

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

**Stručni studij**

**ULOGA PAMETNIH BROJILA U NAPREDNIM  
MREŽAMA**

**Završni rad**

**David Žgela**

**Osijek, 2019.**

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV .....	2
3. NAPREDNA MREŽA .....	4
3.1 Razlike između napredne i tradicionalne mreže .....	5
3.2 Napredna mjerna infrastruktura .....	6
3.3 Pohrana energije .....	7
3.4 Utjecaj na okoliš .....	8
3.4.1 Smanjenje emisije stakleničkih plinova .....	9
3.5 Pregled tehnologija potrebnih za naprednu mrežu .....	11
4. PAMETNA BROJILA .....	13
4.1 Opis pametnog brojila .....	13
4.2 Prednosti pametnog brojila .....	15
4.3 Tehničke konfiguracije pametnog brojila .....	16
4.4 Program za nadzor .....	17
4.5 Utjecaj pametnih brojila na distribucijski sustav .....	18
4.6 Tehnologije pametnog brojila u distribucijskom sustavu .....	19
4.6.1 Karakteristike pametnog brojila u distribucijskoj mreži .....	19
5. KOMUNIKACIJSKE I MREŽNE TEHNOLOGIJE PAMETNIH MREŽA .....	21
5.1 Komunikacija i umrežavanje u sadašnjoj elektroenergetskoj mreži .....	22
5.1.1 SCADA sustav .....	23
5.1.2 Komunikacija i umrežavanje u naprednoj mreži .....	24
6. LANDIS+GYR E650 .....	26
6.1 Software za upravljanje .....	27
6.2 Strujni mjerni transformator .....	28
6.3 Mjerenje .....	31
6.3.1 Enna biomasa Vukovar d.o.o. ....	31
6.3.2 Dilj d.o.o. ....	36
7. ZAKLJUČAK .....	39
8. LITERATURA .....	40
SAŽETAK .....	42
ABSTRACT .....	43
ŽIVOTOPIS .....	44

## 1. UVOD

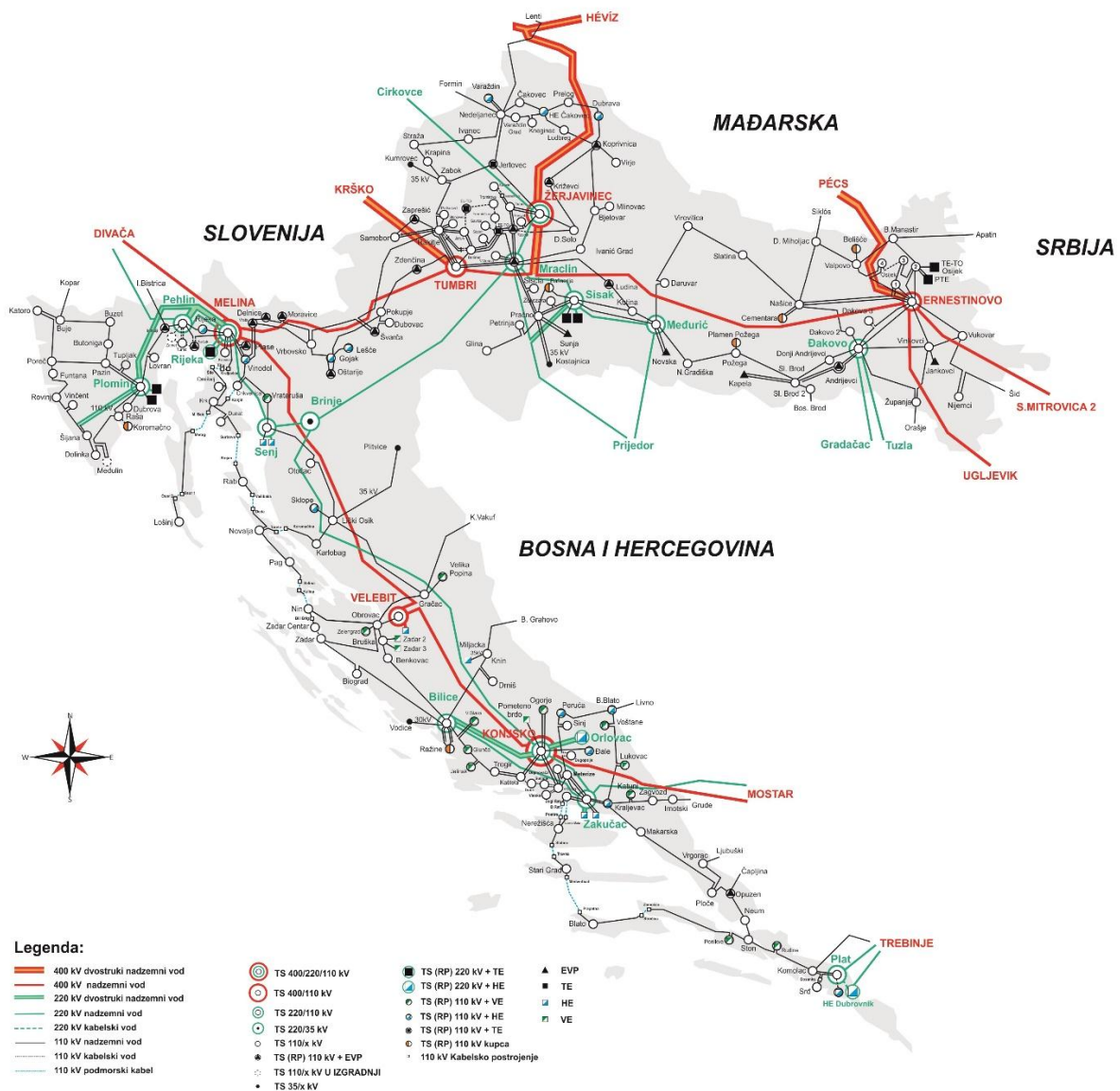
Većina svjetskih sustava za isporuku električne energije ili mreža napravljeno je prije gotovo 100 godina. Iako su napravljene male nadogradnje sustava kako bi se zadovoljila rastuća potražnja, mreža funkcionira na isti način na koji je funkcionirala i prije. Energija teče preko mreže od elektrana do potrošača, a pouzdanost je osigurana očuvanjem viška kapaciteta. Takvim načinom upravljanja nastao je sustav koji je uz prijevoz glavni zagađivač okoliša preko emitiranja stakleničkih plinova i potrošnjom fosilnih goriva.

Potrebno je razviti naprednu mrežu zbog integracije obnovljivih izvora. Obnovljivi izvori energije su vrlo promjenjivi i nemaju konstantu proizvodnju stoga je potrebno uravnoteženje ponude i potražnje tijekom nedostatka ili viška proizvodnje. U naprednoj infrastrukturi to je omogućeno pomoću brojnih senzora, sučelja energetske elektronike i pametnih brojila. Razvijanje napredne mreže donosi brojne prednosti koje korisniku olakšavaju korištenje i trošenje električne energije. Sustav napredne mreže donosi do veće pouzdanosti i efikasnosti u radu, vrlo je prilagodljiv i sigurniji je od tradicionalne mreže.

Najvažnija komponenta napredne mreže je pametno brojilo. Cilj ovog završnog rada je objasniti ulogu pametnih brojila u električnim naprednim mrežama i na koji način takva brojila funkcioniraju. Objašnjene su razlike između tradicionalne i napredne mreže i pokazana je važnost pohrane energije. Prikazane su nove tehnologije koje je potrebno uvesti da bi napredna mreža funkcionirala. U završnom radu su prikazani podaci sa dvije lokacije Enna biomasa Vukovar d.o.o. i Dilj d.o.o. i opisan je model pametnog brojila s kojeg su ti podaci iščitani.

## **2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV**

Zadatak elektroenergetskog sustava je isporuka električne energije. Sastoji se od električnih generatora, vodova i elektrana za proizvodnju električne energije i opskrbu kupaca. Elektroenergetski sustav dijelimo u tri sektora koji se zovu proizvodnja, prijenos i distribucija. Električna energija se proizvodi u elektranama iz različitih izvora koristeći generatore. Nakon što je proizvedena električna energija, njen naponski nivo se mijenja u blok transformatorima koji su smješteni uz elektranu na napon voda na koji je elektrana spojena. Prijenos se odvija zračnim i kablskim vodovima visokog napona (400 kV, 220 kV) do transformatorskih stanica koje pretvaraju napon na nešto niži napon (npr. 400/220 kV, 220/110 kV, 400/110 kV, 110/35 kV) i zatim se odvodi do distribucijskih transformatorskih stanica. Distribucijska mreža električnu energiju preuzetu iz prijenosne mreže ili iz manjih elektrana spojenih na distribucijsku mrežu distribuira do potrošača. Distribucijska mreža također sadrži zračne i kablске vodove i transformatore (35/10 kV, 10/0.4 kV). Na slici 2.1 prikazana je shema elektroenergetskog sustava Hrvatske. Prikazani su svi prijenosni vodovi i trafostanice.



Slika 2.1 Shema elektroenergetskog sustava Hrvatske [1]

U tradicionalnoj distributivnoj mreži sva energija je generirana iz centralne lokacije i vodovima u jednom smjeru prenosi se do potrošača i time se onemogućuje ugradnja obnovljivih izvora energije. U tradicionalnoj infrastrukturi onemogućena je dvosmjerna razmjena informacija o električnoj energiji. Sadašnja mreža u Hrvatskoj je aktivna distributivna mreža. Aktivna distributivna mreža je mreža na koju je priključen bar jedan izvor električne energije. Razlikuje se od pasivne distributivne mreže po tome što je tok energije dvosmjernan. [1] [2]

### 3. NAPREDNA MREŽA

Autor u literaturi [3] navodi: „Napredna mreža je transparentna i trenutna dvosmjerna isporuka informacija o energiji, čime distributer električne energije može upravljati isporukom i prijenosom energije na bolji način te potiče potrošače da imaju veću kontrolu nad isporukom energije.“

Napredna mreža je električna mreža koja može inteligentno integrirati radnje svih korisnika koji su na nju povezani (generatori, potrošači i oni koji obavljaju obje funkcije) kako bi učinkovito pružili održivu, ekonomičnu i sigurnu zalihu energije.

Napredna mreža rabi senzore, ugrađenu obradu i digitalnu komunikaciju kako bi omogućila nadzor mreže, da se mrežne vrijednosti mogu mjeriti i vizualizirati, kontroliranje mreže, automatizaciju (mreža je sposobna prilagođavati se i sama se popraviti u slučaju kvara) i potpunu integraciju (potpuno interoperabilna s postojećim sustavima i sposobnost ugradnje različitih izvora energije).

Napredna mreža koristi prednosti naprednih komunikacijskih i informacijskih tehnologija za isporuku informacija u realnom vremenu i omogućuje gotovo trenutnu ravnotežu ponude i potražnje na električnoj mreži.

Europska tehnološka platforma za napredne mreže 2006. godine predstavila je svoju viziju distribucijske mreže i koncept napredne mreže. Europski energetske prijelaz je ključan za Europske i globalne ciljeve smanjenja emisije stakleničkih plinova i zadržavanje globalnog porasta temperature ispod 2°C. Da bi se to osiguralo, u Europske električne sustave, sustave grijanja i hlađenja i transportne sustave, treba se uvesti više obnovljivih i drugih bez ugljičnih izvora energije.

Energetske mreže, a posebno naprednije električne mreže koje su povezane sa toplinskim mrežama, plinskim i transportnim mrežama, odigravaju ključnu ulogu u energetske prijelazu a pritom osiguravaju sigurnost nabave i priuštivost. Europska tehnološka platforma ima za cilj osigurati da se Europska istraživanja i inovacijske ustanove, svi energetske korisnici i tržišni akteri oslanjaju na optimalno integrirane mreže, sustave i tržišta. [3] [4] [5] [6]

