkovitoj i pouzdanoj elektroenergetskoj infrastrukturi. Implementacijom naprednih tehnologija, napredne analitike podataka i angažmanom potrošača, napredne mreže transformiraju konvencionalnu elektroenergetsku mrežu u inteligentan sustav sposoban zadovoljiti rastuće energetske potrebe budućnosti.

### 2.2.3. Potreba naprednih elektroenergetskih mreža

Naprednu mrežu karakteriziraju informacije i upravljanje sustavom. Tri primarne veličine koje se kontroliraju su:

- Frekvencija
- Napon
- Struja



## Frekvencija

Važno je uskladiti proizvodnju i potrošnju električne energije kako bi se osigurala stabilnost sustava. Potrošači trebaju primiti električnu energiju na konstantnoj frekvenciji kako bi trošila ispravno radila. Frekvencija, mjerena u Hertzima, se kontrolira osiguravanjem da proizvodnja odgovara potrošnji iz sekunde u sekundu. Budući da za proizvodnju električne energije trenutno dominiraju vrlo velike elektrane, one su vrlo važne u upravljanju frekvencijom, bez obzira na njihov položaj u mreži, jer mogu mijenjati svoju proizvodnju električne energije prema potrebama potrošača [4].

## Napon

Za napon je važno da mora ostati stabilan, a kupci moraju dobiti kvalitetnu električnu energiju unutar određenih naponskih granica kako bi izbjegli oštećenje svojih uređaja. Napon, mjereno u Voltima, kontrolira se pomoću generatora, transformatora i drugih uređaja na lokalnoj razini što znači da se koriste na različitim dijelovima mreže. Kontrola napona na visokonaponskoj prijenosnoj razini već je vrlo sofisticirana, no naponi na velikim udaljenostima mogu značajno varirati. Operater sustava ima mogućnost praćenja napona u prijenosnom sustavu i može ga kontrolirati unutar postavljenih granica. U distribucijskom sustavu niskonaponske razine, koji opskrbljuje kuće i mala poduzeća, nema praćenja ni sposobnosti upravljanja u stvarnom vremenu. Tokovi snaga su vrlo predvidljivi pa tako i varijacije napona koje se mogu izračunati i potvrditi kao prihvatljive [4].

## Struja

Svaki uređaj u mreži ima gornju granicu za vrijednost struje koju može podržati bez oštećenja. Kako bi se izbjegli kvarovi i smetnje, ova ograničenja se moraju poštivati u svakom trenutku, a mjerenja se najčešće izvode na lokalnoj razini. Struja, mjerena u Amperima, primarno se kontrolira prilagodbom proizvodnje i potrošnje električne energije pomoću nadzornih i zaštitnih uređaja. Na razini prijenosne mreže, struja se kontinuirano nadzire i operater sustava upozorava ukoliko se struja približi postavljenim granicama te može naložiti kako da elektrana radi kako bi se smanjio protok struje u jako opterećenim krugovima. U distribucijskoj niskonaponskoj mreži nema potrebe za mjerenjem struje koja teče kroz mrežu, operater samo zna je li struja premašila gornju granicu ako reagiraju zaštitni uređaji. Stoga mreža mora biti projektirana kako bi se ograničenja poštovala u svakom trenutku, čak i kada se pojave smetnje [4].

Neki od razloga za implementaciju naprednih mreža su [1]:

- Toplinska ograničenja
- Radna ograničenja
- Sigurnost opskrbe
- Nacionalne inicijative

Postojeći prijenosni i distribucijski vodovi i njihova oprema imaju ograničenja u mogućnosti prijenosa energije zbog toplinskih ograničenja. Kada se prenosi veća struja od svoje toplinske nazivne vrijednosti, oprema postaje pregrijana, a njezina izolacija brže propada. Preopterećenje može dovesti do oštećenja opreme, smanjenog vijeka trajanja opreme i povećane učestalosti kvarova. Elektroenergetski sustavi rade unutar propisanih ograničenja napona i frekvencije, a prekoračenje tih ograničenja također uzrokuje oštećenje opreme i dovodi do kvarova. Proizvodnja električne energije putem obnovljivih izvora energije postavlja izazove u održavanju ravnoteže proizvodnje i potražnje, ali i frekvencije sustava [1].

Za moderno društvo potrebna je sve pouzdanija opskrba električnom energijom. Tradicionalni pristup instaliranja komponenti i sklopova je skup postupak i ima utjecaj na okoliš. Inteligentna rekonfiguracija pomaže u održavanju opskrbe te smanjuje električne gubitke. Mnoge vladine organizacije potiču inicijative naprednih mreža za modernizaciju elektroenergetske infrastrukture, naročito zbog integracije energetske resursa s niskim udjelom štetnih plinova. Na razvoj napredne mreže gleda se kao na gospodarsku i komercijalnu priliku za stvaranje novih proizvoda i tehnoloških usluga [1].

Zasigurno postoji potreba za promjenu elektroenergetskog sustava kako bi se ispunili ciljevi smanjenja emisije štetnih plinova i prilagodba tehnologijama novih generacija. Glavni pokretač promjena je postizanje vladinih ciljeva za smanjenje emisija štetnih plinova do 2050. godine. Cilj je zamijeniti tehnologiju proizvodnje električne energije na fosilna goriva tehnologijama proizvodnje električne energije s niskom ili nultom emisijom štetnih plinova, stoga sektor opskrbe električnom energijom ima ključnu ulogu u ispunjavanju toga cilja. Različite tehnologije proizvodnje kao što su vjetrogeneratori i fotonaponski sustavi ne mogu se kontrolirati poput konvencionalnog generatora jer se u potpunosti oslanjaju na varijabilan izvor energije. Nuklearni generatori su najprikladniji za proizvodnju osnovnog opterećenja i ne mogu

mijenjati njihovu proizvodnju na način na koji mogu elektrane na ugljen ili plin. Distribuirani generatori, uključujući male obnovljive izvore energije, ali i manje jedinice dizel generatora su manji uređaji priključeni na distribucijsku mrežu i također su slabo kontrolirani.

Ove tehnologije proizvodnje električne energije imaju različite karakteristike i različite razine upravljivosti, a široka primjena ovih tehnologija rezultirat će manje predvidljivim tokom energije te će zahtijevati nove metode uravnoteženja kako bi mreža bila stabilna. Prijenosna mreža se suočava s izazovom uravnoteženja proizvodnje i potrošnje zbog povećane distribuirane proizvodnje. Također se očekuju promjene u niskonaponskoj distribucijskoj mreži jer domovi imaju sve više vlastitih sustava za proizvodnju ili skladištenje električne energije, a problem predstavlja i sve veća prisutnost hibridnih i električnih automobila [4].

Ukratko, konvencionalne mreže stare i suočavaju se s izazovima u ispunjavanju rastućih energetske zahtjeva, a implementacija napredne mreže uključuje napredne tehnologije i komunikacijske sustave za modernizaciju stare infrastrukture. Zahtjevi potrošača sve su veći, a napredne mreže poboljšavaju pouzdanost i otpornost mreže te omogućuje bolje upravljanje energijom. Osim, toga omogućuju operaterima bolju ravnotežu ponude i potražnje, a sve to dovodi do učinkovitije raspodjele resursima i smanjuju potrebu za skupim nadogradnjama elektroenergetske infrastrukture.

#### 2.2.4. Tehnologije naprednih elektroenergetskih mreža

Napredne mreže koriste razne tehnologije za poboljšanje učinkovitosti, pouzdanosti i održivosti elektroenergetskih sustava. Tehnologije se odnose na različite sustave, alate i pristupe koji omogućuju funkcioniranje i optimizaciju napredne mreže. Ove tehnologije obuhvaćaju širok raspon poboljšanja i inovacija, a neke od ključnih tehnologija koje se koriste u naprednim mrežama su [3]:

- AMI (engl. *Advanced Metering Infrastructure*) – napredna mjerna infrastruktura za automatiziranu, dvosmjernu komunikaciju između pametnog mjernog uređaja s IP adresom i poslužitelja
- DR (engl. *Demand Response*) – odgovor na potražnju je tehnologija koja omogućuje potrošačima da prilagode svoju potražnju električne energije na temelju uvjeta u mreži s ciljem uravnoteženja proizvodnje i potražnje te smanjenje vršnog opterećenja

- ADMS (engl. *Advanced Distribution Management System*) – tehnologija koja integrira različite funkcije, uključujući upravljanje prekidima rada, automatizaciju distribucije i optimizaciju mreže s ciljem poboljšanja pouzdanosti distribucijskog elektroenergetskog sustava
- DG (engl. *Distributed Generation*) – distribuirana proizvodnja koja se odnosi na proizvodnju električne energije na mjestu potrošnje
- SCADA (engl. *Supervisory Control And Data Acquisition*) – računalni sustav koji služi za nadzor, prikupljanje i analiziranje podataka
- WAMS (engl. *Wide Area Measurement System*) – mjerni sustav širokog područja pomoću strateško postavljenih senzora koji pružaju točna i sinkronizirana mjerenja
- DER (engl. *Distributed Energy Resources*) – tehnologije koje uključuju obnovljive izvore energije kao što su solarni sustavi, vjetroturbine i sustave za pohranu energije koji proizvode i pohranjuju električnu energiju na lokalnoj razini te pomažu u decentralizaciji proizvodnje električne energije
- EMS (engl. *Energy Management System*) – sustav za upravljanje energijom na mjestu potrošača koja kontrolira potrošnju i pohranu električne energije
- ESS (engl. *Energy Storage Systems*) – tehnologije koje pomažu u ravnoteži proizvodnje i potražnje za električnom energijom, upravljanju povremenom proizvodnjom i osiguravaju rezervno napajanje tijekom prekida električne energije
- EV (engl. *Electric Vehicles*) – integracija električnih vozila u mrežu poboljšava stabilnost mreže, upravljanje vršnim opterećenjima i korištenje obnovljivih izvora energije
- Kibernetička sigurnost (engl. *Cyber security*) – skup tehnologija za zaštitu mreže, računala, programa i podataka od napada, oštećenja ili neovlaštenog pristupa

Ove tehnologije, u kombinaciji s naprednom analitikom, automatizacijom i nadzorom u stvarnom vremenu, omogućuju operaterima da optimiraju rad mreže, poboljšaju energetske učinkovitost, integriraju obnovljive izvore energije i poboljšaju pouzdanost i održivost elektroenergetskog sustava.

### **3. KOMPONENTE NAPREDNIH MREŽA**

Područja primjene naprednih mreža uključuju integraciju pametnih brojala, upravljanje potražnjom, pametnu integraciju proizvedene energije, upravljanje skladištenjem i obnovljivim

izvorima energije, korištenje sustava koji kontinuirano daju podatke iz elektroenergetske mreže. Pametna poboljšanja proširit će se od tehnologija koje se koriste za poboljšanje stabilnosti i pouzdanosti do inteligentnih komponenti, a napredna mreža se sastoji od različitih komponenti koje rade zajedno kako bi omogućile učinkovit, pouzdan i održiv rad elektroenergetskog sustava.

### **3.1. Inteligentni elektronički uređaji (IED)**

Inteligentni elektronički uređaji (engl. *Intelligent Electronic Devices* – IED) imaju ključnu ulogu u naprednim mrežama. Integrirani su na različitim dijelovima elektroenergetskog sustava uključujući trafostanice, distribucijske mreže i objekte potrošača poboljšavajući njihovu funkcionalnost, učinkovitost i pouzdanost. Opremljeni su naprednim senzorima i komunikacijskim protokolima što im omogućuje izvođenje raznovrsnih funkcija kao što su diferencijalna zaštita, distantna zaštita, nadstrujna zaštita, mjerenje i nadzor [3].

Ključne karakteristike inteligentnih elektroničkih uređaja su [3]:

- Praćenje u stvarnom vremenu
- Kontrola i upravljanje mrežom
- Zaštita od kvarova
- Dvosmjerna komunikacija
- Analiza podataka

Inteligentni elektronički uređaji prikupljaju podatke u stvarnom vremenu o različitim parametrima kao što su napon, struja, faktor snage i frekvencija. Ti podaci se koriste za praćenje stanja elektroenergetske mreže, prepoznavanje kvarova i analizu kvalitete električne energije. Omogućuju daljinsko upravljanje i automatizaciju uređaja i opreme u mreži te mogu izvršiti naredbe poput smanjenje opterećenja, regulacije napona i dr. kako bi optimizirali mrežu. Uključuju napredne algoritme zaštite za otkrivanje kvarova ili smetnji te nude brzo reagiranje i izolaciju neispravnih dijelova mreže kako bi se minimizirali poremećaji. Opremljeni su komunikacijskim sučeljima za razmjenu podataka s drugim uređajima i dijelovima mreže, operaterima i sustavima upravljanja. Implementacijom inteligentnih elektroničkih uređaja povećava se pouzdanost, učinkovitost, otpornost i poboljšavaju performanse elektroenergetske mreže [3].

### 3.1.2. Sučelje pametnih uređaja

Komponenta sučelja pametnih uređaja (engl. *Smart Devices Interface Component*) u naprednim mrežama odnosi se na tehnologije i komponente koje omogućuju komunikaciju i interakciju između različitih uređaja i sustava unutar infrastrukture napredne mreže. Obuhvaćaju različita sučelja i brojne protokole koji olakšavaju razmjenu podataka, naredbi i upravljačkih signala koji pružaju informacijske procese u stvarnom vremenu. Oni su neprimjetno integrirani i u rad centralno distribuiranih sustava i u rad daljinsko vođenih elektroenergetskih sustava [3].

#### Komunikacijski protokoli i podatkovno sučelje

Pametni uređaji koriste standardizirane komunikacijske protokole za uspostavljanje komunikacije i nude interakciju između različitih pametnih uređaja, promjenu u radu pametnih uređaja i njegovih usluga. Danas postoje različiti protokoli, a neki su Modbus, DNP3, IEC 61850, Zigbee i dr. Pametni uređaji međusobno komuniciraju kako bi razmjenjivali informacije i podatke, npr. pametna brojila mogu komunicirati s pametnim kućnim uređajima kako bi omogućila upravljanje opterećenjem ili programe za odgovor na potražnju. Uređaji poput pametnih pretvarača u solarnim fotonaponskim sustavima mogu komunicirati sa sustavima upravljanja mrežom kako bi pružili podatke u stvarnom vremenu o proizvodnji električne energije i uvjetima mreže [1][5].

Pametni uređaji imaju podatkovno sučelje koje omogućuje prijenos informacija i podataka između različitih komponenti mreže. Ta sučelja mogu uključivati Ethernet priključke, serijske komunikacijske priključke poput RS-485 i RS-232 te bežična sučelja kao što su Bluetooth ili Zigbee. Podatkovna sučelja omogućuju praćenje, kontrolu i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu putem senzora, pametnih brojila i drugih komponenti mreže.

### **3.2. Pametna brojila**

Napredna mjerna infrastruktura (AMI) uključuje pametna brojila i pripadajuće komunikacijske sustave koji omogućuju mjerenje i praćenje potrošnje električne energije u stvarnom vremenu. Najčešći tip brojila u današnje vrijeme je elektromehaničko brojilo koje samo bilježi potrošnju električne energije tijekom vremena. Elektromehanička brojila se, u objektima potrošača,

ručno očitavaju kako bi se procijenilo koliko je električne energije potrošeno u obračunskom razdoblju.

