Napredna mjerenja

Pilaš, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:330602

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni studij

NAPREDNA MJERENJA

Diplomski rad

Matej Pilaš

Osijek, 2017.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 22.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Matej Pilaš
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-835, 09.10.2014.
OIB studenta:	11647525508
Mentor:	Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva:	Matej Žnidarec
Naslov diplomskog rada:	Napredna mjerenja
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	Opisati razvoj električnih brojila kroz povijest, navesti glavne karakteristike pametnog brojila te principe računanja osnovnih električnih veličina. Napraviti pregled primjene pametnih brojila u državama EU i Hrvatskoj.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	22.09.2017.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK**

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 06.10.2017.

Ime i prezime studenta:	Matej Pilaš
Studij:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-835, 09.10.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	1

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Napredna mjerenja**

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

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 6
2. UVOD U PAMETNE MREŽE I MJERENJE 7
2.1. Pametna mreža 8
2.2. Pametno mjerenje 13
2.3. Ušteda energije pomoću pametnih brojila 16
2.4. Upravljanje potrošnjom korisnika 17
2.5. Smanjenje emisije CO_2 19
3. RAZVOJ BROJILA ZA MJERENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE 20
3.1. Elektromehaničko električno brojilo 21
3.1.1. Nedostatci elektromehaničkog električnog brojila 23
3.2. Brojila za jalovu energiju 24
3.3. Elektronička mjerna brojila 25
4. PAMETNO BROJILO 26
4.1. Sučelja pametnog brojila 27
4.1.1. Napajanje 29
4.1.2. Mjerni elementi 29
4.1.3. Mikrokontroler 33
4.1.4. Komunikacijsko sučelje 34
4.1.5. Real time clock (RTC) 34
5. RAČUNANJE OSNOVNIH ELEKTRIČNIH VELIČINA UNUTAR PAMETNOG BROJILA 35
5.1. Računanje efektivnih vrijednosti 35
5.2. Računanje aktivne snage 37
5.3. Računanje jalove snage 38
5.4. Računanje prividne snage 39
6. PRIMJENE PAMETNOG BROJILA 40

6.1. Distribuirana proizvodnja 40
6.2. Kontrola napona u pametnim mrežama 41
6.3. Upravljanje opterećenjem 42
6.4. Nadzor frekvencije pomoću upravljanja opterećenjem 44
6.5. Poboljšavanje performansi HVAC sustava 45
6.6. Projekti upravljanja opterećenjem u svijetu 45
6.7. Optimalno upravljanje energijom 46
7. PRIMJENA PAMETNIH BROJILA U PRAKSI 47
7.1. Projekti pametnog mjerenja u Europi 47
7.1.1. Italija 48
7.1.2. Švedska 49
7.2. Projekti pametnog mjerenja u Hrvatskoj 49
7.2.1. Pilot projekt Križ 51
8. ZAKLJUČAK 53
9. LITERATURA 55
SAŽETAK 56
ABSTRACT 56
ŽIVOTOPIS 57

1. UVOD

U suvremenom svijetu gdje tehnologija brzo napreduje, a potrošnja i zahtjevi za energijom nikad nisu bili veći potrebno je pronaći nove načine proizvodnje i upravljanjem energije. Klasični izvori energije su ograničeni i u budućnosti može doći do nestanka istih. Za veću implementaciju obnovljivih izvora potrebne su značajne promjene u procesu stvaranja i potrošnje energije. To se prvenstveno odnosi na činjenicu da se proizvodnja energije ne mora odvijati u centraliziranim postrojenjima, već da je mogu proizvoditi i kućanstva za svoje potrebe ili za prodaju energije u mrežu. Napretkom tehnologije, mjernih uređaja i komunikacijskih kanala postavljeni su temelji za bolji način kontrole potrošnje i upravljanja energijom. Time su osigurana značajna poboljšanja u odnosnu na prethodni sustav mjerenja energije. Ostvarena je dvosmjerna komunikacija između proizvođača i potrošača, mogućnosti više tarifnih modela, zaštita od krađe, prikaz svih mjerenih podataka u realnom vremenu, a sve u svrhu transparentnog trgovanja električnom energijom.