### 3.1 Razlike između napredne i tradicionalne mreže

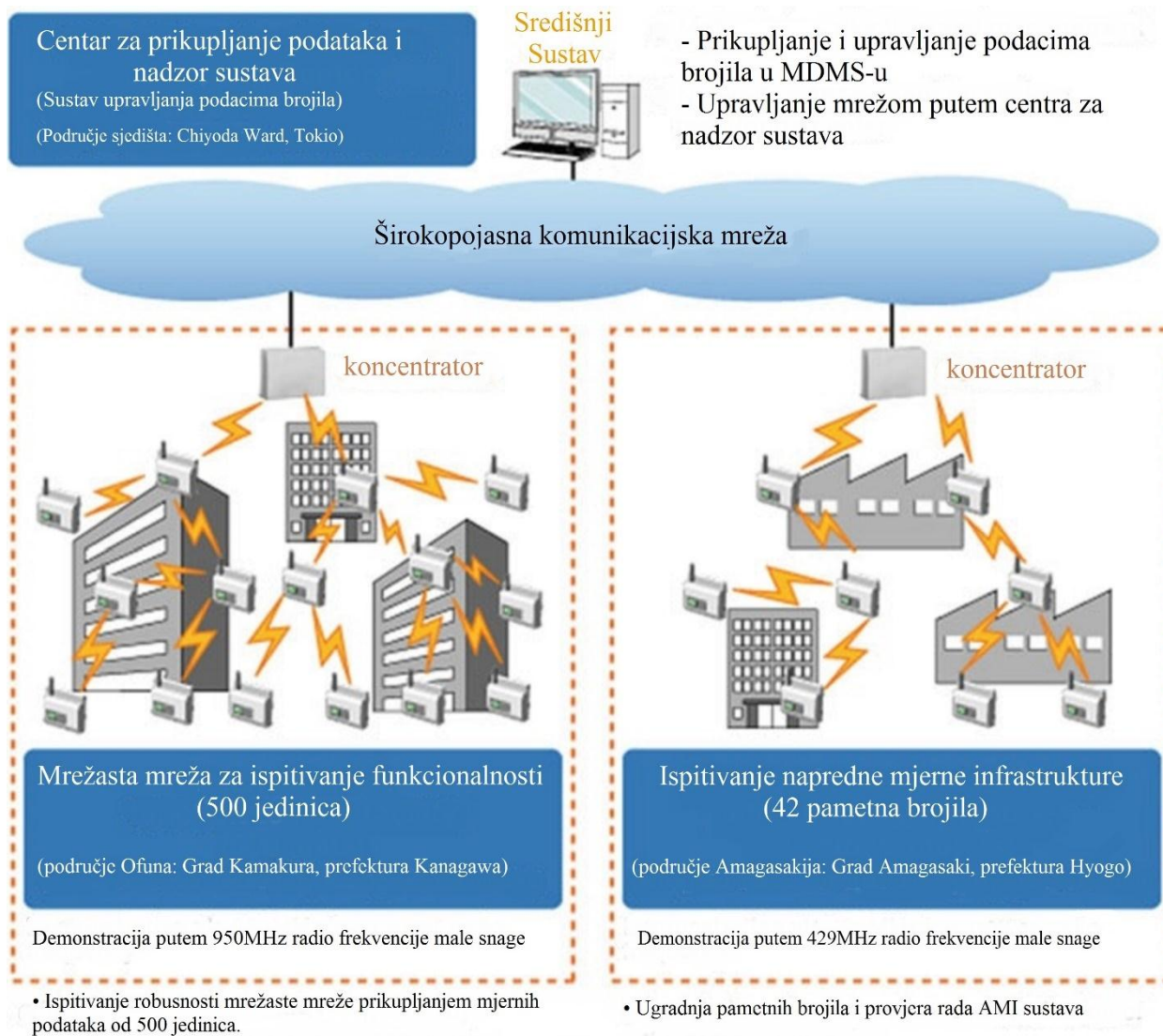
Jedna značajna razlika između današnje mreže i napredne mreže je dvosmjerna razmjena informacija između potrošača i mreže. Na primjer, termostat može preko napredne mreže primiti informaciju o cijenama električne energije i odgovoriti na veću potražnju i veće cijene na mreži podešavanjem temperature, i tako uštedjeti novac potrošača uz održavanje nekog nivoa udobnosti. Infrastruktura tradicionalne električne mreže je elektromehanička, znači odnosi se na mehanički uređaj koji je električno upravljani. Takva tehnologija se smatra zastarjelom jer nema sredstva komunikacije između uređaja i ima malu unutarnju regulaciju. Napredna mreža koristi digitalnu tehnologiju koja omogućava povećanu komunikaciju između uređaja i olakšava daljinsko upravljanje i samoregulaciju. Koristeći tradicionalnu energetska strukturu električna energija se može distribuirati samo iz glavnog izvora, dok napredne mreže imaju mogućnost vraćanja električne energije vodovima do glavnog postrojenja od sekundarnog pružatelja. Pojedinač s pristupom obnovljivim izvorima energije, kao što su solarni paneli, može vratiti energiju na mrežu. Sa tradicionalnom energetska strukturom, sva energija mora biti generirana iz centralne lokacije. Time se eliminira mogućnost ugradnje obnovljivih izvora energije u mrežu. Ako se koristi infrastruktura napredne mreže, energija se može distribuirati iz više postrojenja i stanica kako bi se balansiralo opterećenje, smanjilo vršno opterećenje i ograničio broj prekida napajanja. Infrastruktura tradicionalne mreže nije dovoljno opremljena kako bi podnijela mnogobrojne senzore i to uzrokuje poteškoće u pronalasku lokacije kvara i stoga su zastoji dugački. U naprednim mrežama nalazi se mnogo više senzora koji pomažu u otkrivanju lokacije kvara i može pomoći u preusmjeravanju energije na ona mjesta gdje je to potrebno dok se ograničava područje na koje je došlo do prekida rada. Zbog ograničenja u tradicionalnoj infrastrukturi, distribucija energije se mora pratiti ručno dok se nadzor u infrastrukturi napredne mreže vrši samostalno koristeći digitalnu tehnologiju. To omogućuje ravnotežu opterećenja, otklanjanje smetnji i upravljanje distribucijom bez potrebe izravne intervencije tehničara. Obnova i popravci na tradicionalnoj mreži se moraju obavljati ručno. Tehničari moraju posjetiti lokaciju kvara da bi obavili popravke. Time se produžuje vrijeme trajanja nestanka električne energije. Senzori napredne mreže mogu otkriti kvarove na vodovima i obaviti jednostavno rješavanje kvarova i popravke bez intervencije. Kvarove povezane sa oštećenjima na infrastrukturi, napredna mreža može odmah prijaviti tehničarima u centru za nadzor kako bi započeli potrebne popravke. Zbog zastarjelosti i ograničenosti, tradicionalna energetska infrastruktura sklona je kvarovima koji uzrokuju prekide isporuke električne energije. Kod naprednih mreža, električna energija može biti preusmjerena da zaobilazi područja koja su

zahvaćena kvarom. Povećanjem broja senzora, energetske kompanije imaju kontrolu veću no ikad nad distribucijom energije. Energija i potrošnja energije može biti nadzirana kroz cijeli sustav, od trenutka kada je napustila elektranu pa sve do krajnjeg korisnika. U tradicionalnoj infrastrukturi, kontrola i nadzor su ograničeni. [3] [7]

### 3.2 Napredna mjerna infrastruktura

Sustav distribucije je krajnja faza prijenosa energije krajnjim korisnicima. Na razini distribucije, sheme inteligentne podrške imat će mogućnost praćenja što pridonosi automatizaciji pomoću pametnih brojila, komunikacijskih veza između potrošača i nadzora, komponente za upravljanje energijom i AMI (napredna mjerna infrastruktura, engl. *Advanced Measurement Infrastructure*). Funkcija automatizacije bit će opremljena sposobnošću samo učenja uključujući module za detekciju kvara, optimizaciju napona i prijenos tereta, automatsku naplatu, obnovu i rekonfiguraciju pretvarača i cijenu u stvarnom vremenu. Elektroprivrede ubrzavaju nastojanja da se razvije napredna mjerna infrastruktura (AMI) da bi poboljšala korisničku podršku i smanjila troškove očitavanja brojila. Najbitniji element u AMI je pametno brojilo. Pametno brojilo je uređaj koji ne samo da mjeri potrošnju električne energije već može i komunicirati sa centrom. Razvijanje komunikacijske mreže između brojila i centra predstavlja nekoliko problema uključujući troškove i pouzdanost. Potrebno je razviti AMI tehnologiju i sustav kako bi se osigurala pouzdanost i fleksibilnost u mjerenju i kontroli brojila električne energije putem bežične mrežaste (engl. *mesh*) mreže nove generacije. Bežične mrežaste mreže osiguravaju metodu prijenosa koja povezuje električna brojila i prijenos podataka svakog brojila preko drugog brojila, koristeći *multi-hop* mrežnu shemu. Ova mreža korisno smanjuje vrijeme potrebno za prikupljanje podataka, a istovremeno smanjuje troškove. Dok bežične mrežaste mreže imaju prednosti u vidu smanjenja troškova, neki izazovi moraju biti prevladani kako bi se osigurala praktična primjena. Simultani prijenos podataka između električnih brojila na istoj frekvenciji može uzrokovati sudaranje signala sprečavajući pouzdano prikupljanje podataka. Na slici 3.1 prikazana je napredna mjerna infrastruktura na područjima Ofuna i Amagasaki. Koncentratori skupljaju podatke iz mrežaste mreže na koju su spojena pametna brojila i preko širokopojasne mreže podaci se šalju u središnji sustav. [3] [8]





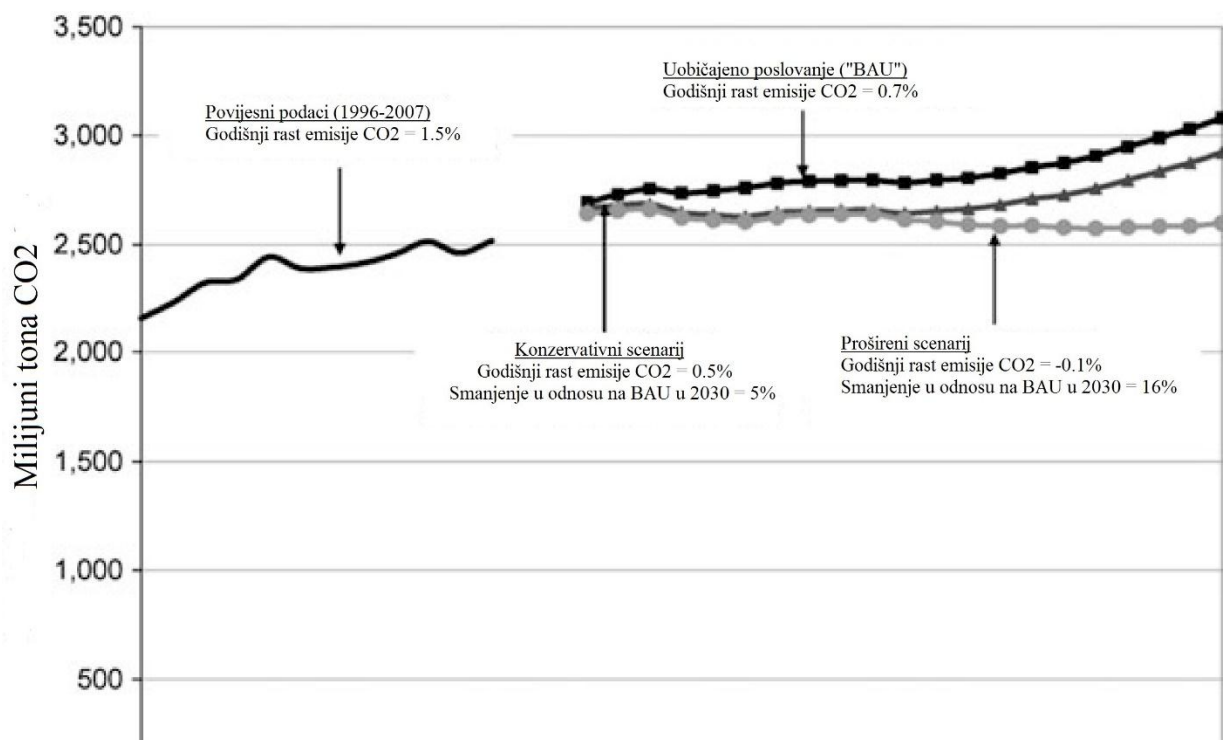
**Slika 3.1** Napredna mjerna infrastruktura za elektroenergetske tvrtke [3]

### 3.3 Pohrana energije

Zbog nepredvidljivosti obnovljivih izvora energije i odstupanja između vrhunca ponude i vrhunca potražnje važno je pronaći načine za pohranu generirane energije za naknadnu upotrebu. Opcije pohrane energije uključuju reverzibilne hidroelektrane, akumulatore, akumulatorske baterije, komprimirani zrak, super vodljivo magnetsko energetske pohranjivanje, super kondenzatore i zamašnjake. Povezani tržišni mehanizam za upravljanje obnovljivim izvorima energije, distribuiranom proizvodnjom, utjecajem na okoliš i onečišćenjem potrebno je uvesti u dizajn napredne mreže na razini proizvodnje. [3] [4] [8]

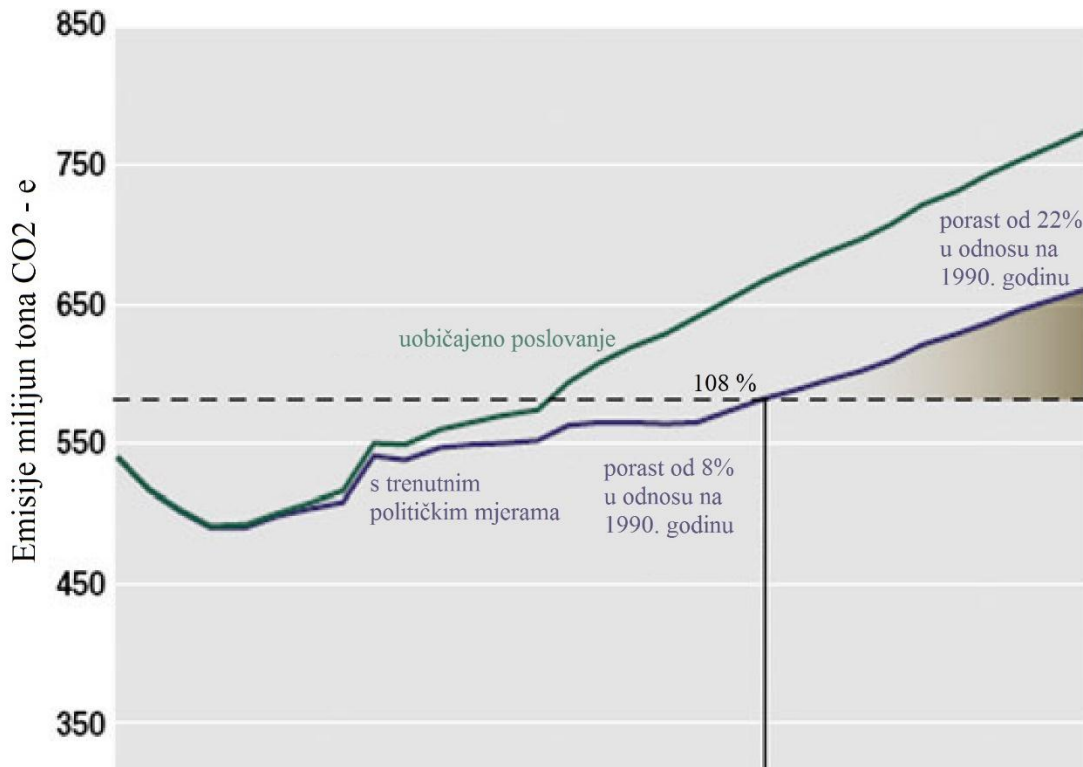
### 3.4 Utjecaj na okoliš

Konzervativni scenarij dovodi do smanjenja godišnjih emisija CO<sub>2</sub> u sektoru električne energije za 5% do 2030., pri čemu se prosječna godišnja stopa rasta emisija CO<sub>2</sub> smanjuje sa 0,7 % na 0,5 %. Prošireni scenarij dovodi do daljnjih smanjenja. Emisija CO<sub>2</sub> u energetskom sektoru u 2030. godini smanjena je za 16 % u odnosu na slučaj uobičajenog poslovanja (BAU). Emisije CO<sub>2</sub> u ovom su scenariju u osnovi smanjene, pri čemu godišnja promjena emisija CO<sub>2</sub> postaje prosječno smanjenje od 0,1%.