Pametna brojila su elektronički uređaji koji zamjenjuju elektromehanička brojila i omogućuju dvosmjernu komunikaciju između opskrbljivača i krajnjeg korisnika olakšavajući dinamičko određivanje cijena, daljinsko očitavanje brojila i poboljšano upravljanje energijom. Pametna brojila prikupljaju i prenose podatke o potrošnji operaterima te tako omogućavaju točnu naplatu i upravljanje potražnjom [1]. Najbitnije razlike između elektromehaničkih i pametnih brojila prikazane su u tablici 2.

**Tablica 2.** Razlike elektromehaničkih brojila i pametnih brojila [3]

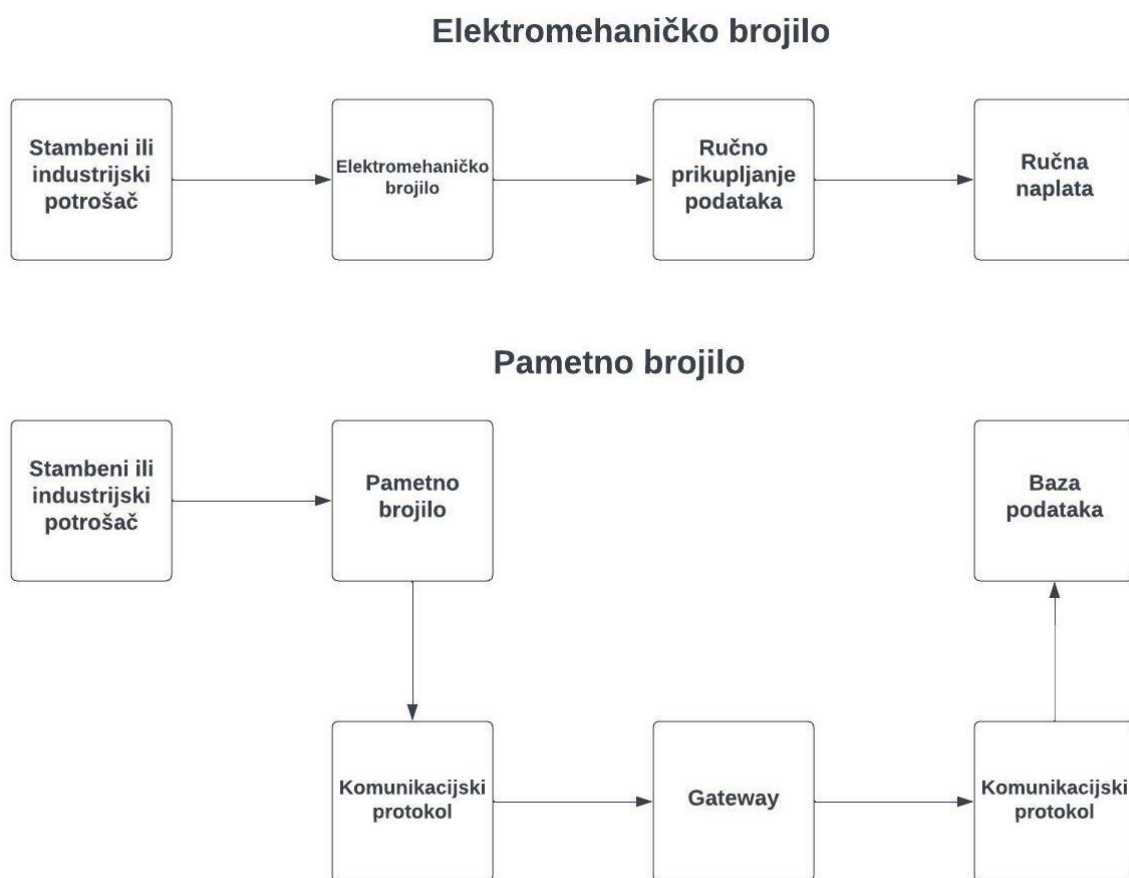
Elektromehanička brojila	Pametna brojila
Analogni s okretnim brojčanikom	Digitalni zaslon s alfanumeričkim znakovima
Mjeri samo koliko je električne energije potrošeno tijekom obračunskog razdoblja	Mjeri koliko i kada se koristi električna energija (s označavanjem vremena i datuma)
Ručno očitavanje brojila	Automatsko očitavanje brojila
Nema komunikacije	Dvosmjerna komunikacija između brojila i operatera

Ključne prednosti pametnih brojila su [3]:

- Dvosmjerna komunikacija
- Automatizirano očitavanje brojila
- Točnost očitavanja brojila
- Praćenje u stvarnom vremenu
- Dinamičke cijene prema vremenu korištenja (engl. *Time-of-Use Pricing*)
- Odgovor na potražnju
- Poboljšana naplata
- Integracija sa kućnim sustavima upravljanja energijom (engl. *Integration with Home Energy Management System*)

Za razliku od elektromehaničkih brojila, pametna brojila eliminiraju potrebu za ručnim očitanjem brojila automatskim prijenosom očitavanja opskrbljivaču električne energije

osiguravajući točno i pouzdano prikupljanje podataka. No, pametna brojila ne samo da prikupljaju ukupnu potrošnju električne energije, već i podatke u stvarnom vremenu uključujući vrijeme korištenja pojedinih uređaja i vrijeme potrošnje električne energije. Budući da su pametna brojila izravno spojena na elektroenergetsku mrežu, postaje mnogo jednostavnije priključiti ili isključiti struju za određeni objekt štedeći time potrebu za osobnim dolaskom tehničara. Sinkronizirana su s elektroenergetskom mrežom omogućavajući tako automatsko otkrivanje smetnji i prekide opskrbe te se time eliminira potreba da potrošači osobno prijave prekid opskrbe što distributerima omogućuje bržu i učinkovitiju reakciju [3]. Funkcionalni blok dijagrama elektromehaničkog i pametnog brojila prikazan je na slici 4.

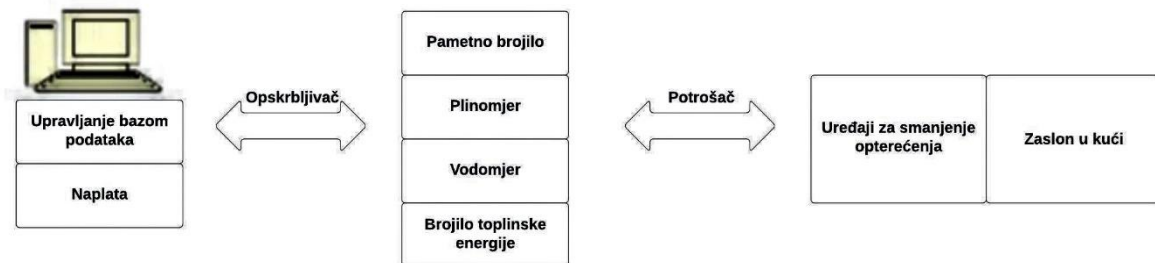


**Slika 4.** Razlike u funkcionalnom bloku dijagrama elektromehaničkog i pametnog brojila [3]

Jedno izolirano pametno brojilo ima ograničenu upotrebu, no ako je većina brojila u nekom objektu pametna, tada operateri mogu imati velike koristi. Pametno mjerenje može se primijeniti i na druge komunalne usluge kao što su plin, voda, grijanje, hlađenje i dr. Pametna brojila se mogu instalirati za sve komunalne usluge ili kao zasebni sustavi ili kao dio zajedničke infrastrukture. Dijeljenje infrastrukture omogućuje smanjenje troškova u pružanju tih usluga.



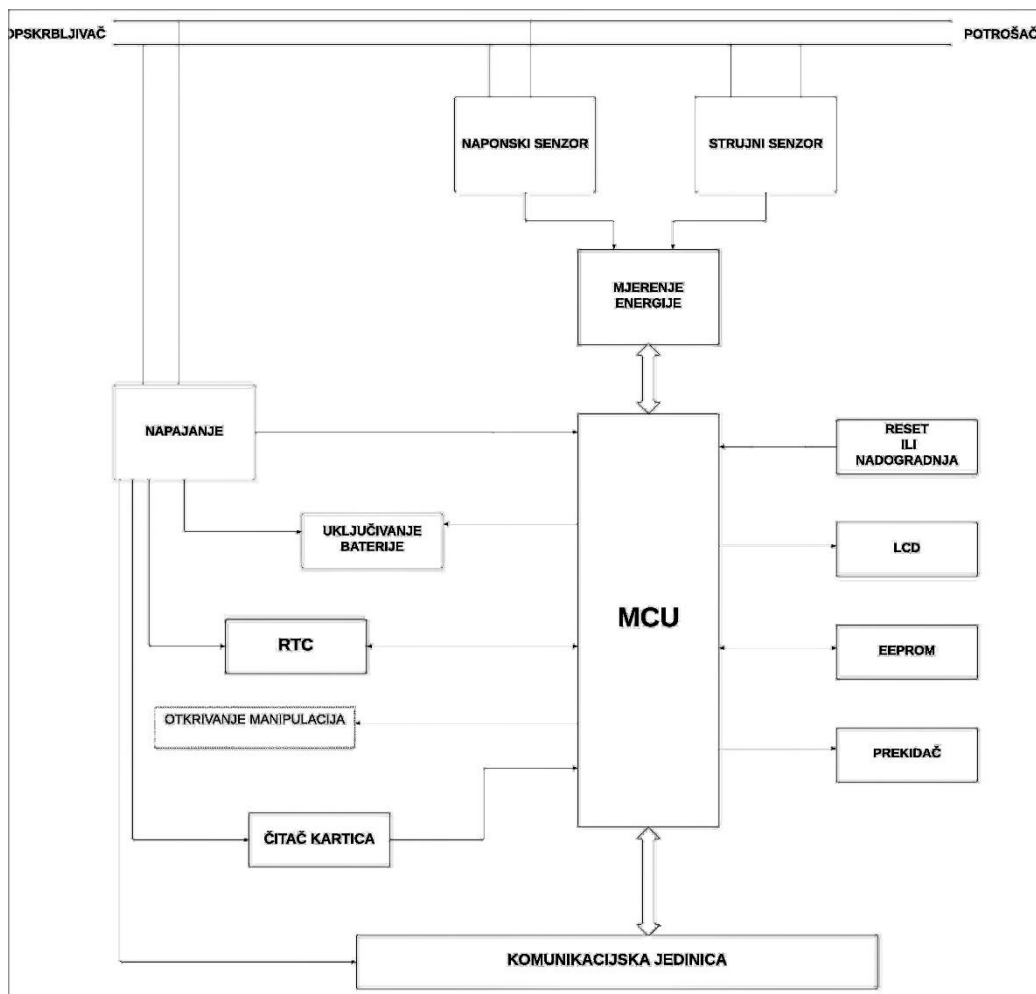
S dodatnim informacijama koje pruža veliki broj pametnih brojila, operateri mogu prema potrebi prilagoditi svoje usluge kako bi poboljšali učinkovitost, pouzdanost, troškove i održivost svojih usluga. Slika 5. prikazuje pregled pametnog mjernog sustava [1].



**Slika 5.** Pregled pametnog mjernog sustava

### 3.2.1. Princip rada pametnih brojila

Arhitektura pametnog brojila podijeljena je u pet odjeljaka, a to su prikupljanje signala, analogno-digitalna pretvorba (ADC), računanje i komunikacija. Pametna brojila ne samo da mogu mjeriti, s viskom točnošću, trenutnu snagu i količinu električne energije potrošene tijekom vremena, već i druge parametre kao što su faktor snage, jalova snaga, napon i frekvencija. Podaci se mogu mjeriti i pohranjivati u određenim intervalima. Slika 6. prikazuje hardversku strukturu pametnog brojila [1].



**Slika 6.** Hardverska struktura pametnog brojila [1]

### Prikupljanje signala

Primarna funkcija pametnog brojila je točno i kontinuirano prikupljanje parametara sustava za daljnje računanje i komunikacijske svrhe. Osnovni električni parametri uključuju napon, frekvenciju, struju i fazni pomak u odnosu na napon. Dodatni parametri kao što su faktor snage, jalova snaga i ukupno harmonijsko izobličenje izvedeni su iz ovih veličina. Senzori struje i napona koriste se za mjerenje električne energije (opterećenje) i napon na mjestu napajanja. Prikupljanje signala odnosi se na proces mjerenja prethodno navedenih parametara pomoću senzora i mjernih instrumenata. Uz prikupljanje signala, važno je i kondicioniranje signala koje uključuje pripremu dobivenih signala prije daljnje obrade i analize. Svrha kondicioniranja signala u pametnim brojilima je poboljšati kvalitetu i točnost prikupljenih signala za pouzdano mjerenje i prijenos podataka. Dobivene signale ponekad treba pojačati ili prigušiti kako bi se osiguralo da su unutar odgovarajućeg mjernog raspona pametnog brojila, a kondicioniranje signala može uključivati filtriranje signala kako bi se uklonili neželjeni šumovi ili smetnje iz

prikupljenih signala te poboljšala kvaliteta signala. Slika 7. prikazuje funkcionalni blok dijagram pametnog brojila [1].



**Slika 7.** Funkcionalni blok dijagram pametnog brojila [1]

Analogno-digitalna pretvorba (engl. *Analogue to Digital Conversion* - ADC)

Analogno-digitalna pretvorba je ključni proces u pametnim brojilima koji uključuje pretvaranje analognih signala, kao što su mjerenja struje i napona, u digitalni format. ADC je neophodan jer pametna brojila obično rade s digitalnim sustavima koji obrađuju, pohranjuju i prenose podatke. Prvi korak u ADC je uzorkovanje signala gdje se kontinuirani analogni signal uzorkuje u pravilnim intervalima. Frekvencija uzorkovanja određuje koliko se često analogni signal mjeri i pretvara u digitalne vrijednosti. U pametnim brojilima, frekvencija uzorkovanja je obično visoka kako bi se osigurao što precizniji prikaz analognog signala. Nakon uzorkovanja, signal treba kvantizirati. Kvantizacija uključuje dodjeljivanje digitalne vrijednosti (bita) svakoj uzorkovanoj točki. Razlučivost ADC-a određuje broj bitova koji se koriste za predstavljanje svakog uzorka i utječu na razinu detalja, a ADC-ovi veće rezolucije mogu pružiti točnija mjerenja. Kvantizirani uzorci se zatim kodiraju u binarne brojeve koji predstavljaju digitalni prikaz analognog signala. Posljednji korak analogno-digitalne pretvorbe je izlaz digitalnih vrijednosti koje se mogu obraditi, pohraniti ili prenijeti unutar pametnog mjernog sustava. Digitalni podaci se mogu dalje analizirati, koristiti za potrebe naplate ili prenijeti operaterima za praćenje i upravljanje potrošnjom [1].

Računanje

Računanje u pametnim brojilima odnosi se na proces izvođenja izračuna i obrade podataka unutar mjernog sustava. Pametna brojila su opremljena računalnim funkcijama za analizu prikupljenih podataka. Računalne operacije su podijeljene na aritmetičke operacije na ulazne signale, vremensko označavanje podataka, pohranu podataka, ažuriranje sustava, pripremu podataka za komunikaciju ili izlazne uređaje. Blok dijagram prikazan na slici 8. prikazuje funkcionalne blokove povezane s računalnim funkcijama pametnog brojila [1].