U ovom diplomskom radu bit će opisana uloga i funkcija pametnog brojila u sustavu pametnih mreža. Biti će obrađene prednosti pametnih brojila u odnosu na prethodne načine mjerenja, te detaljno objašnjeni elementi, operacije i primjene pametnog brojila. Također spomenuta je i trenutna situacija ugradnje pametnih brojila na razini Europske Unije, ali i same Hrvatske.

2. UVOD U PAMETNE MREŽE I MJERENJE

Električna energija je postala dominantna varijabla bilo kojeg ekonomskog sustava i koristi za napajanje kućanstava, komercijalnih i industrijskih potrošača te je glavni izvor energije u današnjem svijetu. Mrežni sistem koji je razvijen zadnjih 70. godina održava se na tri temeljna načela: proizvodnja, prijenos i distribucija. Velike elektrane se koriste za proizvodnju električne energije iz nekog izvora kao što su termalna energija, hidroenergija, energija dobivena iz ugljena. Proizvedena električna energija se prenosi visoko-naponskim dalekovodima na velike udaljenosti te se dovodi u transformatorske stanice gdje se transformira u nisko-naponsku mrežu koja napaja krajnjeg potrošača. Za komunikaciju koristi se metoda između generatora i prijenosne mreže, iako ima ograničenu funkcionalnost. Štoviše distribucijske mreže također imaju ograničenu mogućnost upravljanja s obzirom da nema dovoljno komunikacijskih infrastruktura.

Potrošači zahtijevaju bolju korisničku podršku, bolju točnost pri mjerenju energije i konstantnu opskrbljenost energijom uz pravovremenu dostavu podataka. Ograničene informacije o korištenju električne energije ne daju krajnjem korisniku dovoljno informacija kako može uštedjeti pri potrošnji energije. S druge strane elektromehanička brojila nisu sposobna prikazati potrošnju energije u stvarnom vremenu i promjenu tarifnog modela.

Sve veća potražnja za električnom energijom predstavlja problem za elektroprivrede i vlade u mnogim zemljama. Energetski sustav se ubrzano širi od 1950-tih, većinom u SAD-u i nekim Europskim državama, a uočen je ubrzani porast distribuirane proizvodnje. Svakoga dana na mrežu se spajanju novi obnovljivi izvori energije, a kako su energija vjetra i sunca nepredvidive, potrebne su napredne metode upravljanja energetskim sustavom.