**Slika 3.2** Predviđene emisije CO<sub>2</sub> u globalnom sektoru energije [3]

Slika 3.2 ističe izazov za postizanje velikih smanjenja emisija stakleničkih plinova u budućnosti. Emisije stakleničkih plinova u Australiji rastu i taj se trend predviđa da će se povećati barem do 2020. godine. Do 2020. predviđa se da će emisije na razini države dostići 22% iznad razine iz 1990. godine, čak i uz trenutne mjere kojima se postiže značajno smanjenje. Najveći dio tog povećanja doći će iz stacionarnog energetskog sektora koji se predviđa da će 2020. narasti do 170% u odnosu na 1990. godinu.



**Slika 3.3** Emisija stakleničkih plinova u Australiji predviđena za 2020. godinu[3]

Ova smanjenja rezultat su nekoliko promjena u elektroenergetskom sustavu. Izgrađuje se manje elektrana na ugljen i prirodni plin, jer općenito postoji manja potreba za novim kapacitetima zbog smanjene potražnje za električnom energijom. U proširenom scenariju, veći dio tog kapaciteta zamjenjuje se čistijim obnovljivim izvorima. Smanjenje linijskih gubitaka također smanjuje količinu električne energije koju elektrane moraju proizvesti kako bi zadovoljile potražnju. [3] [5]

### 3.4.1 Smanjenje emisije stakleničkih plinova

Očekuje se da će svjetska potražnja za električnom energijom do 2030. porasti za 82% [9]. Osim ako se ne razviju nova revolucionarna goriva, taj će se zahtjev prvenstveno zadovoljiti izgradnjom novih postrojenja za proizvodnju električne energije na ugljen, nuklearno gorivo i prirodni plin. Prema tome procjena je da će svjetske emisije CO2 porasti za 59% do 2030. godine. Napredna mreža može pomoći u ublažavanju porasta emisija CO2 usporavanjem rasta potražnje za električnom energijom. Omogućiti potrošačima da upravljaju vlastitom potrošnjom energije putem nadzornih ploča i elektroničkih energetske savjeta. Točnije i pravodobnije

informacije o određivanju cijena električne energije potaknut će potrošače da prihvate rješenja za uklanjanje i premještanje tereta, koja aktivno prate i kontroliraju potrošnju energije koju koriste uređaji. Na dereguliranim tržištima dopustiti potrošačima da koriste informacije kako bi se mogli dinamički prebacivati između konkurentnih pružatelja energije na temelju željenih varijabli (cijena energije, emisije stakleničkih plinova i socijalne ciljeve). Korisnici bi mogli odlučivati od koga će otkupljivati električnu energiju, npr. mogli bi birati između elektroprivrede ili korisnika koji na svojim krovovima imaju instalirane solarne panele. Ovaj pristup na otvorenom tržištu mogao bi ubrzati profitabilnost i ubrzati daljnja ulaganja u proizvodnju obnovljive energije. Napredna mreža može emitirati upozorenja o upravljanju potrošnje kako bi se smanjila potražnja za energijom i smanjila potreba da elektroprivrede pokrenu rezervne generatore. Usluge daljinskog upravljanja energijom omogućit će korisnicima da daljinski kontroliraju svoje domove kako bi smanjili potrošnju energije. Omogućiti elektroprivredama da se više usredotoče na program 'Save-a-Watt' (engl. *uštedjeti vat*). Ti su programi djelotvorni jer manjak vata se može kompenzirati boljom energetsom učinkovitošću koja može biti isplativija i učinkovitija od emisije CO<sub>2</sub> koja bi nastala zbog stvaranja dodatnog vata električne energije. [3] [5]

### 3.5 Pregled tehnologija potrebnih za naprednu mrežu

Da bi se ostvarile različite potrebe napredne mreže, moraju se razviti i implementirati sljedeće tehnologije:

Tehnologije senzora, mjerenja, kontrole i automatizacije:

-Fazorske mjerne jedinice (PMU, engl. *phasor measurement unit*) i nadzor, zaštita i upravljanje širokim područjem (WAMPAC, engl. *wide area monitoring, protection and control*) da bi se osiguravala sigurnost elektroenergetskog sustava.

-Inteligentni elektronički uređaji (IED, engl. *intelligent electronic devices*) za pružanje naprednih zaštitnih releja, mjerenja, zapisa o kvarovima i zapisa o događajima za elektroenergetski sustav, integriranih senzora, mjerenja, sustava za upravljanje i automatizaciju te informacijskih i komunikacijskih tehnologija za pružanje brze dijagnoze i pravovremenog odgovora na bilo koji događaj u različitim dijelovima elektroenergetskog sustava. Oni će podržati poboljšano upravljanje resursima i učinkovit rad komponenti elektroenergetskog sustava, kako bi se olakšalo zagušenje u prijenosnim i distribucijskim mrežama te kako bi se spriječili ili minimizirali potencijalni zastoji i omogućio autonomni rad kada uvjeti zahtijevaju brzo rješavanje.

-pametni uređaji, komunikacija, kontrola i senzori za praćenje kako bi se povećala sigurnost, udobnost, praktičnost i ušteda energije u kućama.

-pametna brojila, komunikacija, prikazi i pripadajući softver kako bi se potrošačima omogućio bolji izbor i kontrola korištenja električne energije. Oni će potrošačima pružiti točne račune, točne informacije o korištenju električne energije u stvarnom vremenu i omogućiti upravljanje potražnjom i sudjelovanje na strani potražnje.

Informacijske i komunikacijske tehnologije:

-dvosmjerne komunikacijske tehnologije koje omogućuju povezivanje različitih komponenti u elektroenergetskom sustavu i u opterećenju

-otvorene arhitekture za *plug and play* uređaje za kućanstvo; električna vozila; i mikro-generacije.

-komunikacije i potrebni softver i hardver koji klijentima pružaju više informacija, omogućuju kupcima da trguju na tržištima energije.

-softver koji osigurava i održava sigurnost informacija i standarda kako bi se osigurala skalabilnost i interoperabilnost informacijskih i komunikacijskih sustava.

Energetska elektronika i skladištenje energije:

-Visokonaponski istosmjerni (HVDC, engl. *high voltage DC*) prijenos i *back-to-back* shema i fleksibilni izmjenični prijenosni sustavi (FACTS, engl. *flexible AC transmission systems*) kako bi se omogućio prijenos na velike udaljenosti i integraciju obnovljivih izvora energije.

-različita sučelja energetske elektronike i energetske elektroničke podržavajući uređaji koji bi osiguravali učinkovito povezivanje obnovljivih izvora energije i uređaja za pohranu energije.

-serijski kondenzatori, objedinjeni regulatori protoka snage (UPFC, engl. *unified power flow controllers*) i drugi FACTS uređaji koji osiguravaju veću kontrolu nad protokom energije u AC mreži.

-HVDC, FACTS i aktivni filtri zajedno s integriranom komunikacijom i kontrolom osiguravaju veću fleksibilnost sustava, pouzdanost napajanja i kvalitetu energije.

-sučelja energetske elektronike i integrirana komunikacija i kontrola za podršku operacijama sustava kontroliranjem obnovljivih izvora energije, skladištenja energije i opterećenja potrošača.

-skladištenje energije kako bi se omogućila veća fleksibilnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava. [3] [10]

## 4. PAMETNA BROJILA

Brojila se mijenjaju od jednostavnih mjernih uređaja do višedimenzionalnih tehničkih uređaja, a poboljšavaju se dodavanjem novih informacijskih i komunikacijskih kapaciteta kao što su napredniji sustavi mjerenja. Pametna brojila omogućuju automatsku, dvosmjernu komunikaciju između potrošača i centralne stanice. Tradicionalna brojila prikazuju samo količinu potrošene energije dok pametna brojila mogu slati podatke o korištenju električne energije nazad u centralnu stanicu. Informacije o potrošnji električne energije mogu se prikupljati precizno i u stvarnom vremenu iz pametnog brojila. Moderne distribucijske tvrtke moraju usvojiti pametne mjerne uređaje u svojoj mreži kako bi poboljšale učinkovitost mreža i bile u skladu s okolinom pametnih mreža. [3] [11]

### 4.1 Opis pametnog brojila

Pametna brojila smještena su u prostorima potrošača kako bi razmjenjivali informacije između potrošača i kontrolnog centra. Pametno brojilo ima sljedeće mogućnosti:

- Pravovremeni podaci o potrošnji električne energije i proizvedenoj električnoj energiji;
- Pružanje mogućnosti očitavanja brojila na lokalnoj razini i na daljinu;
- Pružanje interkonekcije (međupovezanosti) između izvora električne energije za distribuiranu proizvodnju.

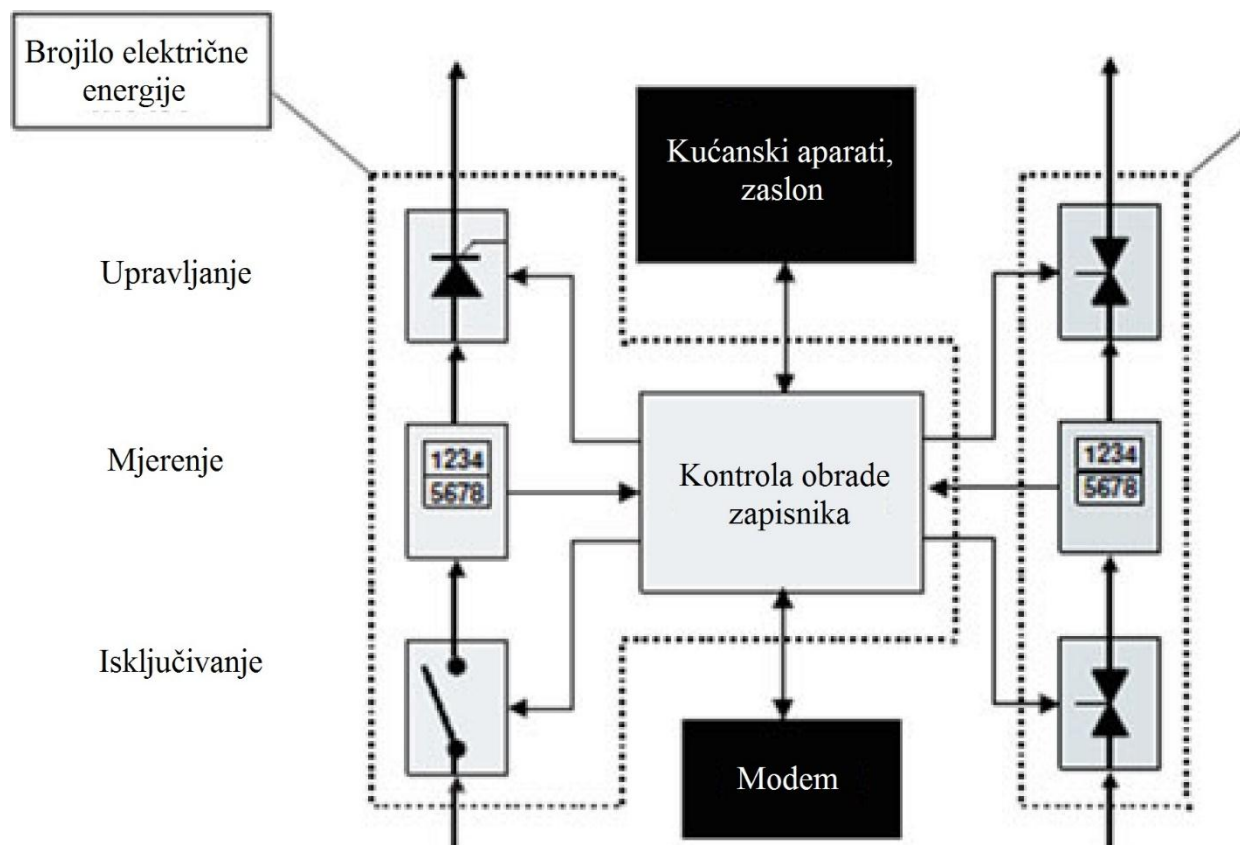
Obično se za praćenje potrošnje električne energije razmatra pametno brojilo. Ima nekoliko osnovnih funkcija, odnosno mjerenje potrošene ili proizvedene električne energije, daljinsko uključivanje ili isključivanje kupca i daljinsko upravljanje maksimalnom potrošnjom električne energije. Nadalje, procesi dizajniranja pametnog brojila stvaraju mnoge mogućnosti za daljnje unaprjeđivanje tehnologije mjerenja.