**Slika 8.** Blok dijagram računalnih funkcija pametnog brojila [1]

Zbog velikog broja aritmetičkih operacija, pametna brojila koriste digitalnu obradu signala (engl. *Digital Signal Processor – DSP*) koji izvodi matematičke proračune i algoritme uključujući zbrajanje, oduzimanje, množenje i dijeljenje. Ove operacije su bitne za izračun potrošnje električne energije, faktora snage, ukupnog harmonijskog izobličenja i dr. Računanje u pametnim brojilima zahtjeva memoriju, a implementirane su dva tipa i to su hlapljiva memorija (engl. *Volatile memory*) i trajna memorija (engl. *Non-volatile memory*). Hlapljiva memorija podržava operacije obrade, a potrebna količina takve memorije ovisi o količini, brzini i složenosti izračunavanja kao i o brzini komunikacije. Trajna memorija je neophodna za pohranjivanje specifičnih informacija poput serijskih brojeva jedinica i kodova za pristup održavanju. Osim toga, podatke koji se odnose na potrošnju energije treba čuvati dok se uspješno ne priopće operateru [1].

### Komunikacija

Pametna brojila su opremljena komunikacijskim sustavima koji im omogućuju prijenos i primanje podataka korištenjem različitih komunikacijskih tehnologija uključujući žične veze (Ethernet) ili bežične tehnologije (Wi-Fi, infracrvenu vezu, GSM/4G/5G mobilnu mrežu, Bluetooth ili Zigbee), a često komuniciraju i preko GX uređaja [1].

### 3.2.2. Karakteristike pametnih brojila

#### 1. Podaci o potrošnji energije

Tradicionalni pristup mjerenju energije (električna energija, voda, plin, grijanje) uvelike se oslanjao na ručne napore operatera što je rezultiralo ograničenim pristupom točnim podacima o potrošnji. Ograničenje je utjecalo na točnost potrošačkih računa i sposobnost operatera da učinkovito komunicira s potrošačem. Uvođenje pametnog brojila mijenja koncept o dostupnosti i korisnosti podataka o potrošnji. Pružanjem detaljnih informacija o potrošnji, pametna brojila povećavaju svijest potrošača o korištenju energije te im omogućuje donošenje informiranih odluka. Očekuje se da će ove promjene dovesti do značajnih promjena u ponašanju potrošača [1].

##### 1.1. Bolja naplata

Pametna brojila omogućuju operaterima generiranje točnih računa potrošačima o stvarnoj potrošnji. Takav postupak naplate omogućuje operaterima da daju savjete o potrošnji električne energije i omogućivanje potrošačima vizualizaciju dugoročnih planova o njihovoj potrošnji. Imajući pristup detaljnim podacima o potrošnji, potrošači mogu steći bolje razumijevanje o svojoj potrošnji električne energije [1].

##### 1.2. Online podaci

Mnogi operateri svojim klijentima pružaju portale na web stranicama na kojima mogu vidjeti svoje račune. S podacima koje dobivaju od pametnih brojila, potrošači mogu usporediti svoju potrošnju i provesti analizu za buduću uštedu električne energije [1].

##### 1.3. Povratne informacije u stvarnom vremenu

Pametna brojila omogućuju povratne informacije potrošačima u stvarnom vremenu o njihovoj potrošnji energije. Preko komunikacijskog sučelja podaci se mogu izravno prenositi na zaslone u objektu ili u softverske aplikacije. Ove povratne informacije omogućuju potrošačima da vide učinak uključivanja i isključivanja uređaja pomažući im tako u razumijevanju svoje potrošnje. Osim toga, potrošači mogu postaviti alarme koji će ih upozoriti na visoku potrošnju. S izravnim povratnim informacijama o potrošnji energije, potrošači mogu napraviti prilagodbe kako bi smanjili svoju potrošnju bez ugrožavanja kvalitete života [1].

#### 2. Ugovori o opskrbi kupaca

Trenutno elektromehanička brojila dopuštaju samo operaterima da ponude jednostavne ugovore o opskrbi stambenim potrošačima i oslanjaju se na procijenjene obrasce o potrošnji električne energije, a ne na precizne podatke. Pametna brojila omogućuju operaterima da ponude raznovrsnije ugovore [1].

### 2.1. Odgovor na potražnju

Pametna brojila imaju sposobnost prilagodbe šireg raspona tarifa s obzirom na vremensko korištenje električne energije, omogućavajući operaterima da primjene različite cijene temeljene na doba dana i stvarnim troškovima proizvodnje električne energije. S pametnim brojilima, operateri mogu uvesti ugovore koji uključuju premijske tarife tijekom razdoblja visoke potražnje, poznate kao kritične vršne tarife (engl. *Critical Peak Pricing* – CPP). Komunikacijsko sučelje se tada koristi za obavještanje potrošača unaprijed o nadolazećim vršnim cijenama [1].

### 2.2. Dinamičke tarife

Pametna brojila omogućuju veću fleksibilnost o ponudama opskrbe, a potrošači mogu aktivno reagirati na cijene.

### 2.3. Upravljanje opterećenjem

Opskrbljivači električnom energijom mogu potrošačima ponuditi ugovor koji im omogućuje daljinsko upravljanje opterećenjem. Na primjer, operater može daljinski podići zadanu vrijednost za termostat klime uređaja u posjedu potrošača. Iako potrošač neće primijetiti veliku razliku, ukupno smanjenje opterećenja može pomoći u održavanju rezervnog kapaciteta na sigurnim razinama te tako spriječiti kvarove elektroenergetskog sustava i sniziti troškove [1].

### 2.4. Energetske usluge

Dvosmjerna komunikacija pametnih brojila dat će operaterima mogućnost korištenja detaljnih podataka i informacija o potrošnji s ciljem stvaranja novih i inovativnih energetske usluga.

### 2.5. Plaćanje unaprijed

Pametna brojila opremljena prekidačem mogu se daljinski konfigurirati ili kao brojilo s plaćanjem unaprijed ili kao kreditno brojilo što omogućuje potrošačima laku promjenu ugovora.

## 2.6. Promjene uloge potrošača

Decentralizirana proizvodnja električne energije, poput solarnih sustava i malih vjetroelektrana, postat će važnija u budućnosti. Tradicionalna uloga kupca će se promijeniti kako on povremeno postaje proizvođač električne energije, prodajom viška električne energije proizvedene lokalno, ili potrošač. Pametna brojila mogu podržati proces mjerenjem ne samo potrošene električne energije, već i proizvedene energije te mogu prenijeti te podatke operaterima [1].

## 3. Bolje vođenje energetskeg poslovanja

Pametna brojila transformiraju način na koji operateri vode svoje poslovanje te smanjuju troškove opskrbe s velikim prednostima i za operatere i za potrošače [1].

### 3.1. Upravljanje brojilom

Pametna brojila se mogu daljinski isključiti, a njihovo sučelje ažurirati od strane operatera bez odlaska na teren.

### 3.2. Zaštita od prevare

Pametna brojila nude sofisticiranu tehnologiju za otkrivanje prijevara i sprječavanja napada štiteći tako prihode opskrbljivača i zadržavanje niskih cijena za potrošače.

### 3.3. Upravljanje mrežom

Kroz podatke o potrošnji električne energije u stvarnom vremenu, pametna brojila omogućuju preciznije predviđanje potrošnje električne energije što poboljšava upravljanje elektroenergetskom mrežom i procese planiranja [1].

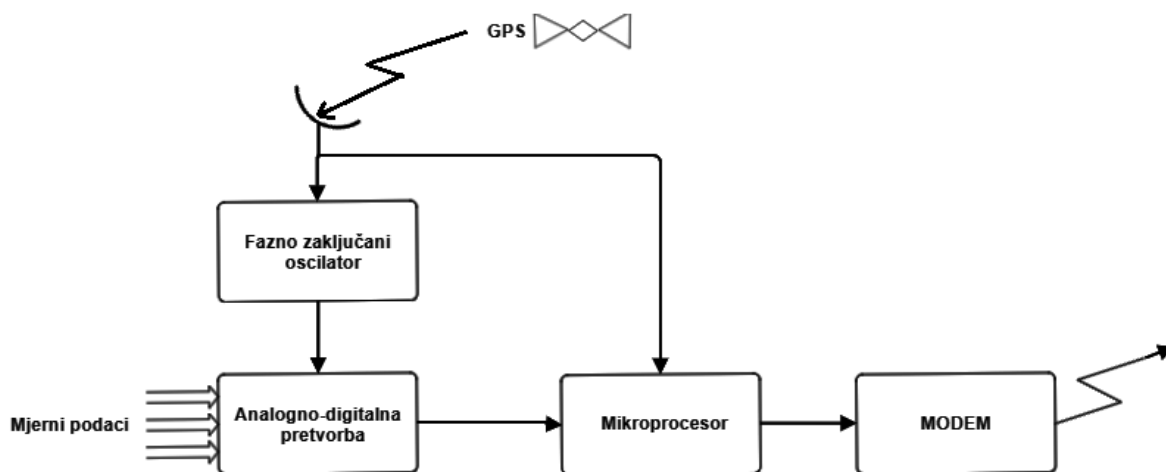
## 3.3. Fazorske mjerne jedinice (PMU)

Fazorske mjerne jedinice (engl. *Phasor Measurement Units* – PMU) su elektronički uređaji koji, putem komponenti za digitalnu obradu signala, mjere valne oblike izmjenične struje i napona te ih pretvaraju u fazore. Oni pružaju sveobuhvatan opis fazorskih veličina u smislu njihove amplitude i faznog odnosa. Fazorske veličine bitne su za analizu ponašanja i stabilnosti elektroenergetskih sustava. Iz uzoraka struje i napona, izračunavaju se veličine i fazni kutovi signala struje i napona u fazorskom mikropocesoru (engl. *Phasor Micropocessor Unit*). Analogni signali se pretvaraju analogno-digitalnom pretvorbom u digitalne signale koje

obrađuju fazorski mikropocesori koristeći GPS sustav (engl. *Global Positioning System*) za pružanje sinkroniziranih mjerenja fazorskih veličina te su postavljeni po cijelom elektroenergetskom sustavu s ciljem prikupljanja sinkroniziranih informacija koje prikupljaju koncentratori fazorskih podataka (engl. *Phasor Data Concentrators – PDC*) te ih zatim prenose u centralnu kontrolnu jedinicu gdje se nalazi sustav kontrole i prikupljanja podataka (SCADA sustav). Koncentratori fazorskih podataka (PDC) djeluju kao središnji agregatori podataka omogućavajući praćenje, analizu i kontrolu fazorskih veličina u stvarnom vremenu u elektroenergetskom sustavu. Fazorske mjerne jedinice imaju veliku važnost u mjernim sustavima širokog područja (WAMS) [3]. Različite komponente fazorske mjerne jedinice prikazane su blok dijagramom na slici 9., dok su na slici 10. prikazane komponente koncentratora fazorskih podataka.



**Slika 9.** Komponente fazorske mjerne jedinice [3]



**Slika 10.** Komponente koncentratora fazorskih podataka [3]



### 3.4. Komponente prijenosnog sustava napredne mreže

Komponente prijenosnog sustava imaju vrlo važnu ulogu u učinkovitom i pouzdanom prijenosu električne energije putem elektroenergetske mreže. Obuhvaćaju različite tehnologije koje omogućuju prijenos velike količine električne energije od proizvođača do distribucijskih sustava ili velikih industrijskih potrošača. Prijenosni vodovi trebaju podnijeti dinamičke promjene opterećenja i nepredviđene situacije bez prekida opskrbe. Kako bi se postigli ti ciljevi, napredne komponente na razini prijenosa opskrbe uključuju razvoj analitičkih metoda i naprednih tehnologija za analizu performansi poput alata za dinamički optimalni protok snage, robusnu procjenu stanja, procjenu stabilnosti u stvarnom vremenu i alate za simulaciju tržišta. Napredne komponente kao što su fazorske mjerne jedinice (PMU), senzori i komunikacijske tehnologije koriste se za poboljšanje funkcionalnosti prijenosnog sustava i omogućavanje naprednih operacija za prijenos opskrbe [1].

Prijenosni vodovi osiguravaju prijenos električne energije na velike udaljenosti, obično pri visokim naponima, kako bi se smanjili gubici tijekom prijenosa. Projektirani su za prijenos velikih kapaciteta te su opremljeni odgovarajućom izolacijom i sigurnosnim mehanizmima. Trafostanice služe kao prekretnica između visokonaponskih prijenosnih vodova i distribucijskih sustava nižih napona. Sadrže različitu opremu kao što su transformatori, sklopke i zaštitni uređaji za kontrolu razina napona te tako osiguravaju stabilnost mreže i olakšavaju učinkovit prijenos električne energije. Transformatori se koriste, prema potrebi, za povećanje ili sniženje napona kako bi se ostvario učinkovit prijenos na velike udaljenosti. U trafostanicama se najčešće koriste za snižavanje napona na zadovoljavajuće razine za daljnju distribuciju do potrošača [5].

#### Zaštitni i kontrolni sustavi

Prijenosni sustavi koriste sofisticirane zaštitne i upravljačke sustave za nadzor i upravljanje protokom električne energije. Ti sustavi uključuju zaštitne releje, detektore kvarova i automatizirane upravljačke uređaje koji otkrivaju preopterećenja ili kvarove te izoliraju ili preusmjeravaju napajanje kako bi osigurali stabilnost mreže.

#### Sustav za praćenje širokog područja (WAMS)

Sustavi za praćenje širokog područja (WAMS) koriste napredne tehnologije za praćenje, uključujući fazorske mjerne jedinice (PMU) kako bi pružili informacije u stvarnom vremenu o situaciji u prijenosnoj mreži. Fazorske mjerne jedinice mjere fazore napona i struje na

različitim lokacijama omogućavajući operaterima da procjene stabilnost mreže, identificiraju na vrijeme potencijalne probleme i poduzmu radnje kako bi mreža ostala pouzdana i sigurna [1].

#### Komunikacija

Prijenosni sustav se oslanja na robusnu komunikacijsku mrežu kako bi se omogućila razmjena podataka i informacija u stvarnom vremenu. Komunikacijski sustavi implementirani u prijenosni sustav olakšavaju integraciju nadzornih, kontrolnih i zaštitnih uređaja osiguravajući učinkovit rad prijenosne mreže [1].

Integracija naprednih komponenti u prijenosnom sustavu elektroenergetske mreže poboljšava pouzdanost mreže, otkrivanje kvarova te učinkovitu integraciju obnovljivih izvora energije.

### **3.5. Komponenta distribucijskog sustava napredne mreže**

Na razini distribucije elektroenergetskog sustava implementiraju se inteligentne tehnologije i komponente kako bi se poboljšale mogućnosti automatizacije i nadzora te učinkovitost i pouzdanost mreže. Obuhvaća različite tehnologije koje omogućuju prijenos električne energije od prijenosnog sustava do krajnjih potrošača kao što su stambeni objekti, poduzeća i manje industrije. Implementirane su napredne tehnologije koje uključuju korištenje pametnih brojlara, pametnih senzora, komunikacijskih sučelja, komponenti za upravljanje energijom i napredna mjerna infrastruktura (AMI) sa svrhom prikupljanja podataka, otkrivanja smetnji ili kvarova, optimiziranja razine napona, upravljanja opterećenjima i omogućavanja učinkovite distribucije električne energije [1].

Komponente distribucijskog sustava napredne mreže uključuju različite značajke kao što su:

#### Sustavi upravljanja energijom

Implementirani su napredni sustavi upravljanja energijom (engl. *Energy Management Systems* – EMS) za optimizaciju korištenja električne energije, poboljšanje ravnoteže opterećenja i podrška tehnologijama za odgovor na potražnju. Omogućuju operaterima da učinkovito upravljaju opskrbom i potražnjom električne energije, poboljšavaju stabilnost mreže i integriraju obnovljive izvore energije [1].