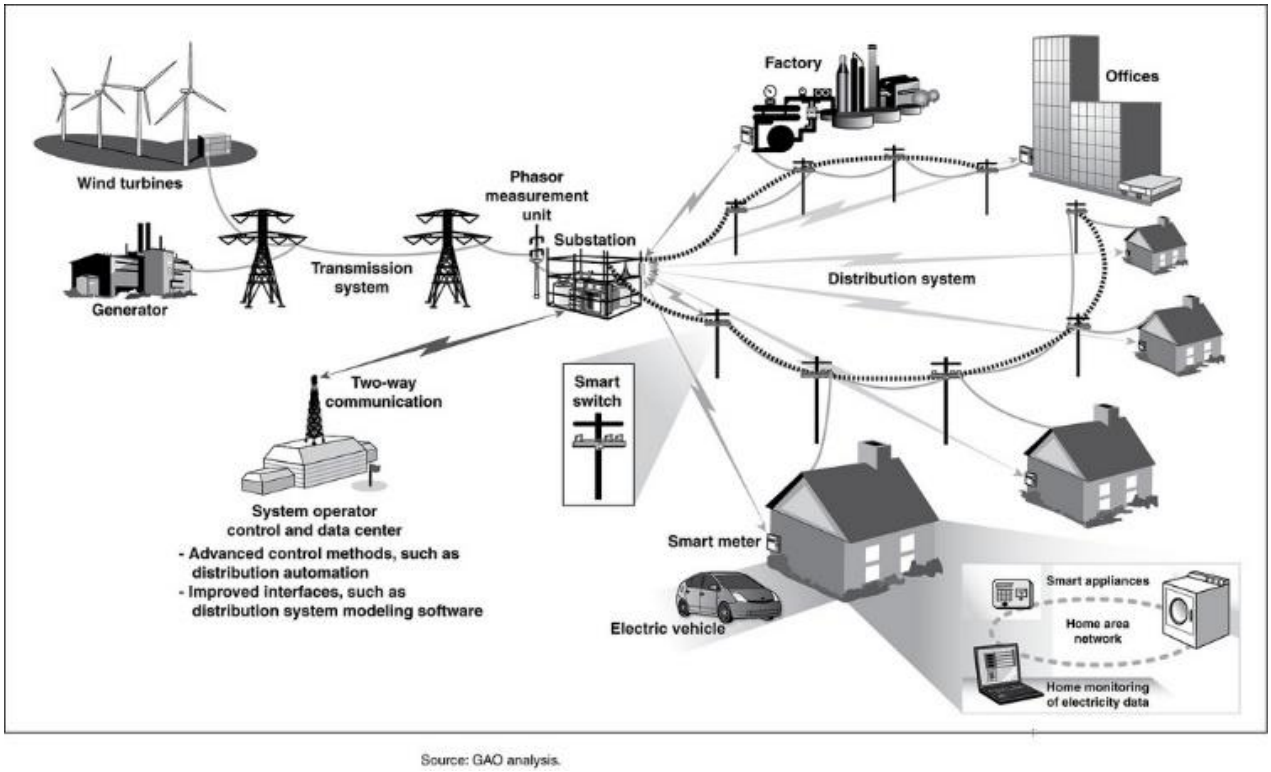
Stari energetski sustav nije spreman za brze promjene u potražnji i pati od brojnih nedostataka kao što je mala učinkovitost, nedostatak pouzdanosti, nedostatak zaliha energije, velikih troškova prijenosa energije, male brzine detekcije kvara, zagađivanja putem emisija CO_2 i nedovoljne interakcije između potrošača i dobavljača energije. Prijenosna i distribuirana oprema je zastarjela i trebala bi biti zamijenjena. U međuvremenu politika prisiljava dobavljače na više konkurentnosti, učinkovitosti, niže cijene energije i proizvodnji energije iz obnovljivih izvora. Zbog svih navedenih činjenica potrebno je uvesti napredniju energetsku mrežu.

Istraživanja na polju elektroenergetskih sustava pridonijela su razvoju pouzdanog i učinkovitog sustava koji podržava distribuiranu proizvodnju, sigurnost, učinkovitost i dvosmjernu komunikaciju. Dostignuća u komunikacijskim tehnologijama su iskorištena za poboljšanje zastarjelog energetskog sustava. Uključivanje modernih telekomunikacijskih tehnologija dovelo

je do uspostavljanja pouzdane komunikacije u cijelom energetskom sustavom što ga čini lakim za praćenje i kontrolu. Ova komunikacijska infrastruktura se koristi za praćenje i kontrolu potrošnje energije na različitim mjestima u mrežnom sustavu. Potrebna je i napredna mjerna infrastruktura za pregled i analizu uzoraka potražnje korisnika. Zamjena elektromehaničkih brojila s pametnim brojilima zajedno s kontrolerima opterećenja je način kako poboljšati uštedu energije s potrošačke strane. U konačnici koncept pametne mreže je nastao na nedostatcima starog energetskog sustava i potrebi za novim inteligentnim mrežnim sustavom koji ima poboljšanu pouzdanost, sigurnost i učinkovitost.