Pametna brojila odnose se na sustave u kojima informacije teku u oba smjera. Ovi sustavi otvaraju širok spektar mogućnosti za usluge putem ažuriranih informacija i inovativnih proizvoda. Sve je veće zanimanje znati kako nove informacijske i komunikacijske tehnologije (ICT, engl. *information and communication technologies*) mogu promijeniti konvencionalno

brojilo u pametno brojilo u svrhu uštede energije i energetske sigurnosti. Funkcionalnosti novih tehnologija mjerenja spojene su u različitim paketima u ovom pametnom mjernom sustavu.

Izravno praćenje potrošnje energije i poboljšanje energetske učinkovitosti glavna su svrha pametnog mjerenja na distribucijskim mrežama. Pametni mjerni uređaji potiču potrošače da promijene ponašanje gašenjem električnih uređaja tijekom razdoblja najveće potražnje. Ti se učinci potiču ili izlaganjem potrošača pravilima o potrošnji ili financijskim poticajima. Energetska učinkovitost može se poboljšati jer potrošač regulira potrošnju energije na temelju njihovih potreba.

Slika 4.1 prikazuje shematski dijagram pametnog brojila. Podaci koji se generiraju i prenose putem pametnih brojila otvaraju niz operativnih poboljšanja, uključujući praćenje i kontrolu korištenja energije. Ova detaljna informacija o mreži poboljšava mrežne operacije i olakšava stvaranje više energije iz obnovljivih izvora i integraciju. Širok spektar mogućnosti za uštedu energije omogućuje pametnom brojilu privlačnu mogućnost za distribucijsku mrežu. [3] [11]



**Slika 4.1** Shematski dijagram tipične konfiguracije pametnog brojila [3]



## 4.2 Prednosti pametnog brojila

Napredna distribucijska mreža potrebna je za održavanje i poboljšanje energetske sigurnosti. Globalno, autohtoni energetske resursi koji osiguravaju opskrbu energijom potaknuli su razvoj i primjenu novih i obnovljivih tehnologija, uključujući napredak načina na koji se energija isporučuje putem pametnih brojila. Primjena pametnog brojila u distribucijskom sustavu može olakšati korak transformacije u načinu proizvodnje i potrošnje energije. Pametno brojilo s visokotehnološkim komunikacijskim mogućnostima prati potrošnju energije i omogućuje potrošačima da se informirano odlučuju o tome koliko će se energije potrošiti i kada će je potrošiti.

Pametno brojilo pruža potrošačima mogućnost učinkovitijeg korištenja električne energije i pruža im alate za učinkovitije upravljanje. Usvajanje pametnog brojila u naprednoj distribucijskoj mreži poboljšat će sustav za isporuku električne energije, uključujući proizvodnju, prijenos, distribuciju i potrošnju. Ova kraća udaljenost od proizvodnje do potrošnje omogućuje potrošačima da budu aktivni sudionici u svojim energetske izborima. Nadalje, značaj pametnog mjerenja također raste zbog tendencije uklanjanja potrebe za većom proizvodnjom energije čime se smanjuje potreba za proširenjem elektroenergetske mreže kako bi se prevladao problem zagušenja električne energije. To je moguće putem distribuirane proizvodnje i upravljanjem potrošnje. Razine potrošene energije su znatno smanjene, a vršno opterećenje se smanjuje prebacivanjem opterećenja iz razdoblja kada je opterećenje veliko u razdoblje kada je opterećenje malo. Pametna brojila djeluju kao inteligentni čvorovi u pametnoj distribucijskoj mreži. Rastuća važnost energije iz obnovljivih izvora energije dodatno opterećuje tradicionalnu distribucijsku mrežu, koja je samo "jednosmjerna" - ona ne može prihvatiti mikro električnu energiju.

S operativnog stajališta, korištenje pametnog mjernog sustava omogućuje bolje upravljanje i kontrolu nad distribucijskim sustavom električne energije. Pametni distribucijski sustav trebao bi biti pouzdaniji, što bi značajno smanjilo trošak nestanka električne energije za potrošače i tvrtke. Danas su dostupni alati za poboljšanje praćenja i kontrole distribucijskog sustava u realnom vremenu s naprednom informacijskom tehnologijom. Uvođenje pametnih brojila u distribucijski sustav s naprednom informacijskom tehnologijom omogućuje upravljanje tim sve kompliciranijim mrežama. Za poboljšanje pouzdanosti distribucijskog sustava potreban je integrirani, električni distribucijski sustav s razvijenom informatičkom tehnologijom (IT, engl. *information technology*), ali je ključno povećati postotak obnovljivih izvora u našoj energetskej

mješavini zbog promjenjive prirode mnogih od tih izvora. Uvođenjem velikog broja IED-ova (kao što su pametni kontrolni uređaji i kontrolne točke) u distribucijsku mrežu, omogućuje se preciznije upravljanje, što može povećati efektivni kapacitet. [3]

### 4.3 Tehničke konfiguracije pametnog brojila

Brze promjene u informacijskim i komunikacijskim tehnologijama dramatično su promijenile potencijal električnih brojila, a novi sustav mjerenja potrošnje energije bio je poznat kao "pametno brojilo" kao odraz njihovih povećanih funkcionalnosti i komunikacijskih kapaciteta u usporedbi s "jednostavnijim" prethodnicima koji uglavnom mjere potrošnju energije ručnim očitavanjem. Proizvođači električnih brojila i pružatelji informacijsko-komunikacijskih tehnologija natjecali su se kako bi tvrtkama pružili nove pametne sustave mjerenja.

Postojeće distribucijske mreže stare su i nisu osmišljene kako bi se nosile s budućom potražnjom električne energije. Pametno brojilo je ključni element za pružanje naprednih kućanskih aparata i tehnologija koje bi imale mogućnosti komunicirati putem brojila sa distribucijskom mrežom, tako pružajući mogućnosti krajnjim korisnicima bolju energetska učinkovitost. Korištenje pametnog mjernog sustava omogućuje bolje upravljanje i kontrolu nad distribucijskim sustavom električne energije. Štoviše, informacije o potražnji u budućoj distribucijskoj mreži koje će biti dostupne pomoću pametnog mjerenja olakšavaju daljnje planiranje mreže.

Proizvođači mjernih uređaja i pružatelji komunikacijskih usluga natječu se za pružanje usluga mjerenja novim naprednim mjernim sustavima. U tablici 4.1 prikazane su funkcije i postavke parametara pametnih brojila. Brojila daju važne izmjerene vrijednosti za procjenu stanja sustava i kvalitete napajanja. [3]

**Tablica 4.1** *Postavke parametara pametnog brojila [3]*

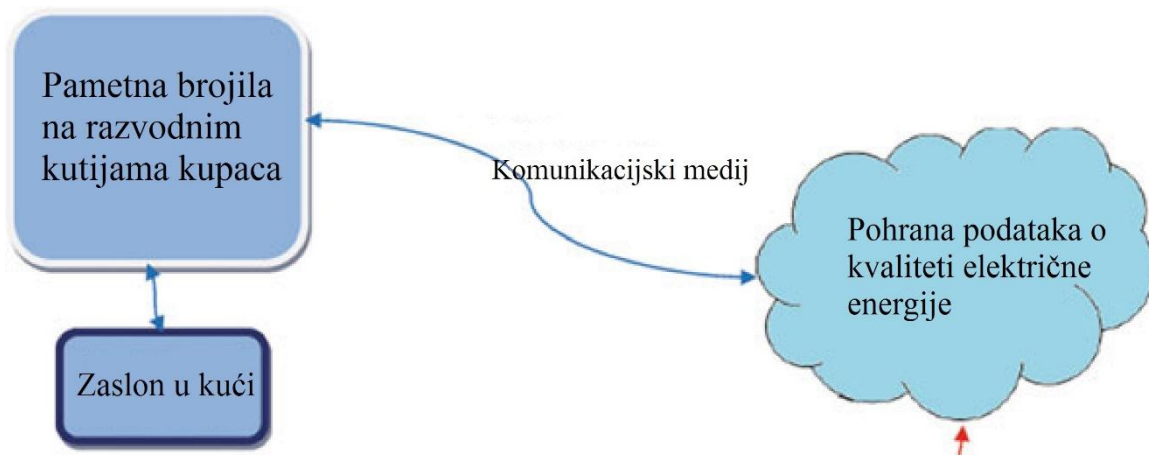
FUNKCIJA	PARAMETRI
Osnovne mjerne vrijednosti	Napon, struja, aktivna snaga, reaktivna snaga, faktor snage, frekvencija
Proširene mjerne vrijednosti	Kut pomaka faze, fazni kut, harmonici napona, harmonici struje, izobličenje struje, maksimalne vrijednosti/datum i vrijeme, asimetričnost napona

Detekcija snage/mjerači	Prividna energija, aktivna energija, reaktivna energija, potrošnja energije posljednjeg mjernog razdoblja, brojač radnih sati
Sučelja	Internet, istovremene veze, protokol, prolaz
Ulaz/Izlaz	Digitalni ulaz, digitalni izlaz, radni napon
Sat/kalendar	Sat u stvarnom vremenu, funkcija kalendara, ljetno vrijeme/zimsko vrijeme zamjena
Prikaz/radnja	Prikaz, naznaka, radnja, jezik

#### 4.4 Program za nadzor

Pametno brojilo je dvosmjerni informacijski komunikacijski sustav. Osnovni elementi programa za nadzor pametnog brojila prikazani su na slici 4.2. i to su: pametna brojila, sredstvo komunikacije i memorija o kvaliteti energije. Sredstva komunikacije mogu uključivati fiksni kabel s upletenom paricom, telefonske linije, mobilne telefone, nositelje dalekovoda (PLCC), radio, optička vlakna ili njihove kombinacije.

Odabrana brojila moraju biti sposobna za snimanje parametara. Memorija podataka mora biti učinkovito i sigurno sredstvo za pohranjivanje podataka sa svih brojila u razdoblju praćenja. Količina pohranjenih podataka ovisit će o prenesenim podacima. Postojeći napredni mjerni uređaji koji bilježe podatke o kvaliteti energije koncentrirani su na prijenos svih podataka kao što su podaci o naponu, struji, faktoru snage i drugim podacima. Podaci se prvo moraju poslati s pametnog brojila u memoriju podataka o kvaliteti energije. Razumnija i realnija opcija je da svako pametno brojilo, iznimno, izvještava u stvarnom vremenu ili koristeći indekse kvalitete električne energije za svako mjesto.



**Slika 4.2** Program za nadzor pametnih brojila [3]

#### 4.5 Utjecaj pametnih brojila na distribucijski sustav

Usprkos brojnim prednostima primjene tehnologije pametnog brojila, usvajanje ove nove tehnologije suočava se s tehničkim izazovima. Mreža s ugrađenim pametnim brojlama suočava se s problemima koji mogu ugroziti pouzdanost isporuke energije.

Izazovi komunikacijske mreže: Budući da inteligentni mjerni uređaji omogućuju dvosmjernu komunikaciju između korisnika i uslužnog programa, ti uređaji omogućuju pristup većem broju informacija od tradicionalnih brojila. Kako bi se omogućila robusna komunikacija između pametnih uređaja za mjerenje i centraliziranog sustava upravljanja, potreban je komunikacijski kanal visoke propusnosti kako bi se omogućilo učinkovito i djelotvorno kretanje digitalnih podataka kroz mrežu.

Standardni komunikacijski protokol: Nedostatak standardizacije tehnologije pametnog mjerenja znači da je velik broj pametnih brojila različitih tipova razvijen za prikupljanje i slanje podataka i uputa, pretvaranje podataka i pohranjivanje podataka u različite komunikacijske protokole. Ako se koristi isti komunikacijski protokol, problem može biti minimiziran. Inače, međunarodni standardi koji pokrivaju automatsku razmjenu podataka o brojlama također mogu prevladati ovu tehničku prepreku. Navedene strategije predstavljaju most do implementacije budućih naprednih tehnologija gdje će podaci u stvarnom vremenu biti najvažniji. Oni će pružiti osnovu za implementaciju pametne mreže brojila u distribucijskom sustavu koja pruža niz sigurnosti, kvalitete i pouzdanosti. [3] [11]

## 4.6 Tehnologije pametnog brojila u distribucijskom sustavu

Tehnologije pametnih brojila:

- integrirana komunikacijska infrastruktura koja omogućuje gotovo u realnom vremenu dvosmjernu razmjenu informacija i snage;
- napredniji mjerni uređaji (uključujući naprednu mjernu infrastrukturu) koji bilježe i razmjenjuju detaljnije informacije o korištenju energije;
- senzori i sustavi nadzora u mreži koji provjeravaju protok energije u sustavu i performanse mreže;
- automatske kontrole koje otkrivaju i popravljaju kvarove u mreži i pružaju rješenja za samooporavak;
- napredne sklopke i kabeli koji poboljšavaju performanse mreže; i
- IT sustavi s integriranim aplikacijama i analizom podataka.

Distribucijska mreža sa ugrađenim pametnim brojilima omogućuje razvoj električnih vozila, tehnologije pohrane energije, pametne uređaje i pametne zgrade, alate za upravljanje energije za potrošače, mikromreže, distribuirane energetske resurse, obnovljive izvore energije i mnoge nepredviđene mogućnosti. [3]

### 4.6.1 Karakteristike pametnog brojila u distribucijskoj mreži

Dodatni atributi pametne distribucijske mreže:

- aktivno sudjelovanje potrošača odvija se kroz pružanje dvosmjernih komunikacija i informacija koje potrošaču omogućuju da troši i daje energiju;
- postizanje samoizlječenja (tj. automatskog odgovora na greške), integracija uređaja i senzora sa sigurnom komunikacijskom mrežom automatski će povratiti nepromijenjene dijelove mreže i izolirati one elemente koji trebaju popravak. Otpornost na sigurnosni napad poboljšana je jer se cjelokupna cyber sigurnost provodi u cijeloj mreži pomoću pametnih mrežnih sigurnosnih protokola;

- omogućiti mogućnosti proizvodnje i pohrane na makro i mikro razini putem participativnih mreža uspostavljenih na svim razinama mreže, što omogućuje individualne i industrijske korisnike;
- optimizirati imovinu i učinkovit rad te smanjiti troškove rada i održavanja, iskorištavajući informacije dobivene od senzorskih i nadzornih uređaja i mogućnosti automatskog prebacivanja;
- omogućiti distribucijsku mrežu koja je fleksibilna prema prirodnim katastrofama, i koja ima mogućnost brzog oporavka nakon njih.