### Napredna mjerna infrastruktura

Implementacija pametnih brojila i napredne mjerne infrastrukture (AMI) omogućuje dvosmjernu komunikaciju između opskrbljivača i potrošača. Pametna brojila mjere i prate potrošnju električne energije u stvarnom vremenu te daju točne podatke o naplati i omogućuju potrošačima da aktivno sudjeluju u upravljanju energije [5].

### Komunikacija

Uspostavljena je robusna komunikacija kako bi se olakšala komunikacija između operatera, distribucijske opreme i krajnjih potrošača. Omogućuje razmjenu podataka u stvarnom vremenu, daljinsko upravljanje i nadzor uređaja [5].

Napredne komponente distribucijskog sustava omogućuju povećanje otpornosti i fleksibilnosti mreže. To uključuje implementaciju raznih tehnologija za upravljanje i oporavak od poremećaja, integraciju distribuirane proizvodnje električne energije i podršku za buduću modernizaciju mreže.

### Pametna trafostanica

Prisutniji su sve češće problemi s kvalitetom električne energije zbog sve veće prisutnosti distribuirane proizvodnje. Kako bi se riješili ti izazovi, trafostanice se modificiraju inteligentnim i naprednim metodama. Komponente pametnih trafostanica sastoje se od različitih podsustava uključujući sustav automatizacije, sustav upravljanja radom, komunikacijski sustav i dr. Svi sustavi rade zajedno kako bi se ispunile određene funkcije omogućavajući tako učinkovit rad uređaja, otkrivanje i kontrola smetnji, prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, pružanje nadzora i upravljanje (SCADA) [3].

Značajke pametne trafostanice [3]:

- Poboljšanje kvalitete električne energije
- Upravljanje naponom
- Odgovor na potražnju
- Sustavi za lokalno upravljanje i daljinski nadzor
- Dvosmjerna komunikacija

### **3.6. Pametni senzori**

Pametni senzori su uređaji koji sadržavaju mikroprocesore za obrađivanje i kondicioniranje signala prije nego što ih pošalju drugim uređajima ili operateru. Filtriraju neželjeni šum i kompenziraju greške dajući tako pouzdane i točne informacije. Mogu mjeriti i nadzirati razine napona, kvalitetu i protok električne energije, temperaturu, vlažnost i uvjete okoline. Omogućuju praćenje mreže u stvarnom vremenu te doprinose ukupnoj pouzdanosti, učinkovitosti i otpornosti elektroenergetske mreže. Pametni senzori također podržavaju integraciju obnovljivih izvora energije i sustava za pohranu energije u mrežu. Mogu pratiti izvedbe solarnih sustava, manjih vjetroelektrana i baterija pružajući uvide za upravljanje energijom i optimizaciju mreže [3].

Prednosti integracije pametnih senzora [3]:

- Lakše održavanje
- Veća pouzdanost
- Daljinski nadzor i kontrola
- Niži trošak
- Laka instalacija i manja težina opreme

### **3.7. Komponenta pohrane energije**

Zbog promjenjive prirode obnovljivih izvora energije, neophodna je integracija odgovarajućeg sustava za pohranu energije kako bi se uravnotežilo opterećenje te smanjili troškovi proizvodnje i distribucije električne energije. Skladištenje energije osigurava stabilizaciju mreže, osobito s porastom proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora. Postoji nekoliko opcija z tehnologije skladištenja energije, a to su napredne baterije, protočne baterije, reverzibilne hidroelektrane, komprimirani zrak, superkondenzatori i zamašnjaci [3].

#### **3.7.1. Baterije**

Baterije pohranjuju energiju u kemijskom obliku tijekom punjenja i prazne električnu energiju kada su spojene na opterećenje. U najjednostavnijem obliku, baterija se sastoji od dvije elektrode smještene u elektrolitu te imaju široku primjenu kao sustav za skladištenje energije zbog svoje pouzdanosti i sposobnosti skladištenja energije na dulje razdoblje. U naprednim mrežama, baterije se koriste za pohranjivanje viška električne energije tijekom razdoblja niske potražnje ili povećane proizvodnje energije preko obnovljivih izvora, a prazne se kada je

potražnja za energijom visoka ili kada je smanjena proizvodnja energije preko obnovljivih izvora. Pomažu uravnoteženju ponude i potražnje električne energije, poboljšavaju stabilnost mreže i poboljšavaju integraciju obnovljivih izvora energije [1].

U naprednim mrežama, koriste se različite vrste baterije, a to su [1]:

- Litij-ionske baterije – obično se koriste zbog svog dugog vijeka trajanja, veće gustoće energije i niske stope samopražnjenja. Najčešće su integrirane kao distribuirani sustav za pohranu energije, a posebno s razvojem upotrebe u električnim vozilima.
- Olovno-kiselinske baterije (engl. *Lead-acid batteries*) – imaju manju gustoću energije u usporedbi s litij-ionskim baterijama, no ipak su pouzdane i isplative. Obično se koriste u sustavima rezervnog napajanja.
- Protočne baterije – sadrže dva elektrolita u kojima pohranjuju energiju te se elektrokemijska reakcija odvija prijenosom iona, a elektrode ne sudjeluju u kemijskoj reakciji te se tako ne troše i dugog su vijeka trajanja.
- Natrij-ionske baterije – pojavljuju se kao alternativa litij-ionskim baterijama i nude slične karakteristike

Baterije u naprednim mrežama su obično integrirane s naprednim sustavima upravljanja energijom te to omogućuje praćenje u stvarnom vremenu, optimizaciju ciklusa punjenja i pražnjenja te koordinaciju s obnovljivim izvorima energije. Korištenje baterija kao komponenti za pohranu energije u naprednim mrežama uključuje osiguranje rezervnog napajanja tijekom prekida rada, smanjenje vršnog opterećenja, uravnoteženje opterećenja, regulaciju frekvencije i otpornost mreže. Baterije također pridonose dekarbonizaciji elektroenergetskog sustava integracijom obnovljivih izvora energije i smanjenjem ovisnosti o proizvodnji električne energije putem fosilnih goriva.

### 3.7.2. Superkondenzatori

Superkondenzatori, također poznati kao ultrakondenzatori, su uređaji visokih performansi za pohranu energije s visokom gustoćom i snagom, a karakterizira ih visoka učinkovitost i dugi životni vijek. Superkondenzatori pohranjuju električnu energiju odvajanjem naboja između elektrode i elektrolita, a njihova prednost je sposobnost brzog punjenja i pražnjenja bez gubitka učinkovitosti što ih čini prikladnima u sustavima koji zahtijevaju brzu i čestu isporuku energije pružajući stabilnost i učinkovitost što ih čini korisnim za sustave pohrane energije u naprednim

mrežama. Superkondenzatori mogu učinkovito raditi u širokom rasponu temperatura što omogućuje pouzdan rad u različitim uvjetima okoline [1].

Prednosti superkondenzatora:

- Visoka gustoća snage
- Visoka učinkovitost
- Dugi životni vijek
- Tolerancija na temperaturu
- Brz odgovor

### 3.7.3. Supravodljivo magnetsko skladištenje energije

Supravodljivo magnetsko skladištenje energije (engl. *Super Conducting Magnetic Energy Storage – SMES*) je vrsta sustava za pohranu energije koji koristi supravodljive materijale i magnetska polja za pohranu i oslobađanje električne energije. Sastoji se od tri glavne komponente: supravodljive zavojnice, sustava za kondicioniranje energije i kriogenog sustava. Električna energija se pohranjuje u obliku magnetskog polja koje stvara supravodljiva zavojnica kada istosmjerna struja prolazi kroz nju. Otpor zavojnice je zanemariv zbog supravodljivosti što osigurava da se pohranjena energija ne smanjuje tijekom vremena. Kako bi se održalo stanje supravodljivosti, zavojnicu treba držati na temperaturama ispod granične temperature supravodljivosti, a to osigurava kriostat koji obično radi na oko 50 – 70 Kelvina te pruža hlađenje zavojnice.

Sustav za kondicioniranje energije odgovoran je za kontrolu punjenja i pražnjenja supravodljive zavojnice te upravlja protokom električne energije osiguravajući učinkovito i pouzdano skladištenje električne energije. Kriogeni sustav je potreban za održavanje supravodljivog stanja zavojnice, a uključuje kriostat koji osigurava potrebno hlađenje koje se obično postiže pomoću tekućeg helija. U usporedbi s drugim tehnologijama pohrane energije, SMES sustav pokazuje minimalne gubitke energije tijekom procesa punjenja i pražnjenja te omogućuje brži prijenos energije u mrežu i iz nje. SMES sustav ima dugi životni vijek i visoku učinkovitost što ga čini pouzdanim i održivim rješenjem za pohranu električne energije u naprednim mrežama [1].

Značajke SMES sustava su [1]:

- Sposobnost apsorpiranja i isporuke velike količine energije
- Visoka učinkovitost
- Dugi vijek trajanja
- Brzi odziv
- Minimalno održavanje

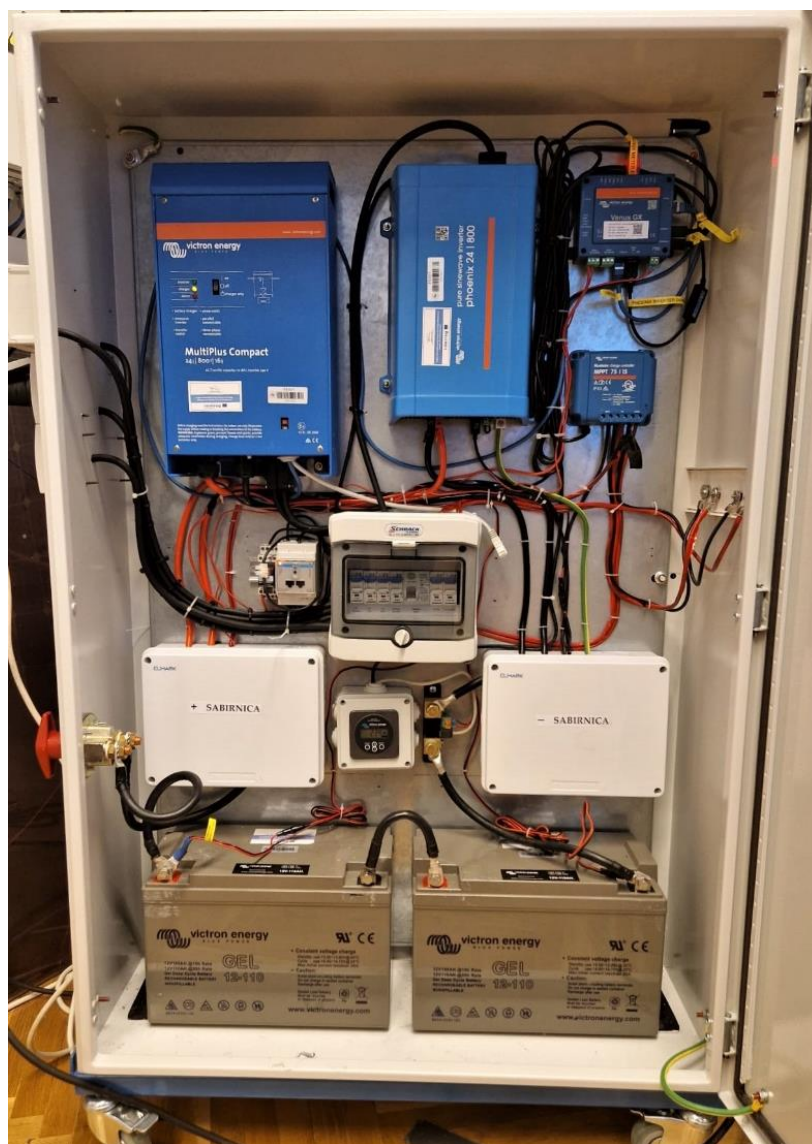
#### 3.7.4. Zamašnjaci

Zamašnjaci su uređaji za pohranu energije koji pohranjuju kinetičku energiju u rotirajućoj masi i oslobađaju je kada je potrebna električna energija. Prvenstveno se koriste za potrebe kvalitete električne energije i kao izvori energije za neprekidno napajanje (UPS). U usporedbi s ostalim metodama za pohranu energije, na zamašnjake manje utječu temperaturne promjene te mogu raditi unutar šireg temperaturnog raspona i nisu sklони čestim kvarovima. Zamašnjaci se smatraju ekološki prihvatljivijima jer su uglavnom izrađeni od inertnih materijala [1].

Zamašnjak funkcionira kao rotirajući mehanički uređaj sa svojstvom momenta inercije što ga čini otpornim na promjene brzine vrtnje. Količina energije pohranjena u zamašnjaku proporcionalna je kvadratu njegove brzine vrtnje. Energija se prenosi na zamašnjak primjenom zakretnog momenta kako bi se povećala njegova brzina vrtnje i, posljedično tome, njegova pohranjena energija [1].

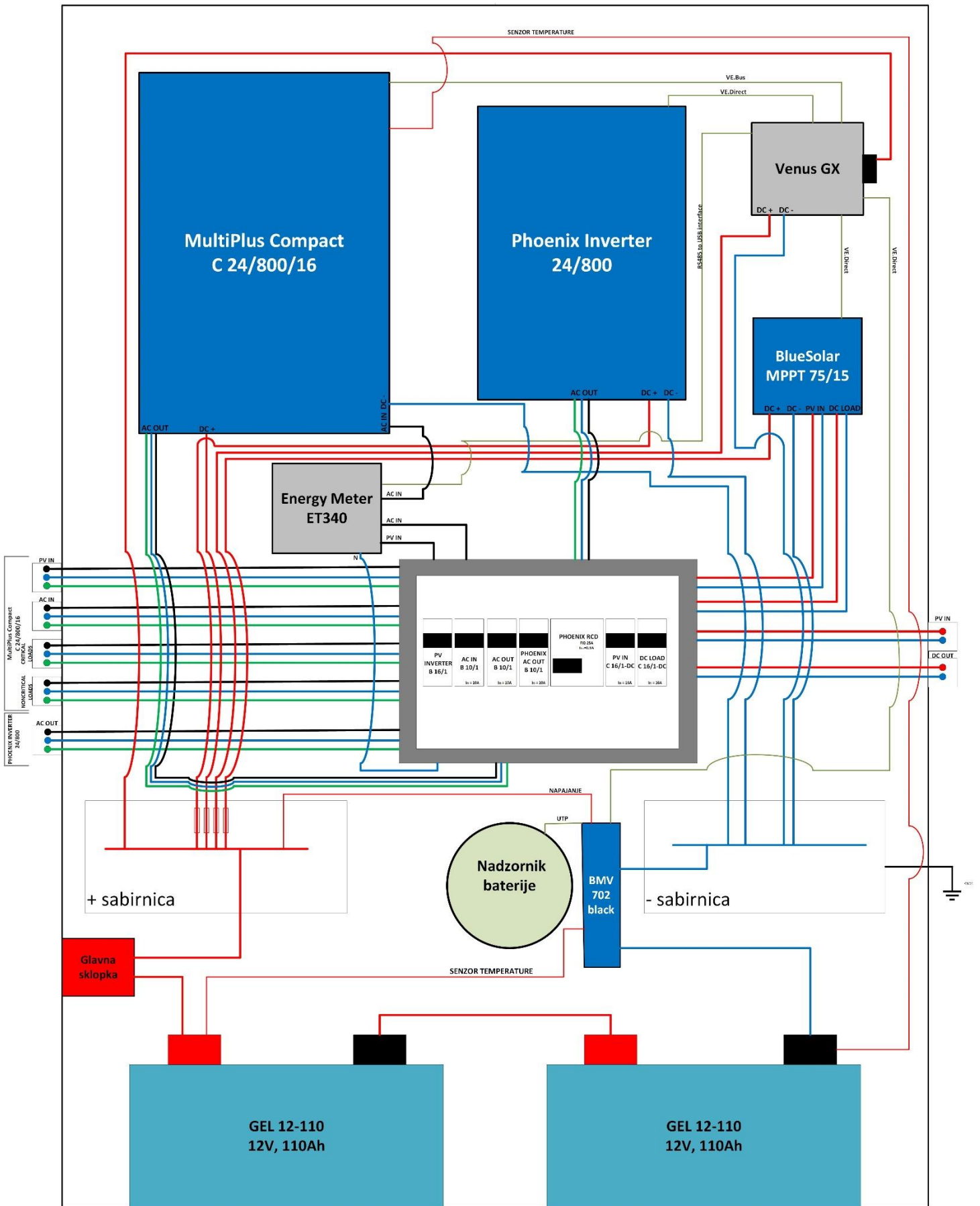
#### 4. PRIMJER KORIŠTENJA PAMETNOG BROJILA U MODELU KUPCA S VLASTITOM PROIZVODNJOM I BATERIJSKIM SUSTAVOM POHRANE ENERGIJE

Praktični dio se izvodio u laboratoriju za obnovljive izvore u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku na sastavljenom ormaru s eksperimentalnim mikromrežama koje predstavljaju kupca s vlastitom proizvodnjom i baterijskim sustavom pohrane energije. Oprema u ormaru je Victron Energy, a sastoji se od sljedećih komponenti: MultiPlus Compact 28 | 800 | 16 izmjenjivač/punjač, Phoenix 24 | 800 izmjenjivač, BlueSolar MPPT 75/15 (tragača točke maksimalne snage), data logger Venus GX, dvije GEL 12-110 baterije, nadzornika baterije BMV-702 sa senzorom temperature i pametnog brojila proizvođača Carlo Gavazzi ET340. Izrađena je nadomjesna shema sastavljenog ormara prikazanog na slici 11. i na slici 12.