2.1. Pametna mreža

Iako ne postoji točna definicija „pametne mreže“, možemo jednostavno reći da je pametna mreža inteligentni elektroenergetski sustav kombiniran s modernim digitalnim i informacijskim tehnologijama koji osigurava učinkovit, siguran i pouzdan način prijenosa za proizvođača i potrošača električne energije.



Slika 2.1. Pametna mreža

Postoji još nekoliko definicija o pametnoj mreži:

Prema SMART-MED-PARKS:

Koncept Pametnih Mreža razvijen je 2006. godine od Europske tehnološke platforme za Pametne Mreže, a odnosi se na električnu mrežu koja može inteligentno integrirati aktivnosti svih korisnika koji su na nju spojeni – proizvođače, potrošače i one koji su i jedno i drugo – kako bi se učinkovito isporučilo obnovljivu, isplativu i sigurnu električnu energiju. [1]

Prema „Smart Grid Communications Task Force“

Pametna mreža je termin korišten za naprednu električnu mrežu koja je integrirana s modernim digitalnim i informacijskim tehnologijama da osigura učinkovit, sigurnost, pouzdanost i u konačnici manje troškove održavanja za korisnika. [2]

Prema „US Department of Energy“:

Pametna mreža koristi digitalne tehnologije da poboljša stabilnost, sigurnost i učinkovitost (energetsku i ekonomsku) energetskog sustava za buduće generacije, kroz sustav dostave potrošačima i povećanje distribuirane proizvodnje te skladištenje energije. [3]

Vizija pametne mreže je modernizirati postojeći sustav zbog bolje učinkovitosti, pouzdanosti i sigurnosti. Biti će potrebna značajna financijska sredstva za razvoj i realizaciju sustava pametne mreže, ali gledano dugoročno, pametna mreža će biti dobar način samoodrživosti.

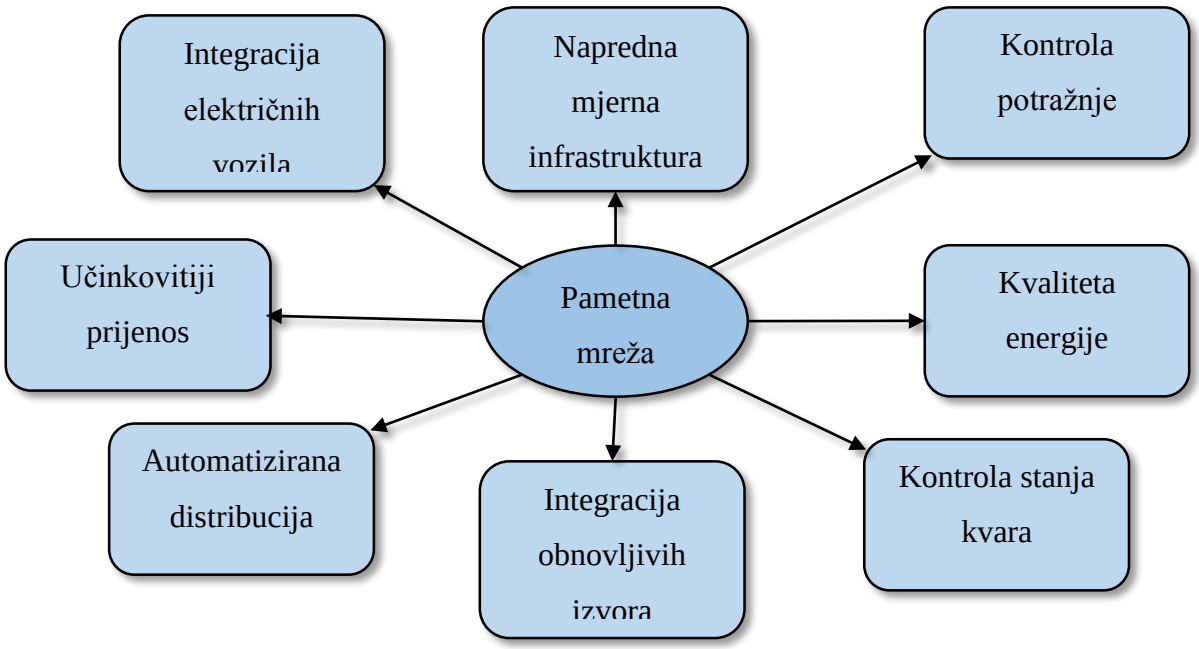
Prednosti pri korištenju pametne mreže: [4]