Stoga možemo zaključiti da je danas pametna distribucijska mreža vitalna potreba za održivim, osiguranim elektroenergetskim sustavom za budućnost. [3]

## 5. KOMUNIKACIJSKE I MREŽNE TEHNOLOGIJE PAMETNIH MREŽA

Pametna mreža je energetska mreža nove generacije u kojoj distribucija i upravljanje električnom energijom učinkovito se provodi iskorištavanjem informacijskih i komunikacijskih tehnologija kao što su pervazivno računarstvo, u procesima kontrole i odlučivanja. Pametnu mrežu karakterizira takva funkcionalnost koja se može prilagoditi promjenama opterećenja i potražnje, inteligentno upravljati dvosmjernim protokom podataka i značajno poboljšati pouzdanost, robusnost, sigurnost i održivost sustava. Komunikacijske mreže igraju ključnu ulogu u olakšavanju tih značajki i sastavni su dio svakog sustava upravljanja pametnim mrežama. U posljednjih nekoliko desetljeća, električna i elektronička tehnologija doživjela je masivan napredak s razvojem mnoštva proizvoda kako bi naš svakodnevni život bio praktičniji i udobniji. Od pametnih telefona i popularnih mobilnih pomagala do inteligentnih sustava za kontrolu temperature i vlažnosti te kućanskih aparata kao što su štednjaci, perilice posuđa i hladnjaci. Neizbježno, to je dovelo do toga da se potrošnja električne energije razmjerno povećava, a fosilna goriva, ugljen, plin i nuklearna energija služe kao glavni izvori električne energije u većini razvijenih zemalja. Ti relativno jeftini izvori često su povezani s odgovarajućim štetnim učinkom na okoliš i globalnu klimu. Društvo je također sve više svjesno posljedica klimatskih promjena, do te mjere da se traže novi čistiji obnovljivi izvori energije kao pogodna rješenja za buduću opskrbu električnom energijom, pri čemu su vjetar, valovi i solarna energija najreprezentativniji primjeri ovih novijih izvora energije.

Posljedica ove diverzifikacije energetske izvora je da će se električni distribucijski sustavi transformirati iz trenutačne situacije s relativno malim brojem vrlo velikih proizvodnih sustava baziranih na postrojenjima, u mnogo heterogeniji okvir koji kombinira tradicionalnu mrežu velikih razmjera, s novim mikro-mrežama solarne energije, energije valova i vjetra, raspoređenih po zemljopisnim područjima. Distribucija energije i protok informacija mreže tako će se prebaciti od sadašnjeg jednosmjernog modela na fleksibilniji dvosmjerni model s neizbježno složenijim zahtjevima upravljanja unutar postojeće infrastrukture. Budući da postojeće strategije postaju zastarjele za upravljanje nastalim heterogenim elektroenergetskim mrežama, potraga za novim načinima rješavanja budućeg rasta potražnje i odgovora na potražnju bit će najvažnija, pod uvjetom da takvi novi sustavi budu pouzdani, robusni, održivi i sigurni. Pametna mreža je sljedeća generacija distribucijske mreže koja ima sveobuhvatni cilj transformacije trenutne centralizirane kontrolne mreže proizvođača energije u više distribuirani energetski sustav u kojem su korisnici interaktivniji. Primjenom novije tehnologije, alata i tehnika na postojećem

elektroenergetsku mrežu ona se može unaprijediti. Među njezinim ključnim značajkama bit će to što je pouzdana, pristupačna i sigurna, kao i mogućnost uključivanja heterogenih zaliha energije, uključujući obnovljive izvore energije, istodobno nastojeći minimizirati ugljični otisak. Da bi se ispunila vizija i ostvario potencijal pametne mreže, sofisticirana komunikacijska mreža neizbježno će igrati ključnu ulogu u svakom sustavu upravljanja pametnim mrežama. Zbog toga je nužno istražiti zahtjeve i izazove u dizajniranju i provedbi učinkovite komunikacije i mrežnog sustava pametne mreže. [3]

## **5.1 Komunikacija i umrežavanje u sadašnjoj elektroenergetskoj mreži**

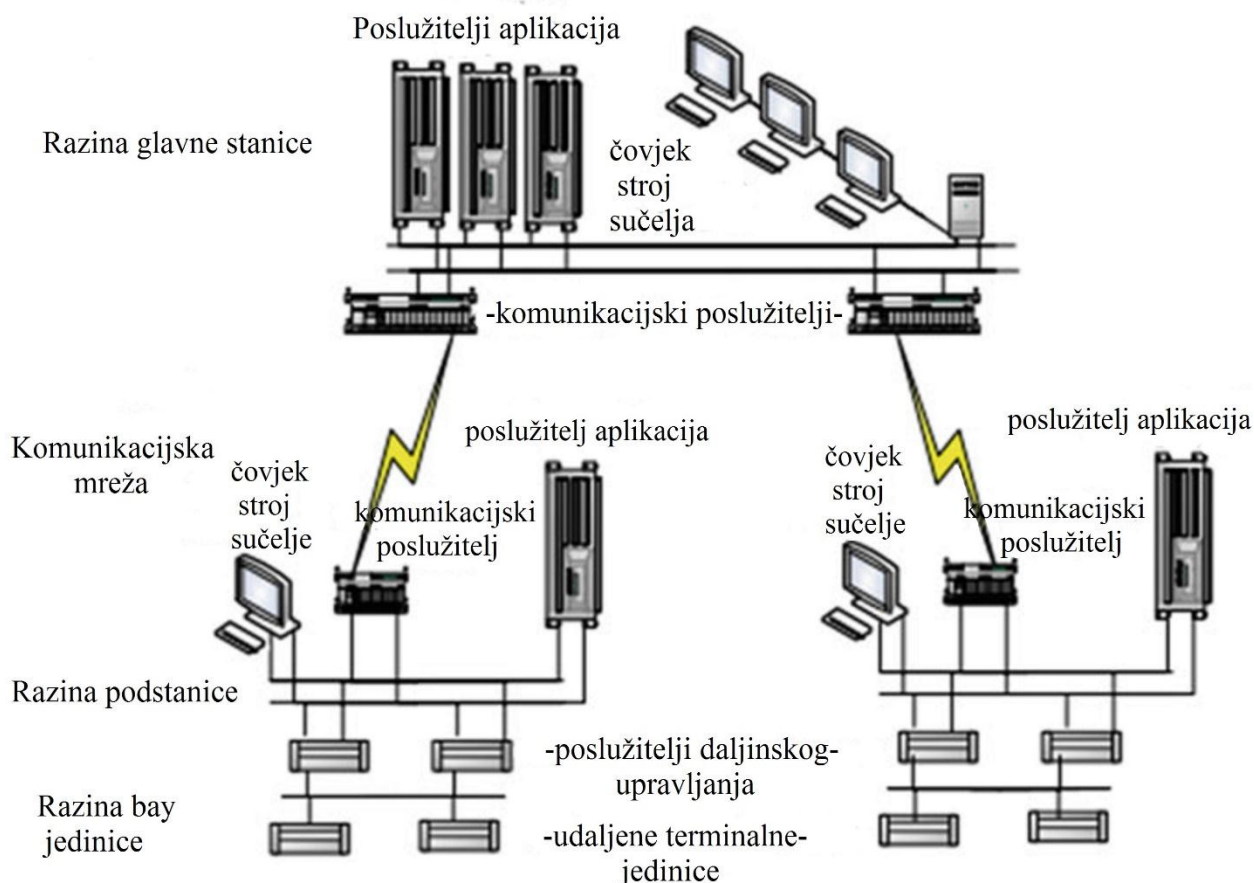
Sadašnja elektroenergetska mreža u većini zemalja uglavnom se sastoji od nekoliko vrlo velikih postaja za proizvodnju energije koje napajaju cijelu regiju ili čak zemlju, putem velike mreže transformatora i kabela, pri čemu je distribucija sama po sebi jednosmjerna. Hrvatska koristi aktivnu distributivnu mrežu koja omogućuje kupcima da budu i proizvođači električne energije. Elektroenergetska mreža ima krutu hijerarhijsku strukturu, pri čemu su elektrane na vrhu sustava, dok je opterećenje u prostorima kupca na dnu. Potražnja za energijom obično se modelira na temelju zahtjeva vršnog opterećenja. Stoga proizvodni kapaciteti moraju biti veći od te vršne potražnje jer jednostavno nije financijski izvedivo skladištiti električnu energiju u velikim količinama. Kako je prosječna potražnja za energijom obično znatno niža od vrha, kapacitet sustava za proizvodnju električne energije i dalje je ozbiljno nedovoljno iskorišten u značajnom dijelu vremena. Prema postojećem centraliziranom distribucijskom i statičkom sustavu upravljanja električnom mrežom, postoji mala fleksibilnost da se može raspodijeliti dio viška vršnog opterećenja u razdoblja izvan vršnog opterećenja. Da bi se postigao taj učinkovitiji model, potrebna je veća interaktivnost i razmjena informacija od krajnjih korisnika. Međutim, postojeći sustavi komunikacije i upravljanja nikada nisu osmišljeni s tim ciljem. Tri glavne funkcije komunikacijskog i mrežnog sustava u postojećoj električnoj mreži su prikupljanje podataka od senzora smještenih na različitim distribucijskim točkama duž mreže; prijenos signala za upravljanje i kontrolu sensorima i aktuatorima; i otkrivanje kvarova u sustavu proizvodnje energije i distribucijskim mrežama. Najšire prihvaćeni sustav za nadzor i upravljanje ovim industrijskim komunikacijskim procesima je softverski paket poznat kao SCADA (računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje). [3] [8]



### 5.1.1 SCADA sustav

SCADA koristi programibilne logičke kontrolere (PLC) kao sučelje za upravljanje i može upravljati bilo gdje u rasponu od nekoliko stotina do milijun ili više I / O (ulaznih / izlaznih) uređaja u polju. Softver ima dva sloja. Prvi je *klijent sloj* koji se koristi za povezivanje s ljudskim operatorom, a drugi je *sloj poslužitelja podataka* koji upravlja procesima kontrole sustava. SCADA djeluje u višezadaćnom načinu na temelju sustava baze podataka u stvarnom vremenu smještenog na različitim poslužiteljima. SCADA je operacija velikih razmjera koja zahtijeva stalno praćenje, nadzor i zaštitu, budući da posljedice kvara mogu biti pogubne za cijeli elektroenergetski sustav. Studije o glavnim isključenjima u određenim zapadnim zemljama tijekom proteklog desetljeća otkrile su da su odgovori sustava bili ili prespori ili, u drugim slučajevima, nesposobni kontrolirati ili popraviti prouzročenu štetu. Mnogi operateri upotrebljavaju verzije SCADA softvera otvorenog koda za financijsku svrsishodnost, iako je dokazano da te verzije imaju slabosti, koje predstavljaju potencijalno ozbiljan sigurnosni rizik.

Na slici 5.1 prikazane su komponente SCADA sustava sa međusobno povezanom lokalnom mrežom. SCADA sustav sastoji se od tri osnovne komponente: Daljinske telemetrijske jedinice (RTU, engl. *remote telemetry units*), komunikacije i sučelje čovjek-stroj (HMI, engl. *human machine interface*). Uloga RTU-a je prikupljanje informacija na nekom mjestu. Komunikacije prenose te informacije od regionalnih RTU mjesta do središnjeg mjesta i povremeno vraćaju naredbe do RTU-a. Funkcija HMI-a je prikazati podatke u grafičkom obliku, arhiviranje primljenih podataka, prenijeti alarme i po potrebi omogućiti kontrolu operatera. [3]



Slika 5.1 SCADA sustavi sa međusobno povezanom lokalnom mrežom [3]