Slika 11. Ormar s mikromrežama





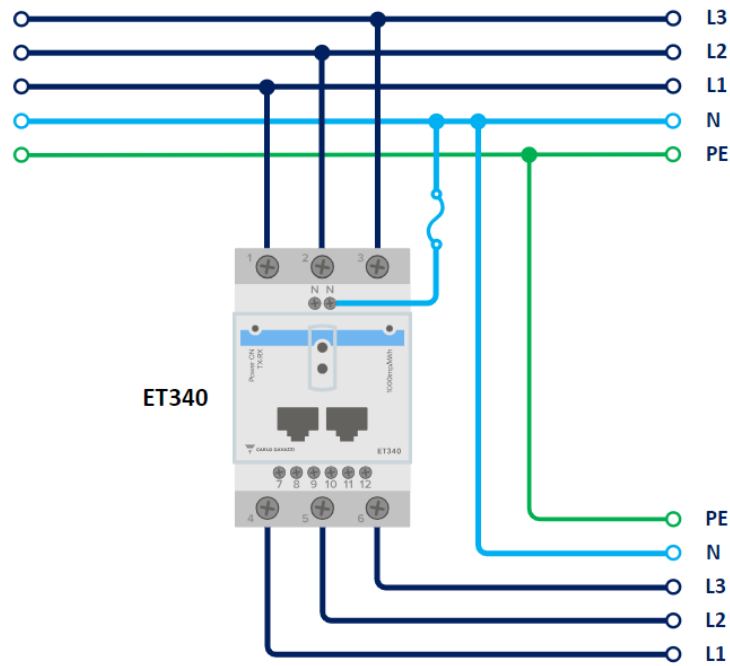
Slika 12. Nadomjesna shema ormara

#### 4.1. Pametno brojilo ET340

Pametna brojila imaju ključnu ulogu u energetske sustavima za pohranu energije mjereći snagu i potrošnju energije cijelog sustava. Također, mogu se koristiti za mjerenje izlaza fotonaponskog izmjenjivača i prikaz podataka na GX uređajima. GX uređaji pružaju nadzor i djeluju kao komunikacijsko središte sustava. Komponente sustava, poput izmjenjivača/punjača i baterija, su spojene na GX uređaj putem kojeg se može provoditi lokalni i daljinski nadzor, a također omogućuje i daljinsku promjenu postavki izmjenjivača/punjača. GX uređaji se još nazivaju i data loggerima jer pružaju funkciju zapisivanja podataka (engl. *data logging*) preko mrežnog portala VRM kada je uređaj spojen s internetom ili interno pohranjivanje podataka putem SD kartice kada uređaj nema pristup internetu. Pametna brojila koriste se u sustavima s GX uređajima te tako pružaju točne informacije i doprinose učinkovitom upravljanju energijom te omogućuju bolju kontrolu i analizu energetske sustava. Na slici 13. prikaz je pametnog brojila ET340 koji se i nalazi u sastavljenom ormaru fakulteta [6].



**Slika 13.** Pametno brojilo ET340 [6]

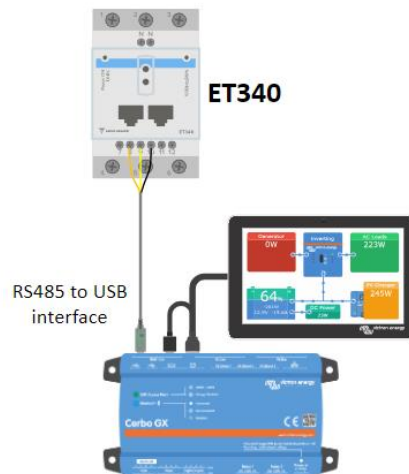


**Slika 14.** Spajanje trofaznog pametnog brojila ET340 [7]

Pametno brojilo ET340 se može spojiti na GX uređaj žično koristeći RS485 sučelje ili bežično koristeći Zigbee tehnologiju.

#### 4.1.1. Žično povezivanje RS485-to-USB sučelje

Veza između pametnog brojila ET340 i GX uređaja omogućuje daljinski nadzor i prikaz podataka i prikaz podataka o potrošnji električne energije. Pametno brojilo ET340 podržava komunikacijske protokole kao što je RS485, no i GX uređaj mora podržavati isti komunikacijski protokol kako bi uspostavljanje veze s pametnim brojiлом bilo uspješno [7].



**Slika 15.** Spajanje pametnog brojila ET340 sučeljem RS485 [7]

RS485 komunikacijski terminali uključuju dvije žice: Data+ (narančasta) i Data- (žuta), kabel sučelja RS485 može se produžiti i do 100 metara. Tablica 3. prikazuje boje žica i njihovo spajanje na stezaljke pametnog brojila ET340 [7].

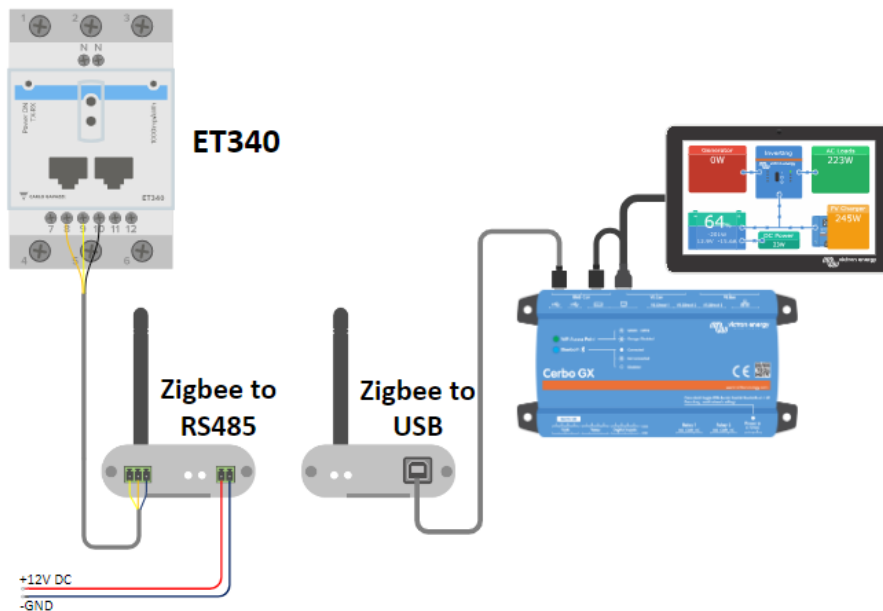
**Tablica 3.** Prikaz raspodjele boje žica i priključaka na pametnom brojilu ET340 [7]

RS485-to-USB	ET340 broj priključka
Narančasta (Data+)	8
Žuta (Data-)	9
Crna (zemlja)	10

Nakon što se uspostavi fizička veza putem kabela, GX uređaj se treba konfigurirati kako bi uspostavio komunikaciju s pametnim brojilom ET340. Konfiguracija uključuje postavljanje komunikacijskih parametara kao što su format podataka, adresiranje uređaja i brzina prijenosa podataka. GX uređaj uobičajeno ima korisničko sučelje za konfiguriranje komunikacijskih postavki. Nakon što je pametno brojilo ET340 uspješno povezano s GX uređajem, GX uređaj može prikupljati podatke o potrošnji električne energije s pametnog brojila te pratiti cjelokupni sustav [7].

#### 4.1.2. Zigbee povezivanje

Pametno brojilo ET340 se također može bežično povezati s GX uređajem preko Zigbee tehnologije. Zigbee-to-USB pretvarač povezan je s GX uređajem, a Zigbee-to-RS485 pretvarač povezan je s pametnim brojiлом ET340. Na slici 16. prikazano je bežično povezivanje pametnog brojila ET340 s GX uređajem [7].



**Slika 16.** Bežično povezivanje pametnog brojila ET340 s GX uređajem [7]

Prikaz Zigbee pretvaračkih uređaja nalaze se na slici 17. i na slici 18., a tehničke karakteristike Zigbee-to-RS485 pretvarača u tablici 4. i Zigbee-to-USB pretvarača u tablici 5 [7].



**Slika 17.** Zigbee-to-RS485 pretvarač [7]



**Slika 18.** Zigbee-to-USB pretvarač [7]

**Tablica 4.** Tehničke karakteristike Zigbee-to-RS485 pretvarača [7]

Napajanje	DC 5 – 12 V
Temperaturni raspon	-40°C – 85°C
UART brzina prijensa	38400bps (zadano), 9600bps, 19200bps, 38400bps, 57600bps, 115200bps
Radijska frekvencija	2460MHz (zadano), 2405MHz – 2480MHz
Protokol	Zigbee2007
Udaljenost	Vidljiva, otvorena udaljenost prijensa: 1600m
Struja	Pružna: 120mA(Max), Prima: 45mA(Max), Pripravnost: 40mA(Max)
Osjetljivost prijemnika	-110dBm
Čip	CC2530F256, 256KFLASH
Konfiguracija uređaja	Coordinator, Router Zadano: Router PAN ID=0x199B, Channel=22 (2460MHz)
Sučelje	RS485: B A GND
Veličina	70*50*24mm

**Tablica 5.** Tehničke karakteristike Zigbee-to-USB pretvarača [7]

Napajanje	USB Port 5V
Temperaturni raspon	-40°C – 85°C
UART brzina prijenosa	38400bps (zadano), 9600bps, 19200bps, 38400bps, 57600bps, 115200bps
Radijska frekvencija	2460MHz (zadano), 2405MHz – 2480MHz
Protokol	Zigbee2007
Udaljenost	Vidljiva, otvorena udaljenost prijenosa: 1600m
Struja	Pružaju: 120mA(Max), Prima: 45mA(Max), Pripravnost: 40mA(Max)
Osjetljivost prijemnika	-110dBm
Čip	CC2530F256, 256KFLASH
Konfiguracija uređaja	Coordinator, Router Zadano: Router PAN ID=0x199B, Channel=22 (2460MHz)
Sučelje	RS232: 2-TX 3-RX 5-GND
Veličina	70*50*24mm

Potrebna je konfiguracija Zigbee uređaja na GX uređaju, a to uključuje postavljanje mrežnih postavki. Nakon što se uspostavi komunikacija između pametnog brojila ET340 i GX uređaja, preko Zigbee komunikacije, GX uređaj može bežično dohvatiti podatke s pametnog brojila kako bi mogao pratiti i analizirati energetska sustav.

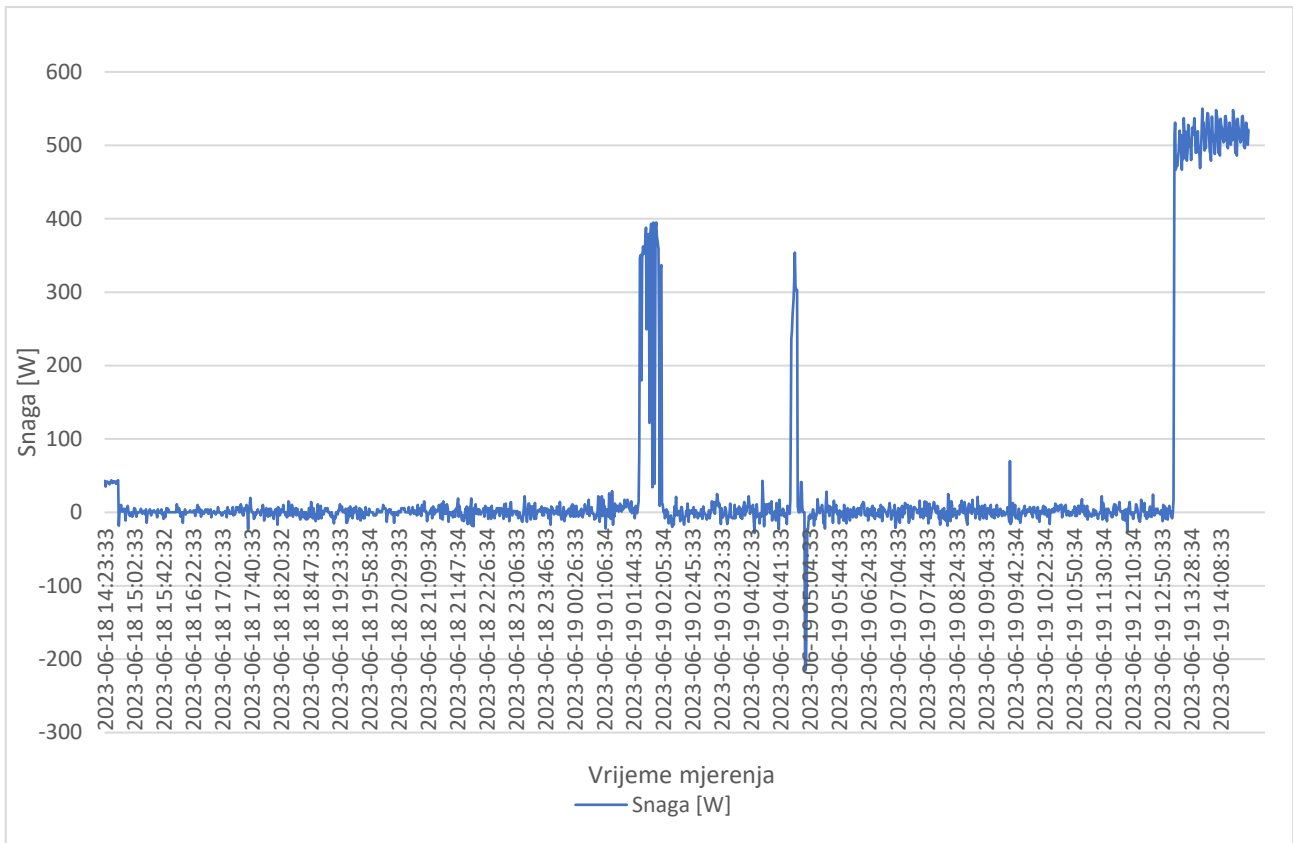
#### **4.2. Mjerenja jednodnevnog pogona kupca s vlastitom proizvodnjom i baterijskim sustavom pohrane energije**

Mjerenja su prikupljena u stvarnom vremenu na temelju jednog dana, odnosno 24 sata, a mjere se električne veličine struje, napona i snage u karakterističnim točkama mikromreže, odnosno sastavljenog ormara. Pametno brojilo ET340 mjeri električne veličine sustava te ih šalje GX uređaju putem RS485 komunikacijskog protokola.