- Učinkovitiji prijenos električne energije
- Brže stabiliziranje sustava nakon poremećaja u mreži
- Manji troškovi upravljanja i održavanja
- Manja cijena električne energije za potrošače
- Povećana integracija velikih sustava obnovljivih izvora energije
- Poboljšana sigurnost

Mnoge tehnologije iz pametnih mreža su prilagođene za korištenje u upravljanju mrežnih operacija. U globalu, tehnologije pametnih mreža se mogu grupirati u pet kategorija:

1. Integrirane komunikacije
2. Senzori i mjerenja
3. Pametno mjerenje
4. Fazorske mjerne jedinice
5. Napredne komponente

Ove tehnologije će se kombinirati s električnom mrežom kako bi digitalnim putem brzo odgovorili na promjenjivu potražnju za električnom energijom.



Slika 2.2. Servisi integrirani u pametnoj mreži

Senzorski i mjerni sistemi mogu se podijeliti u tri skupine: AMI, fazorsko mjerenje i praćenje vremenskih prilika.

AMI (eng. Advanced Metering Infrastructure) osigurava dvosmjernu komunikaciju između potrošača i proizvođača. Omogućuje prikaz cijene električne energije, potrošnje, strujnu detekciju i karakter opterećenja, sve u realnom vremenu. AMI je integriran sa pametnim brojilima, kućnim monitorima i kotrolerima opterećenja.

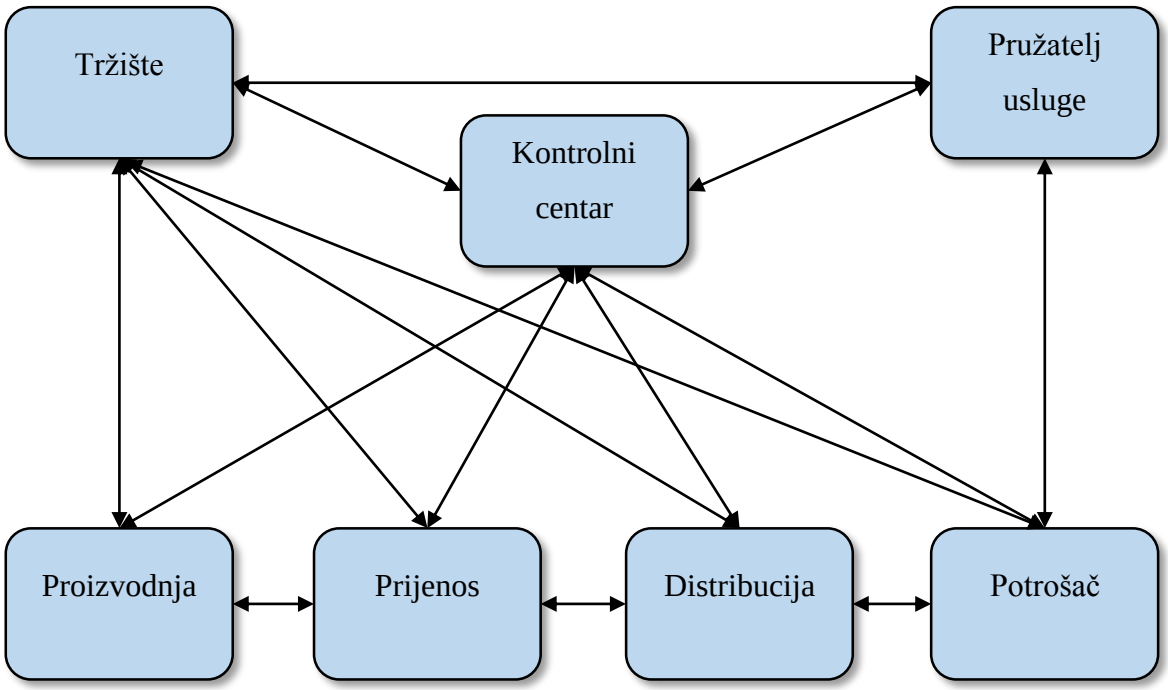
Fazorske mjerne jedinice se koriste za mjerenje valnih oblika sustava, za mjerenje zdravlja sustava, za povećanje pouzdanosti i da spriječe ispadanje iz sustava.