### 5.1.2 Komunikacija i umrežavanje u naprednoj mreži

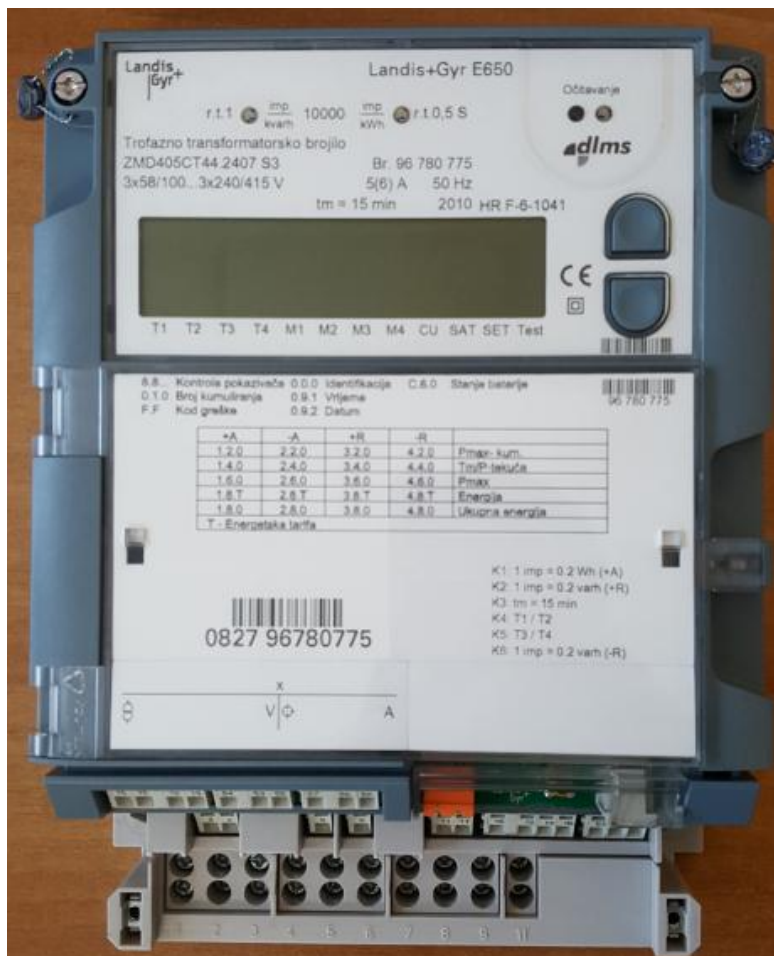
Budući da će napredna mreža u nastajanju implementirati veliki broj senzora i aktuatora na razini korisničke opreme kako bi prikupila podatke o korištenju i isporučila informacije o naredbama i kontroli, trenutni komunikacijski sustav ne može nadzirati tako zahtjevan scenarij. Potrebno je razviti novu arhitekturu komunikacijskog sustava i nove alate. Buduće napredne mreže će biti i inteligentne i prilagodljive promjenama u scenariju i stoga će zahtijevati trenutačno prikupljanje i prijenos podataka iz različitih entiteta u sustavu. To znači da je sigurna komunikacija u stvarnom vremenu ključna u dizajniranju napredne mreže kako bi se mogle prenositi informacije za upravljanje i kontrolu između različitih entiteta u pametnoj mreži. Sastavni dijelovi napredne mreže mogu se široko podijeliti u tri kategorije: komponente za proizvodnju i opskrbu, komponente za prijenos i distribuciju i potrošačka oprema, s temeljnim zahtjevima za komunikacijskim tehnologijama koji su pragmatično različiti za svaki entitet. Na primjer, kućanski aparati mogu samo povremeno zahtijevati prijenos podataka prilikom rada, dok obratno, nuklearna elektrana zahtijeva stalno praćenje svojih podatkovnih komunikacija.

Najvažniji uvjet komunikacijskog sustava je da bude pouzdan i dostupan svugdje u bilo koje vrijeme. Kako bi se osigurao pouzdan prijenos vremenski važnih informacija, svi subjekti moraju biti dostupni bez obzira na situaciju i udaljenosti. Sustav također mora biti sposoban automatski upravljati redundancijom i biti prilagodljiv promjenama u topologiji mreže i okolini. Informacija koja se prenosi putem komunikacijskog sustava uključuje potrošačku upotrebu, naplatu, proizvodnju i opterećenje. To su svi kritični i osjetljivi podaci koji se moraju zaštititi. To znači da sustav mora biti dovoljno robustan i siguran kako bi održao potrebnu razinu privatnosti. Današnje tipično kućanstvo ima samo jedan ili dva uređaja spojena na internet, ali s pametnom mrežom bit će mnogo više povezanih, s razmjernim porastom količine podataka za prijenos putem mreže. Komunikacijski sustav stoga mora biti sposoban podržati razmjerno visoke propusnosti. Još jedna poželjna značajka komunikacijskog sustava je da uključuje sposobnost samoorganiziranja koja će osigurati oporavak od mogućih kvarova ili problema s mrežom uz minimalnu ručnu intervenciju i intervenciju središnjeg sustava. Prednost postojanja samoorganizirajuće značajke je da će to također značajno smanjiti troškove održavanja sustava.

[3] [12]

## 6. LANDIS+GYR E650

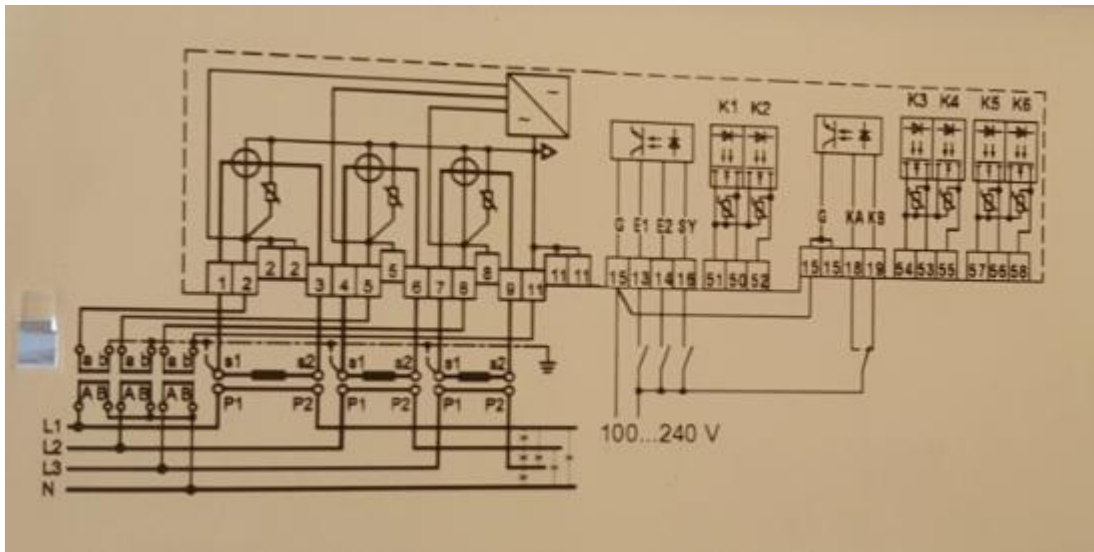
E650 [13] nudi visoku točnost i dugoročnu stabilnost u mjerenju energije i svim radnim uvjetima. Ima izniman mjerni sustav za sve mreže s fleksibilnim mogućnostima prilagodbe posebnim zahtjevima. Optimalan protok podataka se postiže preko integriranog komunikacijskog sučelja ili putem *Plug and Play* Landis+Gyr E65C komunikacijskih modula. Uređaji se mogu jednostavno nadograditi za buduće potrebe tržišta i industrije, čime se osigurava investicija kupaca. E650 se koristi u 80 zemalja i instalirano je preko 2 milijuna uređaja. Na slici 6.1 prikazan je model E650 pametnog brojila.



Slika 6.1 Landis+gyr E650 pametno brojilo

Modularne komunikacijske jedinice pružaju pravi izbor za najbolji podatkovni kanal u svakom trenutku. *Plug and Play* moduli također nude potpunu slobodu izbora za uvođenje novih komunikacijskih tehnologija. E650 posjeduje brojne karakteristike koje su korisne u naprednim mrežama. Dodatno napajanje za osiguravanje očitavanja podataka tijekom faza isključenja

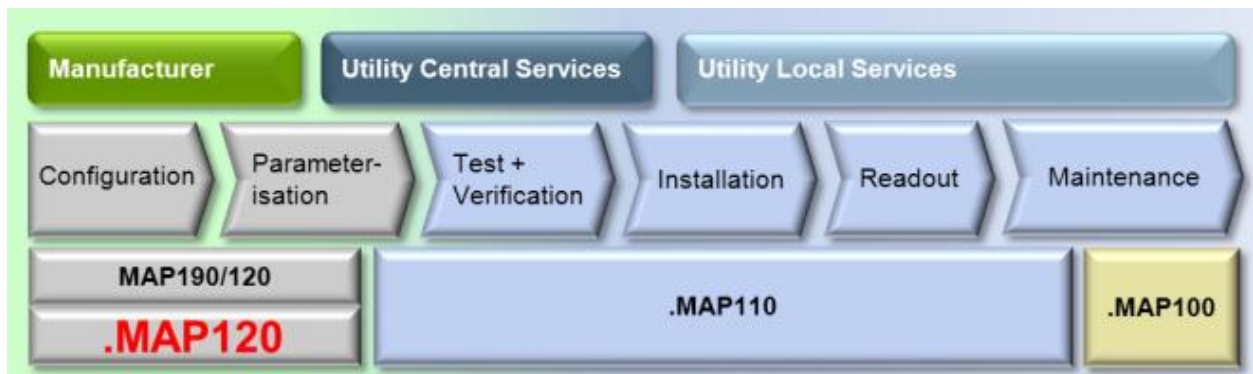
napajanja, funkcije za nadzor snage s funkcijama alarma i dnevnika, alarmni sustav u stvarnom vremenu (SMS) i Boolean I / O kontrolne funkcije za povezivanje i kombiniranje izmjerenih veličina. Shema spajanja E650 pametnog brojila prikazana je na slici 6.2. [13] [14]



**Slika 6.2** Shema spajanja Landis + Gyr E650 pametnog brojila

## 6.1 Software za upravljanje

MAP je alat za parametrisiranje (MAP120) i servisni alat (MAP 110) za Landis + Gyr E650 brojila i odgovarajuće komunikacijske module. Software-om Landis + Gyr MAP 110 moguće je slati pojedinačne naredbe uređaju, bez potrebe za skidanje ili slanjem cijele parametarske datoteke. Lokalno parametrisiranje komunikatora optičkom sondom vrši se slijedećim redoslijedom: 1. Provjera verzije software-a Map110, 2. Postavljanje postavki uređaja i komunikacijskog kanala (optičke sonde), 3. Uparivanje uređaja i komunikacijskog kanala, 4. Unos parametara u komunikator, 5. Aktivacija novih parametara i 6. Provjera rada komunikatora. Uređivač parametara Landis + Gyr MAP120 podržava usluge potrebne za uređivanje i preuzimanje potpunih opisa uređaja (parametrizacije) u podržane Landis + Gyr uređaje. Software MAP je na engleskom jeziku i na slici 6.3 prikazan je dijagram različitih područja primjene MAP 120 software-a.



**Slika 6.3** Dijagram pokazuje različita područja primjene MAP 120 software-a[13]

MAP120 podržava sljedeće glavne slučajeve upotrebe: 1. Izrada datoteke s opisom uređaja u svrhu proizvodnje i dokumentacije i 2. Promjena parametara povezanog uređaja (npr. na uslužnim centralnim uslugama). MAP120 omogućava stvaranje i uređivanje opisa uređaja, očitavanje kompletnog opisa uređaja, upisivanje kompletnog opisa uređaja ili određene skupine parametara (npr. vrijeme korištenja, sigurnosni sustav) na uređaje i izvršavanje povezanih radnji (npr. postavljanje sata, ponovno postavljanje registra), spremanje i otvaranje potpunih opisa uređaja, ispis opisa uređaja i uspoređivanje dva opisa uređaja. [13]

## 6.2 Strujni mjerni transformator

Strujni mjerni transformatori koriste se za mjerenje struja velikih vrijednosti koje bi inače bilo teško mjeriti izravnom metodom. Odnos primarne i sekundarne struje približno je obrnuto proporcionalan odnosu broja primarnih i sekundarnih namota. Razlikujemo strujne transformatore za niži napon i strujne transformatore za viši napon. Osim toga razlikujemo još i strujne transformatore za mjerenje i za relejnu zaštitu (napajaju uređaje relejne zaštite). Kod Landys+gyr E650 brojila koristi se strujni mjerni transformator kao strujni senzor. Na slici 6.4 prikazani su modeli strujnog mjernog transformatora korištenog uz E650 pametno brojilo.



**Slika 6.4** Strujni mjerni transformator

Primarni i sekundarni namot strujnog mjernog transformatora su izolirani kako bi se povećala pouzdanost mjernih uređaja, Svaki transformator ima klasificiran razred točnosti, a standardni razredi su 0.1, 0.2, 0.5 i 1 te se koriste za mjerenje. Na slici 6.5 prikazan je mjerni strujni transformator sa bočne strane na kojoj su vidljive oznake namota transformatora: P1-primarni namot (ulaz), S1-sekundarni namot (ulaz) i S2-sekundarni namot (izlaz).