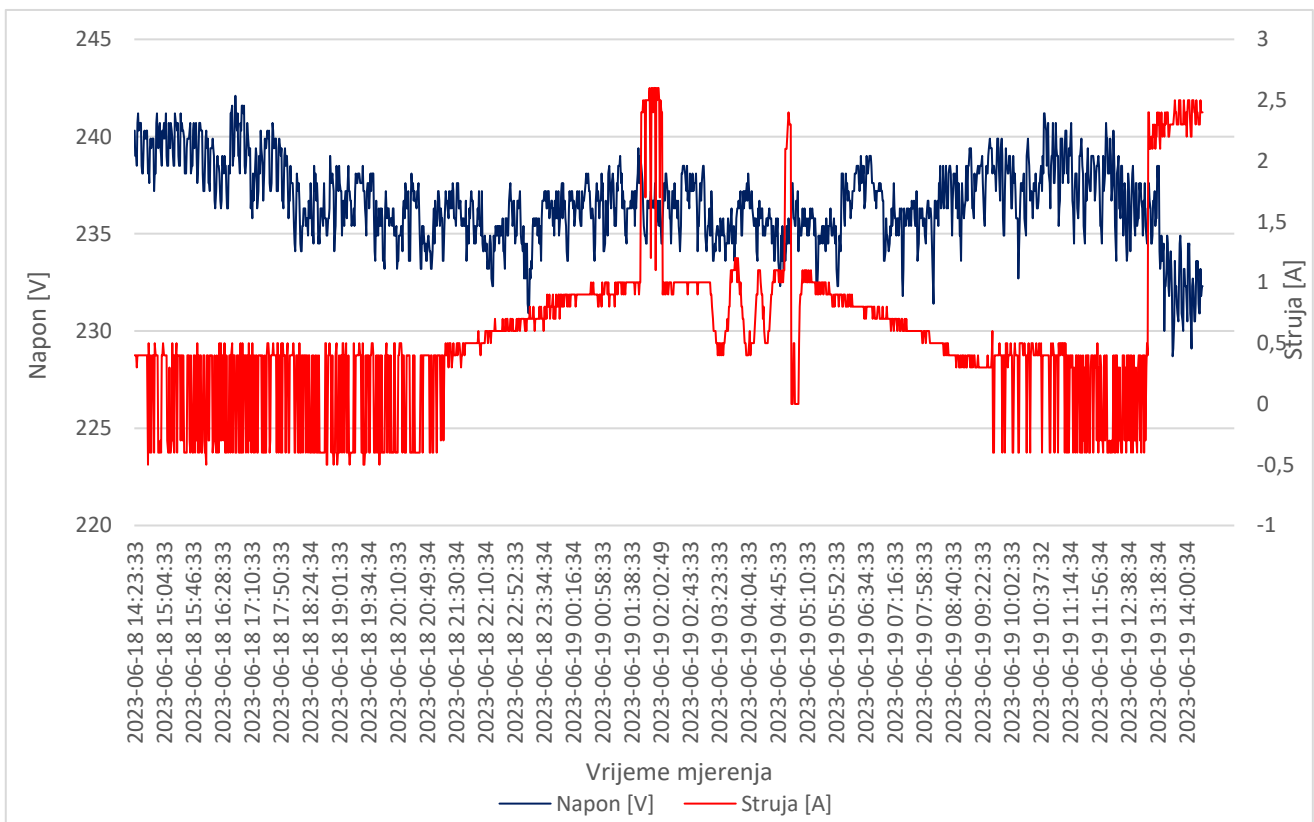
Slike 19. i 20. prikazuju grafove razmjene električne energije s mrežom, odnosno struje i napone na izmjeničnoj strani koje se mjere na sučelju s mrežom, čiji su podaci prikupljeni

pomoću pametnog brojila ET340, a pomoću proračuna dobiven je graf s početkom mjerenja u 14:23h te završetkom mjerenja sljedećeg dana u 14:23h. Pregledom oba grafa vidljivi su veći skokovi snage te da se predznak snage mijenja iz pozitivnog u negativni. Tijekom izvođenja jednodnevnog pogona korištena je postavka da nema razmjene energije s mrežom. Ukoliko je potrošnja veća od proizvodnje iz FN elektrane, tada se deficit energije pokriva iz baterijskog sustava pohrane energije. Ukoliko je proizvodnja iz FN sustava veća od potrošnje, višak energije se sprema u baterijski sustav pohrane energije što rezultira negativnom vrijednošću snage. Ukoliko baterijski sustav ne može davati energiju jer je baterija prazna ili spremati energiju jer je baterija puna, tada mikromreža uvozi ili izvozi energiju u mrežu. U ovom slučaju, pozitivni predznak snage predstavlja slučajeve kada mikromreža uvozi energiju iz mreže, dok negativni predznaci predstavljaju slučajeve kada mikromreža izvozi višak energije u mrežu. Vidljivi su veći skokovi snage u negativni i pozitivni dio, do kojih može doći prilikom varijacije sunčevog zračenja, prilikom promjene potražnje energije unutar mikromreže, promjenama opterećenja i dr. Skokovi struje prate skokove snage tijekom razmjene energije s mrežom što znači da su promjene toka snage pod utjecajem promjene struje, a to može biti zbog iznenadne promjene opterećenja i potrošnje električne energije ili zbog velike proizvodnje električne energije. Razmjena električne energije između mikromreže i mreže omogućuje učinkovito korištenje obnovljivih izvora energije, uravnoteženje opterećenja te stabilniji i otporniji energetska sustav.



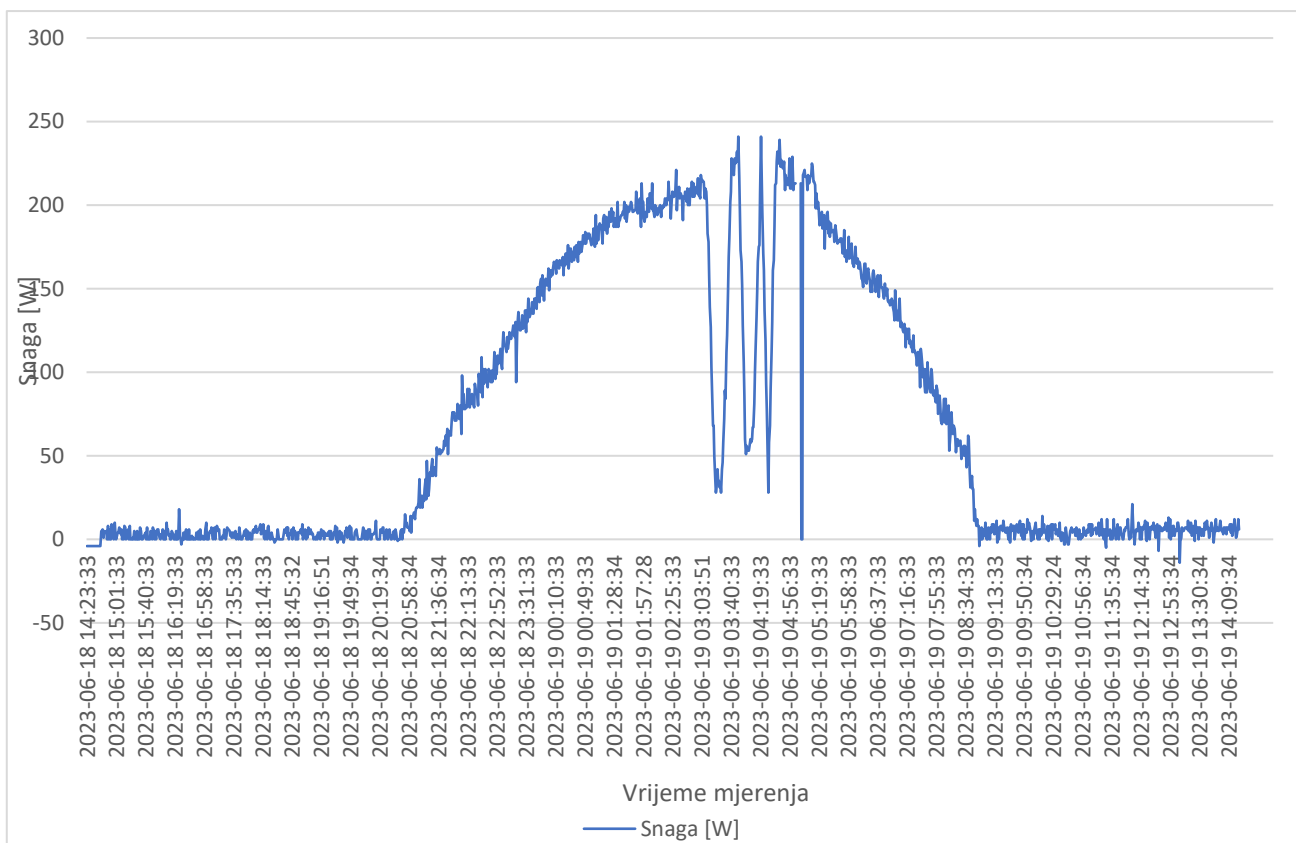


Slika 19. Razmjena snage s mrežom

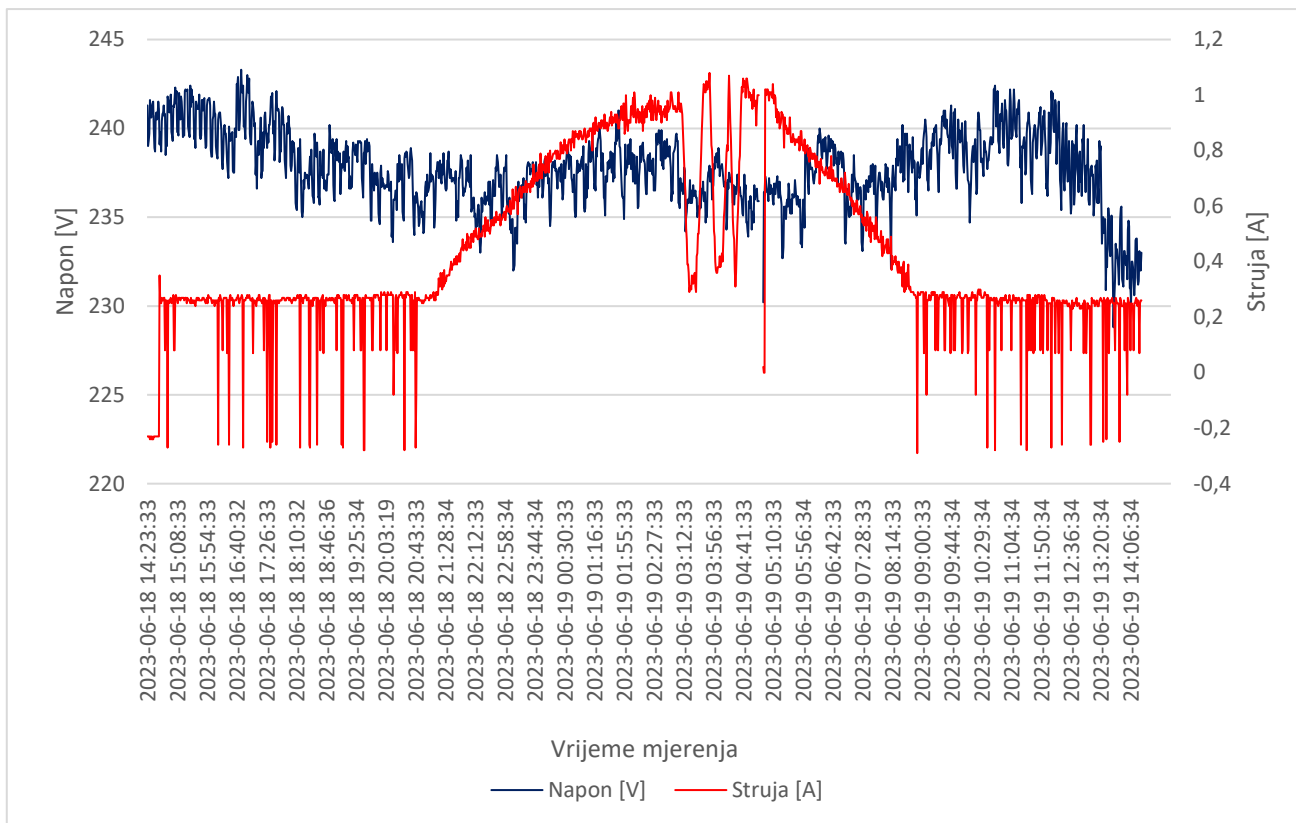


Slika 20. Struje i naponi prilikom razmjene s mrežom

Sljedeće slike 21. i 22. prikazuju proizvodnju energije iz FN sustava instaliranog u mikromrežu, odnosno struju i napon na sučelju FN elektrane čiji su podaci prikupljeni s pametnog brojila ET340, a pomoću proračuna dobiveni su grafovi s početkom mjerenja u 14:23h te završetkom mjerenja sljedećeg dana u 14:23h. Graf snage na slici 21. prikazuje količinu proizvedene energije koju proizvodi fotonaponski sustav tijekom 24 sata. Pregledom grafa na slici 22. vidljivo je da se predznak struje mijenja iz pozitivnog u negativni dio i obrnuto te je raspon vrijednosti struje od -0,29A do 1,21A. Negativna vrijednost struje označava grešku mjerenja jer se, u ovom slučaju, radi o emulatoru FN elektrane, dok pozitivna vrijednost struje označava proizvodnju energije putem fotonaponskog sustava. Raspon napona je u vrijednostima od 229V do 243V i važno je da on ostane u prihvatljivim granicama zbog stabilnosti mreže. Raspon označava varijacije izlaznog napona fotonaponskog sustava, a on može varirati zbog promjene razine sunčevog zračenja, promjena opterećenja sustava ili drugih uvjeta mreže. Putem vrijednosti napona i struje, može se zaključiti odnos snage prilikom proizvodnje energije iz fotonaponskog sustava. Kada struja padne u negativni dio, snaga također odlazi u negativni dio te predstavlja, u ovom slučaju, grešku mjerenja zbog emulatora fotonaponske elektrane. Kada je vrijednost struje pozitivnog predznaka, snaga je također pozitivne vrijednosti i to označava kako fotonaponski sustav proizvodi višak energije te ju vraća u mrežu.