Praćenje vremenskih prilika pruža informacije o sunčevom zračenju, brzini vjetra i temperaturi kako bi se uspješno prognoziralo vođenje izvora obnovljive energije.

Integrirani komunikacijski i sigurnosni sustavi omogućuju korisniku i proizvođaču da kontroliraju različite pametne električne uređaje kao što su kontroleri opterećenja, pametna brojila i senzori na siguran i pouzdan način. Sistem je sposoban nositi se sa informacijama u realnom vremenu kako bi poboljšao pouzdanost, sigurnost i učinkovitost dostave i korištenja energije. Za komunikaciju često se koriste komunikacija putem prijenosne mreže, široko pojasni internet, Wi-Fi, GPRS, 3G i radio frekvencije.

Integracijom pametnih mreža omogućuje se bolja potražnja. Potrošač može podesiti svoju potrošnju prema tarifnim modelima koji se prikazuju na pametnom brojilu. Također može podesiti druge pametne uređaje da reagiraju na tarifne modele kako bi smanjio troškove potrošnje energije. Ovakav način potražnje može pomoći smanjenju cijene električne energije u globalu. Osim toga, smanjit će faktor opterećenja sustava. Pametna mreža promiče lokalne proizvođače energije zbog svoje sposobnosti za mjerenje energije u oba smjera. Ovo omogućava malim lokalnim proizvođačima da guraju svoju neiskorištenu energiju u mrežu za što bi bili točno plaćeni. Štoviše potrošači koji posjeduju električna vozila mogu ih puniti u satima nižeg opterećenja prema unaprijed izračunatim tarifnim modelima. Ne samo da mogu puniti svoja vozila, već mogu prodavati natrag tu energiju za vrijeme velikog opterećenja mreže.

Slika 2.3. prikazuje konceptualni model pametne mreže koji ima sedam glavnih funkcijskih područja.



Slika 2.3. Konceptualni model pametne mreže

Potrošači mogu biti kućanstva, komercijalni ili industrijski potrošači. Oni imaju mogućnost proizvoditi, pohranjivati i upravljati s električnom energijom. Potrošači su informirani o stanju na tržištu, operatoru i davatelju usluga. Pametna brojila, upravljači kontroleri, HVAC (eng. Heating, Ventilation, and Air-Conditioning), kućni monitori, distribuirani izvori energije, procesi proizvodnje i električna vozila su glavne fizičke komponente koje se koriste na potrošačkoj strani.

Tržište su operatori i sudionici na tržištu električnom energijom i oni se sastoje od osiguravatelja mjerne opreme, softvera, telekomunikacijskih kompanija i mrežnih kompanija. Pružatelji usluga su organizacije koje rješavaju sve ostale operacije u domeni. Glavne usluge su naplata, upravljanje korisnicima, instalacije i održavanje, upravljanje kućanstvima i sigurnosne usluge.