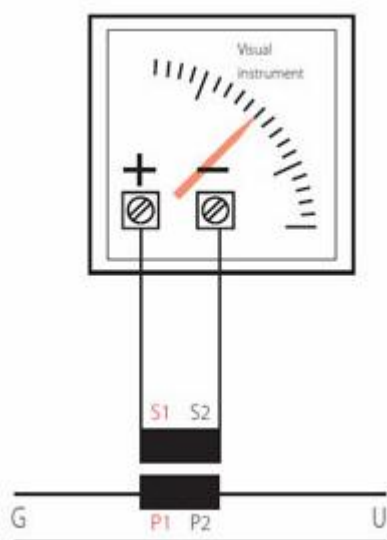
Hep Elektra Vinkovci d.o.o. koristi strujne transformatore od proizvođača Elektrosklop d.o.o. slijedećih karakteristika:

- Nazivna primarna struja - 350 A
- Nazivna sekundarna struja – 5 A
- nazivni teret – 10 VA
- klasa točnosti – 0.5
- faktor sigurnosti – 5
- najviši napon mreže – 0.72 kV
- nazivna termička struja – 60 In
- trajna termička struja – 1.2 In
- frekvencija – 50 Hz

Strujni transformatori izrađeni su u skladu sa IEC 60044-1/96 i drugim ugovorenim standardima npr.: DIN/VDE 0414-1 i slično. Na slici 6.6 prikazana je shema spajanja transformatora. [14] [15]



**Slika 6.5** Oznake namota transformatora: P1-primarni namot(ulaz), S1-sekundarni namot(ulaz), S2-sekundarni namot(izlaz)



**Slika 6.6** Spajanje na strujni transformator [15]



## 6.3 Mjerenje

U Landis + Gyr E650 pametno brojilo ugrađeni su trenutno najmoderniji komunikatori koji koriste 4G mrežu. 4G mreža omogućuje teoretske brzine prijenosa podataka do 150 Mb/s download i 50 Mb/s upload. U praksi su te brzine manje i iznose otprilike oko 14 Mb/s download i 3 Mb/s upload. Podatke sa pametnog brojlila preuzete sa dvije lokacije (Dilj d.o.o. i Enna biomasa Vukovar d.o.o), pomoću software-a Advanced koji je programiran od strane HEP-a na bazi MAP 110 software-a. Software Advanced je povezan sa poslovnim software-om HEP-a na kojem je moguće očitati podatke o lokaciji očitavanja kao što su npr.: adresa, povijest mjerenja, plaćeni i neplaćeni računi itd. [14]

### 6.3.1 Enna biomasa Vukovar d.o.o.

Postrojenje Enna biomasa Vukovar kogeneracijsko je postrojenje koje proizvodi električnu i toplinsku energiju iz drvene biomase. Predviđeno je da će se iz postrojenja za 8000 sati rada tijekom godine proizvesti 495 kW električne energije i jedan MW toplinske energije. Oko 93 % proizvedene električne energije plasira se u mrežu HEP-a, a ostalih 7 % električne energije koristi se za vlastite potrebe i opću potrošnju na kogeneracijskom objektu. Vršiti se otkup plasirane električne energije u mrežu HEP-a na osnovu ugovora o otkupu električne energije s HROTE (Hrvatski operater tržišta energije). 50 % proizvedene toplinske energije troši se na području postrojenja za sušenje drvnih sječki. Preostala toplinska energija plasira se vanjskim potrošačima na području Vukovarske gospodarske zone. Slike 6.7 i 6.9 prikazuju poslovni software HEP-a. Putem poslovnog software-a vidljive su razne informacije uključujući podatke o računima, dugovima i mjerenjima. [16]

Pregled kupca - mjerno mjesto

Kupac: 7785508 ENNA BIOMASA VUKOVAR D. O. O.

Adresa st. računa: \_\_\_\_\_

HD 2 OOS VUKOVAR, KARDINALA A. STEPINCA 27 Model obr. 3 Gospodarstvo

Broj mih 1 Porezni br. 07791884988 Grupa rač. 2 Gospodarstvo - ugovorni

Stari porezni br. \_\_\_\_\_ Daljinsko očit. 0907733913\_42736721

Obračunsko mjerno mjesto: 7733913 1 KOGENERACIJSKO POSTROJENJE "ENNA BIOMASA" Tar grupa 33 P MPC Rbr 42736721

VUKOVAR, GOSPODARSKA ZONA 9 Privremen Bez poreza Glavni vod

NKO P2 400901 Zona 92 Knj 201v / 419 Vrijed od 23.11.18 do \_\_\_\_\_ EES 400900-150280-0032 19.02.19 30

Opskrba 28 HEP ELEKTRA d.o.o. Fir 1R 1R UGO 53 4009-19-000900 19.02.19 19.02.19

Očitano	Ops. ob	Kanal	R1	R2	R3	J1	J2	J3	S1	Račun	Radno br.	Kon.un	Kon.un
03.06.19 09:51	28	✓ ERNP	00041,448	00032,102		00003,263	00008,251		0,002		42736721	180	180 U
01.06.19 00:00	28	✓ EOL	00041,447	00032,100		00003,263	00008,245		0,636		42736721	180	180 U
06.05.19 09:30	28	✓ ERNP	00034,160	00025,988		00002,824	00007,257		0,665		42736721	180	180 U
01.05.19 00:00	28	✓ EOL	00034,160	00025,988		00002,824	00007,257		0,665	190420-1	42736721	180	180 U

DANIJEL DOBUTOVK God.pot 6246 4773

Povijest kupca Pregled MM Mjesečne potr. Energ kartica Očitac podaci

Saldo kartica		Dugovi						Uplate				Izdane rate					
Očitano	Ops. ob	Račun	RK	Saldo	Iznos	St.	1R	Datum	Na računu	Iznos	St.	Datum	mm	gg	Iznos	Iznos HUB	1R
0,00					4.291,41		✓										
	M	190420-1	1		360,70		✓										
	M	190320-5	1		2.180,08		✓										
	M	190220-9	1		896,49		✓										
	M	190120-2	1		974,57		✓										
	M	181220-0	1														

Radni nalozi

04.06.2019 11:29	902671	Uručen - Provjera podataka-izvid
03.08.2019 08:13	902435	Zatvoren - Zamjena MU

Pregled radnih naloga Povećaj za odabr. Zatvori Scan - aktivni

Slika 6.7 Screenshot poslovnog software-a HEP-a s lokacije Enna biomasa Vukovar d. o. o.

U tablici 6.1 prikazani su podaci koji su daljinski očitani s pametnog brojila koje je smješteno na lokaciji Enna biomasa Vukovar d. o. o. Po podacima navedenim u tablici možemo zaključiti da se radi o postrojenju za proizvodnju energije. Pametno brojilo prati i pohranjuje u memoriju podatke o potrošnji i proizvodnji. Prati podatke o jalovoj energiji po kvadrantima i računa ukupnu prividnu energiju. Ukupno se dogodilo 9 prekida.

**Tablica 6.1** Očitani podaci s pametnog brojila

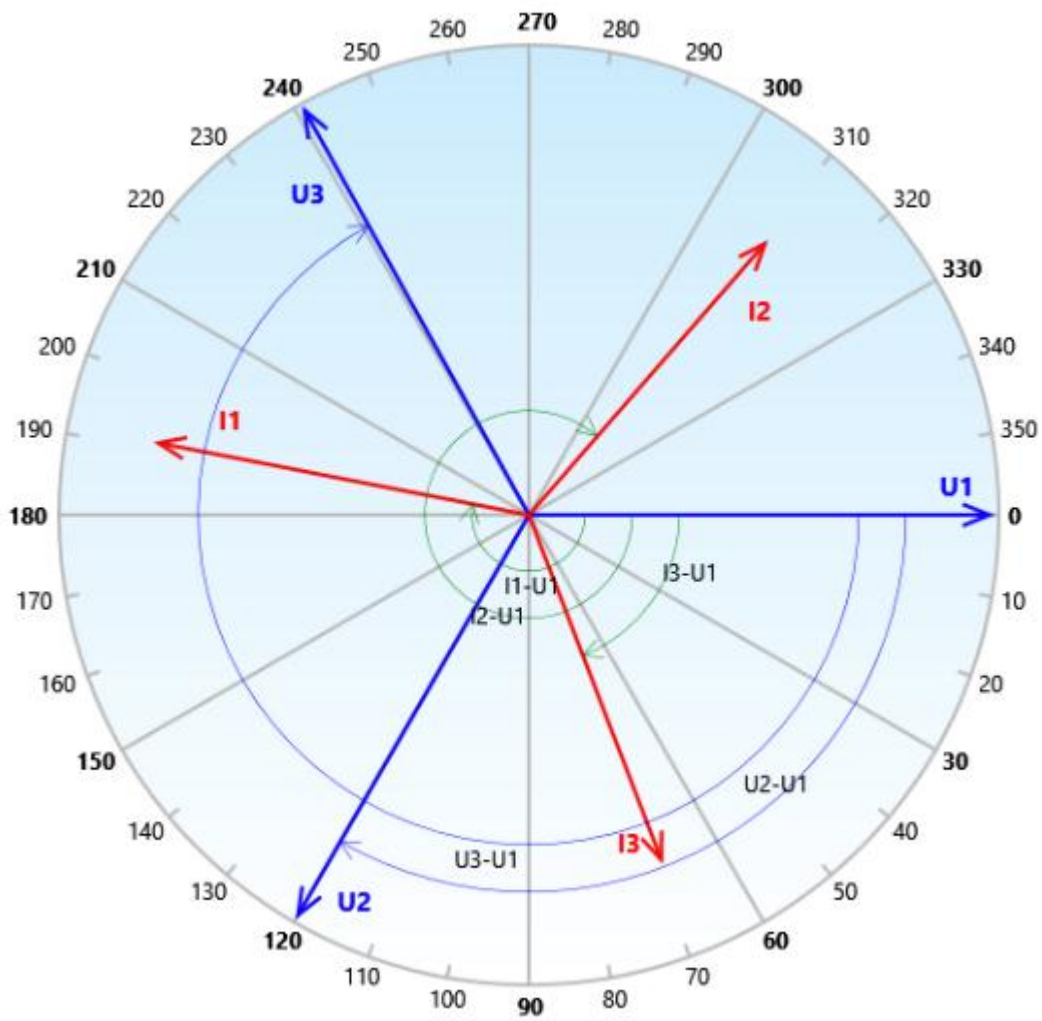
	Za 5. mjesec	Za 6. mjesec	Za 7. mjesec	
Potrošnja snage u 1. tarifi obračuna [kWh]	00030.509	00034.160	00041.447	00041.448 kWh
Potrošnja snage u 2. tarifi obračuna [kWh]	00023.045	00025.988	00032.100	00032.102 kWh
Jalova (induktivna) energija koju kupac uzima iz mreže (1. kvadrant) [kvarh]	00002.041	00002.824	00003.263	00003.263 kvarh
Jalova (kapacitivna) energija koju daje u mrežu (4. kvadrant) [kvarh]	00006.329	00007.257	00008.245	00008.251 kvarh
Maksimalna radna snaga 1. tarife obračuna kao kupca [kW]	0.3137	0.6654	0.6361	0.0017 kW
Maksimalna radna snaga 2. tarife obračuna kao kupca [kW]	0.2795	0.5061	0.6190	0.0061 kW
Radna energija 1. tarife kao proizvođač [kWh]	00164.422	00529.267	01253.236	01374.213 kWh
Radna energija 2. tarife kao proizvođač [kWh]	00099.268	00350.205	00864.126	00963.473 kWh
Jalova (induktivna) energija J3 kao proizvođač (3. kvadrant) [kvarh]	00055.654	00160.560	00437.425	00472.457 kvarh
Jalova (kapacitivna) energija J4 kao kupac (2. kvadrant) [kvarh]	00000.195	00000.287	00000.369	00000.391 kvarh
Maksimalna radna snaga 1. tarife obračuna kao proizvođača [kW]	2.4726	2.9661	2.5573	2.1694 kW
Maksimalna radna snaga 2. tarife obračuna kao proizvođača [kW]	1.7777	2.5314	2.5046	2.1670 kW
Ukupna radna energija kao kupac [kWh]	00053.555	00060.148	00073.548	00073.550 kWh
Ukupna radna energija kao proizvođač [kWh]	00263.691	00879.473	02117.363	02337.686 kWh
Ukupna prividna energija (S+) [kVAh]	00054.534	00061.480	00075.395	00075.401 kVAh

U tablici 6.2 možemo vidjeti iznose ukupne radne energije proizvedene i preuzete iz mreže po fazama.

**Tablica 6.2** *Prikaz potrošnje i proizvodnje ukupne radne energije po fazama*

	Faza L1	Faza L2	Faza L3
Ukupna radna energija kao kupac	00017.282 kWh	00030.804 kWh	00025.474 kWh
Ukupna radna energija kao proizvođač	00790.797 kWh	00774.743 kWh	00772.157 kWh

Na slici 6.8 i u tablici 6.3 pokazan je iznos kuta između struja i napona. Vidljivo je da napon prethodi struji što znači da elektrana na biomasu proizvodi jalovu energiju i predaje ju u mrežu.



Slika 6.8 Dijagram struja i napona pojedinih faza

Tablica 6.3 Iznosi napona, struje i kutova

NAPONI		STRUJE		KUTOVI	
U1	242,19 V	I1	2,75 A	I1-U1	191°
U2	242,74 V	I2	2,62 A	I2-U1	311°
U3	243,07 V	I3	2,69 A	I3-U1	69°
Umax	243,07 V	Imax	2,75 A	U2-U1	120°
				U3-U1	241°

Frekvencija iznosi 49,99 Hz.

### 6.3.2 Dilj d.o.o.

Dilj d.o.o. osnovan je 1922. godine u Vinkovcima. Tvrtka se bavi proizvodnjom opeke, crijeva i ostalih proizvoda od pečene gline za građevinarstvo. Od 2001. godine Dilj d.o.o. posluje u sastavu Nexe grupe iz Našica. Kapacitet proizvodnje je 58 milijuna komada crijeva koji se proizvode u tri različite izvedbe i 700 000 komada posebnih krovnih elemenata. Dilj d.o.o. ima i uveden sustav upravljanja kvalitetom prema normi ISO 9001:2008. [17] [18] [19]

The screenshot displays the 'Pregled kupca - mjerno mjesto' (Customer Overview - Metering Point) screen. It includes the following sections:

- Kupac (Customer):** Dilj D.O.O., Vinkovci, Ciglarska 33. Address and contact details are provided.
- Obračunsko mjerno mjesto (Billing Metering Point):** 8010544, Dilj D.O.O., Vinkovci, Ciglarska 33. Includes meter ID (NKO P2 400900) and zone (92).
- Očitavanje (Readings):** A table showing meter readings for various channels (EDO, ERN) across different dates (01.06.19, 01.05.19, 01.04.19, 19.03.19).
- Saldo kartice (Card Balance):** 86.808,36.
- Dugovi (Debts):** A table listing debts with columns for due date, meter, account, amount, and balance.
- Uplate (Payments):** A table listing payments with columns for date, amount, and balance.
- Izdane rate (Issued Rates):** A table listing issued rates with columns for date, amount, and balance.
- Radni nalazi (Work Orders):** A list of work orders with columns for date, meter, and description.

Slika 6.9 Screenshot poslovnog software-a HEP-a s lokacije Dilj d.o.o.