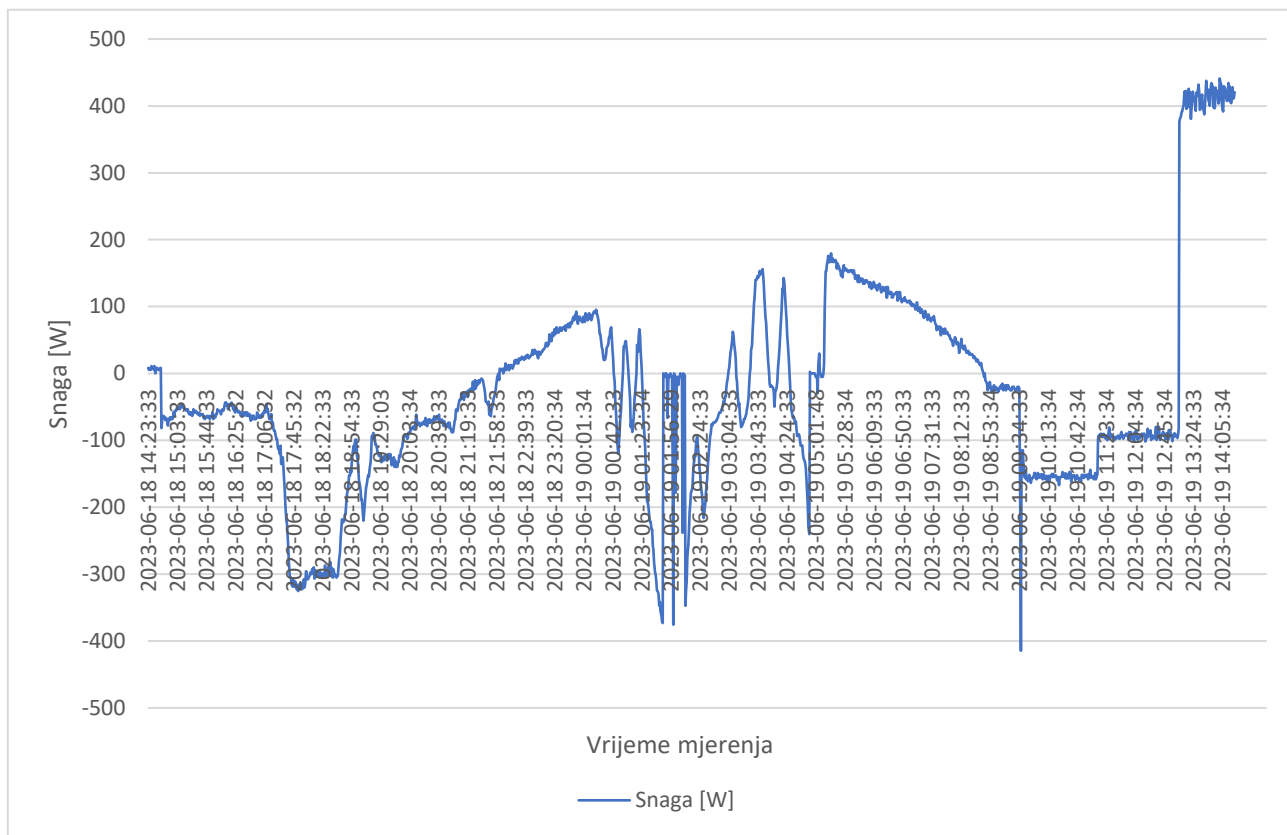
**Slika 21.** Proizvodnja energije iz fotonaponskog sustava



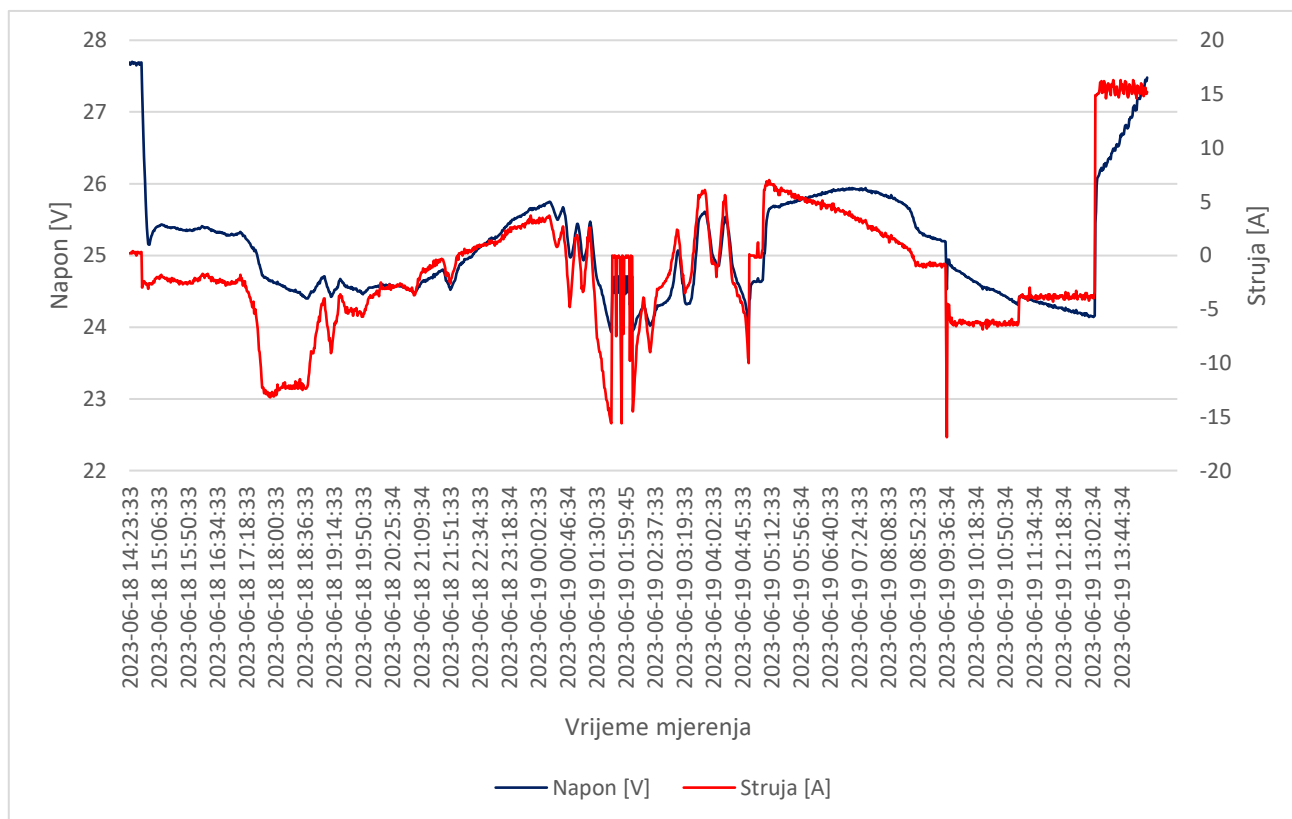
**Slika 22.** Napon i struje pri proizvodnji energije iz fotonaponskog sustava

Graf na slici 23 prikazuje tok snage između baterijskog sustava i ostalih komponenti mreže, a graf na slici 24 prikazuje struju i napon baterijskog sustava na istosmjernoj strani pretvarača. Podaci su prikupljeni pomoću nadzornika baterije koji mjeri vrijednosti električne veličine baterije, a pomoću proračuna dobiveni su grafovi s početkom mjerenja u 14:23h te završetkom mjerenja sljedećeg dana u 14:23h. Analizom grafa na slici 23. može se zaključiti kako pozitivne i negativne vrijednosti snage prikazuju smjer toka snage. Pozitivne vrijednosti predstavljaju da baterijski sustav prima energiju iz drugih izvora, odnosno punjenje, dok negativne vrijednosti predstavljaju baterijski sustav koji se prazni kako bi opskrbio mikromrežu energijom. Raspon snage se mijenjao od -415W do 445W. Raspon napona od 24V do 29V označava varijaciju napona baterije tijekom izmjene energije. Napon baterijskog sustava varira unutar ovog raspona zbog različitih situacija kao što su punjenje, pražnjenje i stanje napunjenosti baterije. Raspon struje varira od -17A do 15,5A, a predstavlja struju koja teče u ili iz baterijskog sustava tijekom izmjene energije. Negativni predznak struje označava pražnjenje baterije, odnosno da daje energiju mikromreži, dok pozitivni predznak struje označava punjenje baterije, odnosno prima energiju iz mikromreže. Skokovi struje na grafu koji se nalazi na slici 24 javljaju se na

istim mjestima kao i skokovi snage na grafu koji se nalazi na slici 23. što ukazuje kako promjena struje izravno utječe na razmjenu energije između baterijskog sustava i mikromreže.

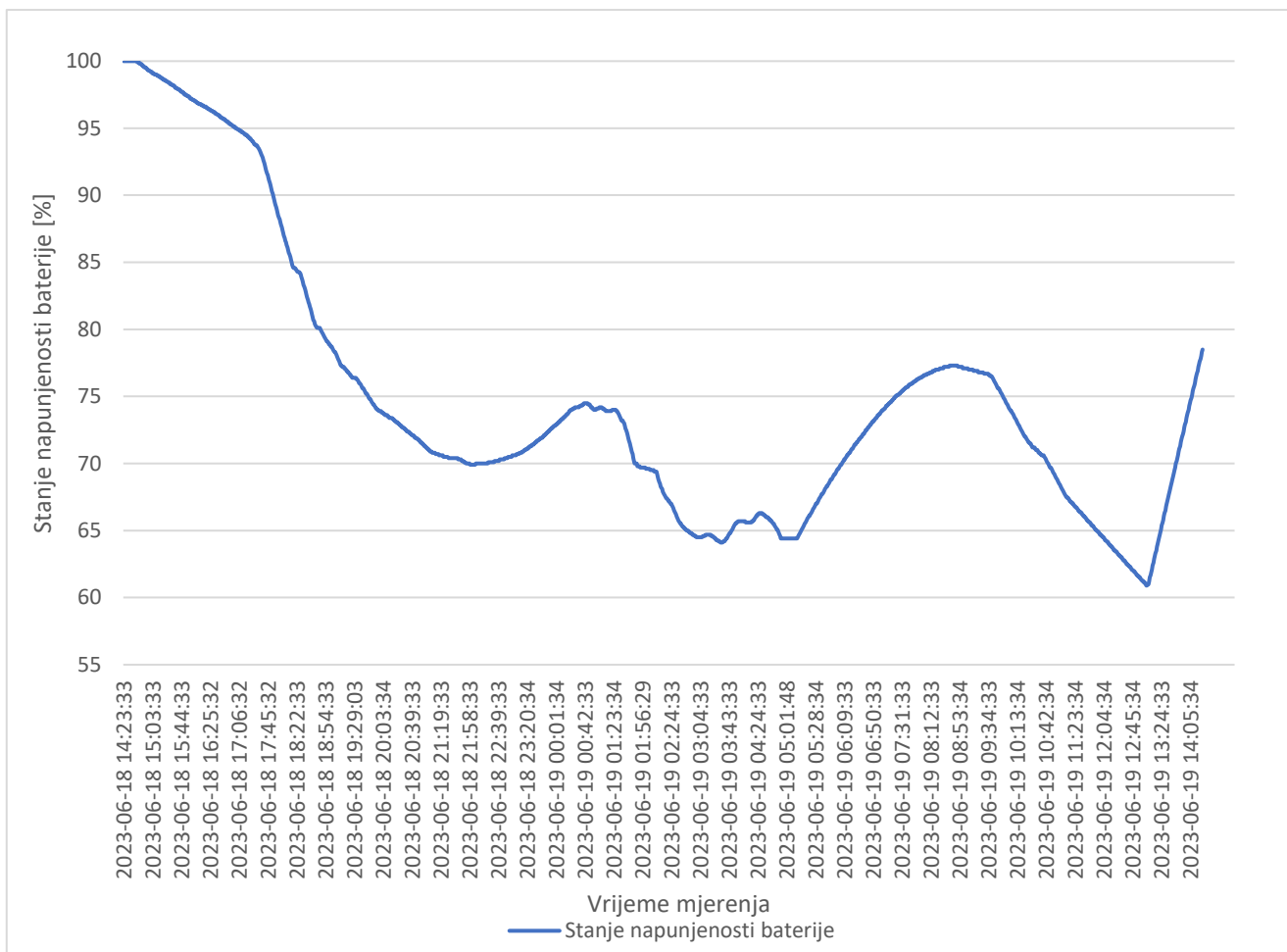


Slika 23. Snaga razmjene s baterijom



Slika 24. Napon i struja prilikom razmjene energije s baterijom

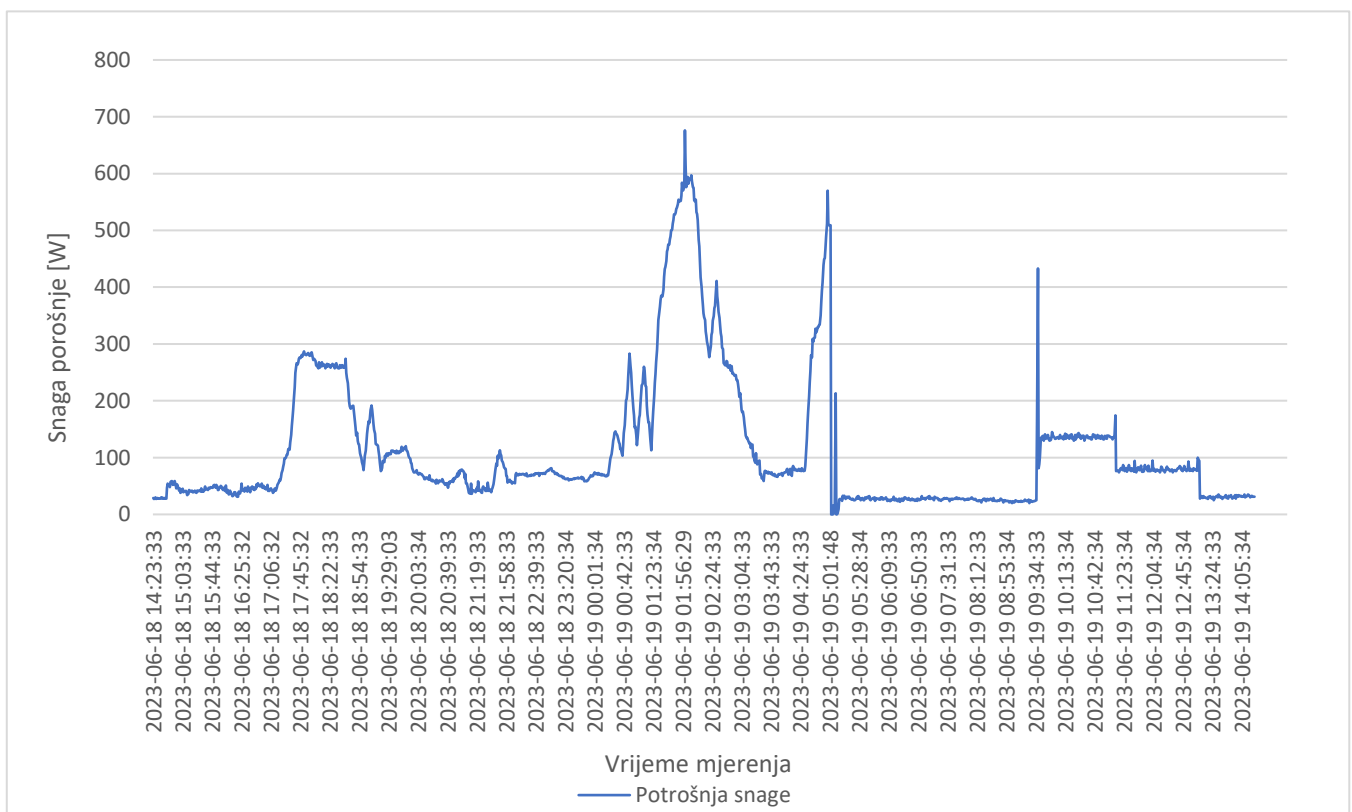
Na sljedećoj slici 25. prikazano je stanje napunjenosti baterije (engl. *State of Charge – SoC*) s početkom mjerenja u 14:00h te završetkom mjerenja idućeg dana u 14:19h. Stanje napunjenosti baterije odnosi se na količinu energije pohranjene u baterije kao postotak ukupnog kapaciteta. U ovom slučaju, stanje napunjenosti baterije je u rasponu od 100% do 60%. 100% označava potpuno napunjenu bateriju, dok 60% označava djelomično napunjenu bateriju što znači da se, tijekom promatranog razdoblja, baterija praznila i tako dala energiju mikromreži. Daljnje pražnjenje baterije ispod 60% je zaustavila zaštita baterije od prepražnjavanja. Održavanje stanje napunjenosti baterije vrlo je važno kako bi se osiguralo dugoročno zdravlje i stabilnost baterije.



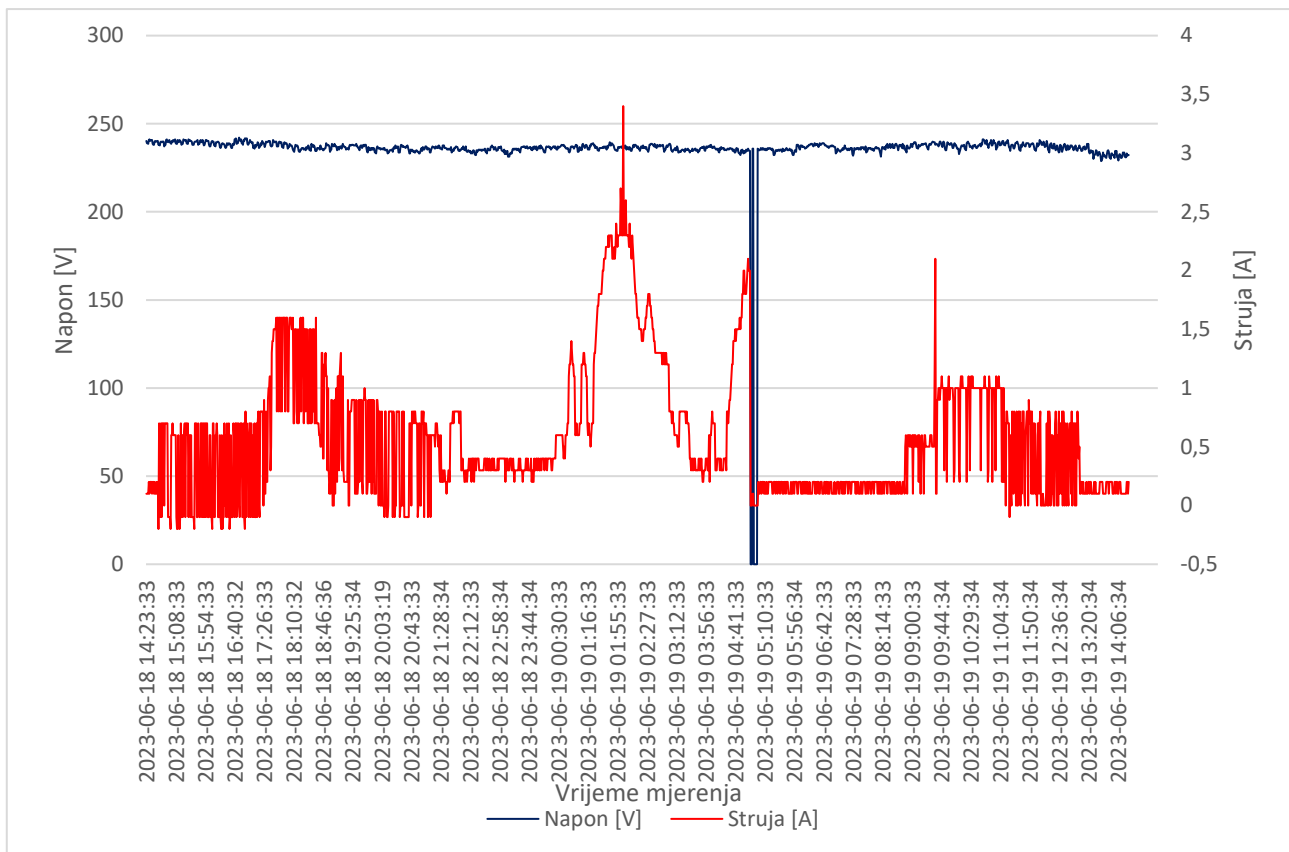
**Slika 25.** Stanje napunjenosti baterije

Sljedeće slike 26. i 27 prikazuju opterećenja u mikromreži, odnosno izmjeničnu struju i napon na izlazu iz izmjenjivača/punjača s početkom mjerenja u 14:23h te završetkom mjerenja sljedećeg dana u 14:23h. Raspon opterećenja je u vrijednosnim granicama od 0W do 680W i označava snagu koju troše komponente spojene na mikromrežu. Potrošnja od 0W znači da mikromreža ne troši nikakvu energiju. Vršno opterećenje u ovom mjernom razdoblju iznosi 680W koje predstavlja razdoblje velike potražnje energije unutar mikromreže. Graf na slici 26.

daje uvid u električne karakteristike trošila u mikromreži. Napon je stabilan, a nagli pad napona na 0V, što je vidljivo na grafu na slici 27, predstavlja grešku mjerenja. Raspon struje od -0,1A do 3,5A označava različite vrijednosti struje koje troše trošila u mikromreži, tijekom mjernog razdoblja, koja mogu biti izazvana različitim promjenama u mikromreži poput uključivanjem/isključivanjem uređaja, promjenama snage napajanja ili iznenadnim promjenama opterećenja. Razumijevanje potrošnje električne energije vrlo je važno kako bi se omogućilo učinkovito upravljanje opterećenjem te pružila stabilnost i pouzdanost energetskog sustava.



**Slika 26.** Snaga opterećenja mikromreže



**Slika 27.** Napon i struja opterećenja mikromreže

Količina cjelokupne prenesene energije, unutar mjernog razdoblja u trajanju od 24 sata, iz mreže u bateriju iznosi 0,81 kWh, a energija koju mikromreža potroši iz mreže iznosi 0,34 kWh. Energija koju je proizveo fotonaponski sustav i pohranio u bateriju iznosi 0,28 kWh, a ista omogućava mikromreži opskrbu energijom kada joj je ona potrebna. Energija koju je fotonaponski sustav predao mikromreži, bez skladištenja, iznosi 1,42 kWh, a označava energiju koju izravno troše komponente mikromreže. Energija koja je predana iz baterije mikromreži iznosi 1,33 kWh, a predstavlja energiju koju baterija, tijekom svog pražnjenja, isporučuje izravno komponentama mikromreže tijekom većih opterećenja ili kada fotonaponski sustav ne može proizvoditi dovoljno energije.

Ova mjerenja omogućavaju praćenje i planiranje protoka energije, razumijevanje pohrane energije te bolje korištenje obnovljivih izvora energije. Mjerenja električnih veličina raznih komponenti unutar mikromreže pomaže u razumijevanju potrošnje energije s ciljem poboljšanja upravljanja energijom, smanjenja ovisnosti o mreži te maksimalno povećanje upotrebe obnovljivih izvora energije, a osim toga analizom mjerenja moguće je uravnotežiti opterećenja i poboljšati energetske učinkovitost sustava.

## 5. ZAKLJUČAK

Uvođenjem naprednih komponenti u elektroenergetsku mrežu mijenja se mrežna infrastruktura te mreža postaje napredna. Napredna mreža omogućuje dvosmjerni tok električne energije i informacija između operatera i potrošača te se time postiže učinkovitije upravljanje energijom, poboljšanu pouzdanost mreže i povećanu integraciju obnovljivih izvora energije.

Inteligentni elektronički uređaji omogućuju praćenje, kontrolu i mjerenje parametara mreže u stvarnom vremenu poboljšavajući učinkovitost pri proizvodnji električne energije i prilikom prijenosa i distribucije energije. Integracija naprednih komponenti kao što su fazorske mjerne jedinice olakšava brže otkrivanje smetnji u mreži i probleme u kvaliteti električne energije te pruža brzi odgovor na iste povećavajući stabilnost elektroenergetske mreže. Napredne komponente u sustavima pohrane energije omogućuju veću integraciju obnovljivih izvora energije te tako smanjuju potrebu za centraliziranom proizvodnjom povećavajući distribuiranu proizvodnju električne energije, a time povećavaju otpornost elektroenergetske mreže na ispade, prirodne katastrofe i kibernetičke prijetnje, no osim toga smanjuju i ovisnost o fosilnim gorivima, a pridonose čistijem okolišu.

S praćenjem u stvarnom vremenu i mogućnošću dvosmjerne komunikacije, pametna brojila kao napredne komponente imaju vrlo važnu ulogu u naprednim mrežama. Pametna brojila osnažuju potrošače na efektivno korištenje energije pružajući detaljne informacije o potrošnji električne energije i omogućavajući aktivno sudjelovanje u upravljanju opterećenjem doprinoseći tako stabilnosti mreže tijekom razdoblja veće potražnje za električnom energijom. Potrošači mogu, zbog primjene pametnih brojila, steći dublje razumijevanje svojih navika o potrošnji energije te ih se može potaknuti na promjene kako bi uštedjeli, ali i koristili pametne uređaje te čak i integrirali obnovljive izvore energije u svoje sustave na potrošačkoj razini.



## 6. LITERATURA

- [1] EE E19 Smart grid, Department of Electrical and Electorincs Engineering, Sri Manakula Vinayagar Engineering College
- [2] S. Khoussi, A. Mattas, Handbook of System Safety and Security, 2017.god
- [3] Dr.V.Jayalakshmi, Mr. S. Dinakar Raj, BEE019 Smart Grid, Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Bharath UniversityeN
- [4] What is a Smart Grid?, a Briefing provided by the Institution of Engineering and Technology, 2013. godina, dostupno na: <https://www.theiet.org/impact-society/factfiles/energy-factfiles/energy-generation-and-policy/what-is-a-smart-grid/>, pristupljeno: lipanj 2023.
- [5] Rahat Hossain, Aman Than Oo, Shawkat Ali, Smart Grid, Chapter 2 in Green Energy and Technology, 2015. godina
- [6] Victron Energy, Energy Meter ET340, dostupno na: <https://www.victronenergy.com/accessories/energy-meter>, pristupljeno: lipanj 2023.
- [7] Victron Energy, Energy Meter ET340 Manual, dostupno na: [https://www.victronenergy.com/media/pg/Energy\\_Meter\\_ET340/en/index-en.html](https://www.victronenergy.com/media/pg/Energy_Meter_ET340/en/index-en.html), pristupljeno: lipanj 2023.
- [8] Victron Energy, Zigbee to USB converter & Zigbee to RS485 – datasheets, dostupno na: <https://www.victronenergy.com/accessories/zigbee-converters>, pristupljeno: lipanj 2023.

## 7. SAŽETAK

Kroz diplomski rad opisan je pojam napredne mreže i njegova razlika od sadašnje, konvencionalne mreže. Definirane su napredne komponente unutar naprednih mreža i njihova uloga u poboljšanju pouzdanosti, učinkovitosti i održivosti elektroenergetske mreže te ovaj rad pruža uvid u razumijevanje komponenti i njihovog doprinosa za moderniji i sofisticiraniji sustav. Diplomski rad se sastoji od dva glavna dijela, a to su teorijski dio i praktični dio. U teorijskom dijelu se detaljno opisuju različite komponente napredne mreže kao što su pametni uređaji, pametni senzori, sustavi za pohranu energije i sustavi za napredno mjerenje. Opisana je struktura njihovog upravljanja, prednosti i izazovi integracije tih komponenti u kontekstu naprednih mreža. Praktični dio diplomskog rada uključuje izradu nadomjesne sheme sastavljenog ormara, u zgradi Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, koji predstavlja mikromrežu. Osim nadomjesne sheme, u praktičnom dijelu se opisalo pametno brojilo ET340, njegova instalacija i spajanje s uređajima za komunikaciju. Obradila su se i mjerenja električnih veličina koje su bitne za rad mikromreže te njihova analiza. Mjerenja uključuju razmjenu energije s mrežom, proizvodnju iz fotonaponskog sustava, razmjenu snage s baterijom, stanje napunjenosti i potrošnju energije, a sva su mjerenja provedena tijekom mjernog razdoblja od 24 sata. Kombinirajući teorijsko znanje s praktičnim mjerenjima i njihovom analizom, diplomski rad nudi sveobuhvatno istraživanje naprednih komponenti u naprednim mrežama.

**KLJUČNE RIJEČI:** električna energija, elektroenergetske mreže, konvencionalne mreže, napredne mreže, napredne komponente, prijenosni sustavi, distribucijski sustavi, pametni uređaji, pametno brojilo

## **8. ABSTRACT**

The master's thesis describes the concept of an advanced grid and its difference from the present, conventional grid. Advanced components within advanced grid and their role in improving the reliability, efficiency and sustainability of the power grid are defined. This thesis provides insight into the understanding of components and their contribution to a more modern and sophisticated system. The master's thesis consists of two main parts, the theoretical part and the practical part. The theoretical part provides a detailed description of various components of an advanced grid, such as smart devices, smart sensors, energy storage systems and advanced measurement systems. The structure of their management, advantages and challenges of integrating these components in the context of advanced grid are described. The practical part of the master's thesis includes the making of a substitution scheme for an assembled cabinet in the building of the Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology in Osijek, which represents a microgrid. In addition to the substitution scheme, the practical part describes the smart meter ET340, its installation and connection with communication devices. The measurement of electrical quantities essential for the operation of the microgrid and their analysis are also described. The measurements include energy exchange with the grid, production from the photovoltaic system, power exchange with the battery, state of charge and energy consumption, all of them were performed during a 24-hour measurement period. By combining theoretical knowledge with practical measurements and their analysis, the master's thesis offers a comprehensive exploration of advanced components in advanced grids.

**KEY WORDS:** electricity, power grids, conventional grids, advanced grids, advanced components, transmission systems, distribution systems, smart devices, smart meter

## 9. ŽIVOTOPIS

Robert Glavaš rođen je 23. svibnja 1999. u Našicama. Pohađao je Osnovnu školu Vladimira Nazora Feričanci u periodu 2006.-2014. Nakon toga upisuje III. gimnaziju Osijek (prirodoslovno matematička gimnazija) koju pohađa u periodu 2014.-2018. godine. Tijekom osnovnog i srednjoškolskog školovanja sudjeluje na brojnim natjecanjima iz fizike, informatike i matematike. Nakon završetka srednje škole i uspješno položene državne mature, 2018. godine upisuje preddiplomski smjer elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te se na drugoj godini studija odlučuje za izborni blok elektroenergetika. Preddiplomski studij završava 2021. godine sa završnim radom „Svjetlosno onečišćenje u Republici Hrvatskoj“ pod mentorstvom prof. dr. sc. Zvonimira Klaića te stječe akademski naziv prvostupnika elektrotehnike i informacijskih tehnologija. Iste godine, nastavlja akademsko obrazovanje i upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer održiva elektroenergetika.

---

Potpis autora