U tablici 6.4 prikazani su podaci izmjereni na lokaciji Dilj d. o. o. Iz očitanih podataka vidljivo je da je pogon opremljen sa velikim brojem motora koji su induktivni potrošači stoga je potrebno kompenzirati jalovu snagu koja nastaje. Ako jalova snaga prelazi 1/3 vrijednosti potrošene djelatne snage, naplaćuje se ta jalova snaga. Tradicionalna brojila nisu u mogućnosti izmjeriti jalovu snagu stoga HEP ugrađuje napredna pametna brojila. Prikazani su podaci za 4., 5., i 6 mjesec. Pametno brojilo zabilježilo je 30 prekida.

**Tablica 6.4** Očitani podaci s pametnog brojila

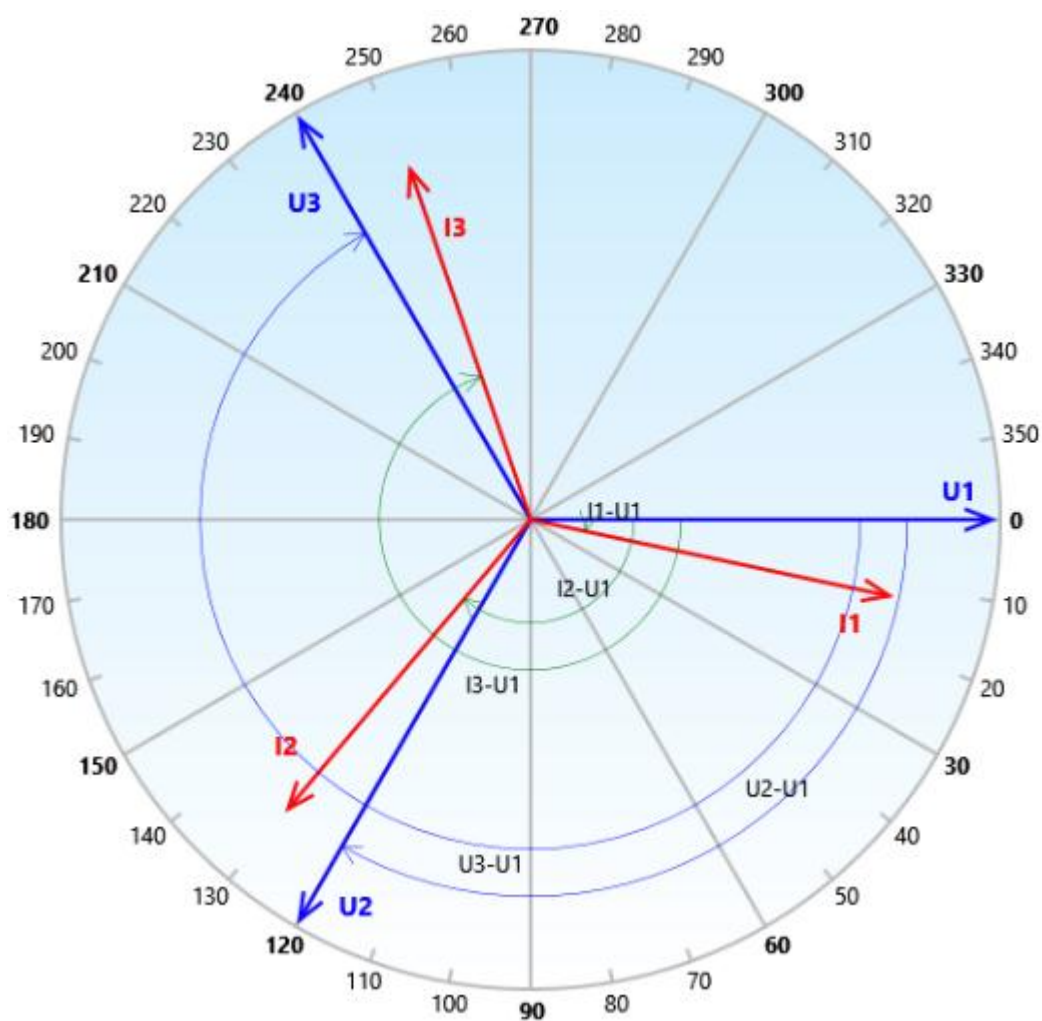
	Za 4. mjesec	Za 5. mjesec	Za 6. mjesec	
Potrošnja snage u 1. tarifi obračuna [kWh]	03802.595	03863.240	03927.846	03936.765 kWh
Potrošnja snage u 2. tarifi obračuna [kWh]	02887.184	02941.538	02998.053	03005.678 kWh
Ukupna proizvedena jalova energija [kvarh]	01628.286	01655.051	01682.956	01686.833 kvarh
Ukupna potrošena jalova energija [kvarh]	00000.592	00000.593	00000.593	00000.593 kvarh
Maksimalna radna snaga 1. tarife obračuna kao kupca [kW]	0.2455	0.2414	0.2380	0.2241 kW
Maksimalna radna snaga 2. tarife obračuna kao kupca [kW]	0.2895	0.2999	0.2947	0.2698 kW
Ukupna potrošena snaga [kWh]	06689.779	06804.778	06925.900	06942.443 kWh
Ukupna proizvedena snaga [kWh]	00000.524	00000.524	00000.524	00000.524 kWh
Ukupna prividna energija [kVAh]	06891.384	07009.530	07133.903	07150.904 kVAh

U tablici 6.5 možemo vidjeti iznose ukupne radne energije proizvedene i potrošene po fazama.

**Tablica 6.5** Prikaz potrošnje i proizvodnje ukupne radne energije po fazama

	Faza L1	Faza L2	Faza L3
Ukupna radna energija kao kupac	02280.949 kWh	02371.069 kWh	02290.425 kWh
Ukupna radna energija kao proizvođač	00000.174 kWh	00000.174 kWh	00000.174 kWh

Prema slici 6.10 i tablici 6.6 možemo zaključiti da tvrtka Dilj d. o. o. posjeduje uređaje za kompenzaciju jalove energije. Napon prethodi struji za kut od 12°. Dilj d. o. o. koristi veliki broj motora za proizvodnju crijepa koji su induktivni potrošači stoga je potrebna kompenzacija jalove energije. Dilj za kompenzaciju rabi kondenzatorske baterije.



Slika 6.10 Dijagram struja i napona pojedinih faza

Tablica 6.6 Prikaz iznosa napona, struje i kutova

NAPONI		STRUJE		KUTOVI	
U1	60,28 V	I1	1,03 A	I1-U1	12°
U2	60,44 V	I2	1,06 A	I2-U1	130°
U3	60,34 V	I3	1,04 A	I3-U1	251°
Umax	60,44 V	Imax	1,06 A	U2-U1	120°
				U3-U1	240°

Frekvencija iznosi 49,99 Hz.



## 7. ZAKLJUČAK

Napredna elektroenergetska mreža je mreža budućnosti. Nudi brojne mogućnosti za razliku od tradicionalne mreže, s velikim brojem senzora poboljšava se efikasnost i brzina otklanjanja kvarova. Dvosmjerna komunikacija između potrošača i mreže omogućuje korisnicima da smanje potrošnju novca bez da narušavaju svoju komfornost. Infrastruktura naprednih mreža omogućuje plasiranje električne energije sa više lokacija i s time se smanjuje broj prekida napajanja i poboljšava se kvaliteta mreže.

Napredne elektroenergetske mreže smanjuju emisiju štetnih stakleničkih plinova i smanjuju potražnju za električnom energijom. Smanjuje se izgradnja plinskih elektrana i elektrana na ugljen i okreće se prema čistijim obnovljivim izvorima energije.

Pametna brojila najvažnija su komponenta naprednih mreža. Omogućuju dvosmjernu komunikaciju između potrošača i distributera električne energije. Pametna brojila nude pravovremene podatke o potrošnji i proizvodnji električne energije. Potiče korisnike na razumniju potrošnju električne energije i pruža im alate koji omogućuju puno veću kontrolu nad potrošnjom. Omogućuju potrošačima da odlučuju kada i koliko će električne energije potrošiti. Daljinsko upravljanje pametnim brojlama omogućuje bolju kontrolu nad distribucijskim sustavom i olakšava proces očitavanja brojila bez odlaska na lokaciju brojila. Implementacija pametnih brojila mora se suočiti sa problemima komunikacijskih tehnologija.

Nakon razmatranja brojnih prednosti pametnog brojila i njihovog utjecaja na distribucijsku mrežu možemo zaključiti da su pametna brojila najvažnija komponenta napredne mreže. Svojim značajkama nude brojne mogućnosti korisnicima i distributerima električne energije. Mjerenjem podataka koje sam proveo na dvije lokacije možemo potvrditi koliko su pametna brojila superiornija nad tradicionalnim brojlama.

## 8. LITERATURA

- [1] Shema elektroenergetskog sustava Hrvatske URL: <https://www.hops.hr/shema-ees-a> 4.9.2019.
- [2] Hrvatski prijenosni sustav URL: <https://www.hops.hr/hrvatski-prijenosni-sustav> 4.9.2019.
- [3] A.B.M Shawkat Ali, *Smart grids - Opportunities, developments and trends 2013*.
- [4] Rocco Papa, Romano Fistola, *Smart energy in the smart city – Urban planning for sustainable future 2016*.
- [5] European Technology & Innovation Platforms URL: <https://www.etip-snet.eu/> 21.2.2019.
- [6] Smart Grids European Technology Platform URL: [https://www.earpa.eu/earpa/39/etp\\_smartgrids.html](https://www.earpa.eu/earpa/39/etp_smartgrids.html) 21.2.2019.
- [7] Razlike između tradicionalne i napredne mreže, engl. *difference between traditional power grid and smart grid* URL: <http://electricalacademia.com/electric-power/difference-traditional-power-grid-smart-grid/> 27.6.2019.
- [8] Fady Y. Melhem. *Optimization methods and energy management in "smart grids". Electric power. Université Bourgogne Franche-Comté, 2018*.
- [9] Uprava za informiranje o energiji, engl. *Energy Information Administration* URL: <https://www.eia.gov> 21.2.2019.
- [10] Distribuirano upravljanje tokovima snaga, eng. *distributed power control*, URL: <https://arpa.e.energy.gov/?q=slick-sheet-project/distributed-power-flow-control> 21.2.2019.
- [11] Ivan Novosel, Dubravko Žigman, *Smart grids – napredne elektroenergetske mreže, 2016*.
- [12] Murat Ahat, Soufian Ben Amor, Marc Bui, Alain Bui, Guillaume Guérard, Coralie Petermann, *Smart Grid and Optimization, 2013*.
- [13] Korisničke upute Landisgyr pametnog brojila URL: <https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2019/05/D000043592-dotMAP120-User-Manual-en.pdf> 28.6.2019.
- [14] Brošura Landis+gyr E650 pametnog brojila URL: <https://www.landisgyr.eu/webfoo/wp-content/uploads/2012/09/E650-Brochure.pdf> 28.6.2019.
- [15] Niskonaponski strujni transformatori URL: <http://www.elektrosklop.hr/niskonaponski-strujni-transformatori/> 27.6.2019.

- [16] Članak o kogeneracijskom postrojenju Enna d.o.o. URL: <https://novac.jutarnji.hr/makro-mikro/vukovarsko-kogeneracijsko-postrojenje-enna-grupe-bit-ce-dovrseno-do-kraja-listopada/7742895/> 28.6.2019.
- [17] Tvrtka Dilj d.o.o. URL: <https://znakovi.hgk.hr/tvrtka/dilj-d-o-o/> 28.6.2019.
- [18] Nexe crijep URL: <https://nexe-crijep.hr/> 28.6.2019.
- [19] Dilj d.o.o. detaljno URL: <https://www.fininfo.hr/Poduzece/Pregled/dilj/Detaljno/53302> 28.6.2019.

## **SAŽETAK**

Cilj ovog završnog rada je objasniti ulogu pametnih brojila u naprednim elektroenergetskim mrežama i objasniti prednosti pametnog brojila nad tradicionalnim brojilom. Prikazati koje mogućnosti nudi pametno brojilo i na koji način funkcionira.

U završnom radu sam objasnio važnost razvoja elektroenergetske mreže, istražio načelo rada i mogućnosti pametnog brojila.

Cilj mi je bio dočarati kako bi trebala izgledati elektroenergetska mreža u budućnosti, ukazati na mane tradicionalne mreže i potaknuti svijest o zaštiti okoliša. Također i istražiti i dokazati važnost pametnog brojila u mreži budućnosti – naprednoj mreži.

**KLJUČNE RIJEČI:** Napredna mreža, tradicionalna mreža, utjecaj na okoliš, pametna brojila, SCADA sustav

## **ABSTRACT**

The aim of this final paper is to explain the role of smart meters in advanced power grids and to explain the benefits of a smart meter over the traditional meters. And to show what features a smart meter offers and how it works.

In the final paper I explained the importance of the development of the power grid, explored the principle of operation and the ability of a smart meter.

My aim was to show how the power grid would look like in the future, to point to the drawbacks of the traditional grid and to encourage environmental awareness. Also to explore and demonstrate the importance of smart meters in the future grid - the smart grid.

**KEY WORDS:** Smart grids, traditional grid, environmental impact, smart meters, SCADA system

## **ŽIVOTOPIS**

David Žgela rođen je 27. travnja 1994. godine u Vinkovcima te trenutno živi u Ivankovu. Pohađao je osnovnu školu “August Cesarec“ u Ivankovu te upisao gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima. Nakon završene srednje škole upisuje preddiplomski studij brodogradarstva na Pomorskom fakultetu u Splitu. Nakon završene prve godine preddiplomskog studija brodogradarstva, upisuje preddiplomski stručni studij elektroenergetike na Fakultetu elektrotehnike, računalstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Tijekom studija obavljao je stručnu praksu u HEP ODS d.o.o. ELEKTRA VINKOVCI.