Kontrolni centar izvršava upravljanje i kontrolu kretanja električne energije kroz pametnu mrežu. Osnovne funkcije upravljanja uključuju nadzor, kontrolu i izvještavanje. Ovdje su povezane sve trafostanice, korisnička mreža i inteligentni uređaji preko dvosmjerne komunikacijske mreže. Glavna fizička oprema povezana s operacijama su ISO/RTO SCADA (eng. independent system operator/regional transmission organization), distribucijski SCADA (eng. supervisory control and data acquisition) sustav, prijenosni SCADA sustav.

Glavnina generiranja uključuje proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i neobnovljivih izvora energije. Također se može pohraniti energija za naknadnu distribuciju.

Uloga prijenosa električne energije je da prenosi električnu energiju na veće udaljenosti. Sustavi generiranja i prijenosa su opremljeni s upravljačkim postrojenjem, distribuiranim izvorima energije, prijenosom i kontrolama transformatorskih stanica.

Domena distribucije obavlja tri glavne zadaće koje su distribucija energije potrošačima, povezivanje pametnih brojila i inteligentnih sustava te upravljanje objektima za pohranu energije.

Informacije se razmjenjuju između ovih sedam područja, a električna energije protječe kroz prijenosnu i distribucijsku mrežu. Potrošači također mogu proizvoditi električnu energiju i višak energije prodati natrag u mrežu.

Komunikacijska infrastruktura je ključni element za izradu visoko efektivne pametne mreže. Svaka domena ima nekoliko komunikacijskih poveznica sa nekoliko drugih domena za razmjenu podataka. S druge strane, unutar svake domene postoji komunikacijska infrastruktura za potrebe domene.

U kućanstvima se koristi „kućna mreža“ (eng. Home Are Network-HAN), za komunikaciju s inteligentnim uređajima, pametnim brojilima, električnim vozilima i kućnom proizvodnjom električne energije.

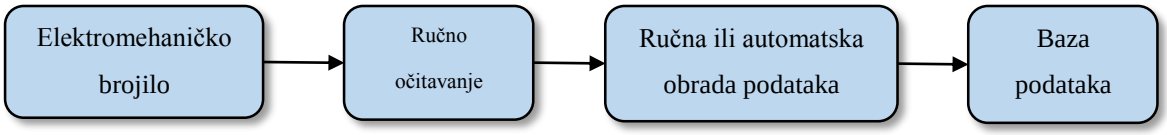
Pametna brojila su spojena na „mrežu u susjedstvu“ (eng. Neighborhood Area Network-NAN), koja je povezana sa „mrežom širokog područja“ (eng. Wide Area Network-WAN). Informacije prikupljene iz distribucije, prijenosa, proizvodnje energije su povezane sa WAN mrežom. Operatori koriste WAN za prikupljanje podataka. Tržišta, operatori i pružatelji usluga koriste se internetom za obradu podataka.

2.2. Pametno mjerenje

Pametno mjerenje je prepoznato kao glavni dio sustava pametnih mreža. Ova opcija će omogućiti smanjenje potrošnje električne energije i smanjenje troškova kod kućanstava, te smanjenju stakleničkih plinova. Sustav pametnog mjerenja se sastoji od pametnog brojila, upravljačkih uređaja i komunikacijske veze. Ključni element ovog sustava je pametno brojilo koje je zaduženo za sva energetska mjerenja u sustavu. Pametna brojila se bitno razlikuju od elektromehaničkih brojila koja danas koristimo i koja imaju mnogo mana. Neke od tih mana su loša preciznost, ne mogućnost podešavanja, pokretni dijelovi koji se s vremenom troše, daju podatke samo o potrošenoj energiji. Prikupljeni podatci su ograničeni, a troškovi održavanja i očitavanja su visoki zbog korištene radne snage. Uzimajući u obzir ove činjenice, uvođenjem pametnih brojila bi se smanjila energetska potrošnja, poboljšalo upravljanje potražnje i energetska

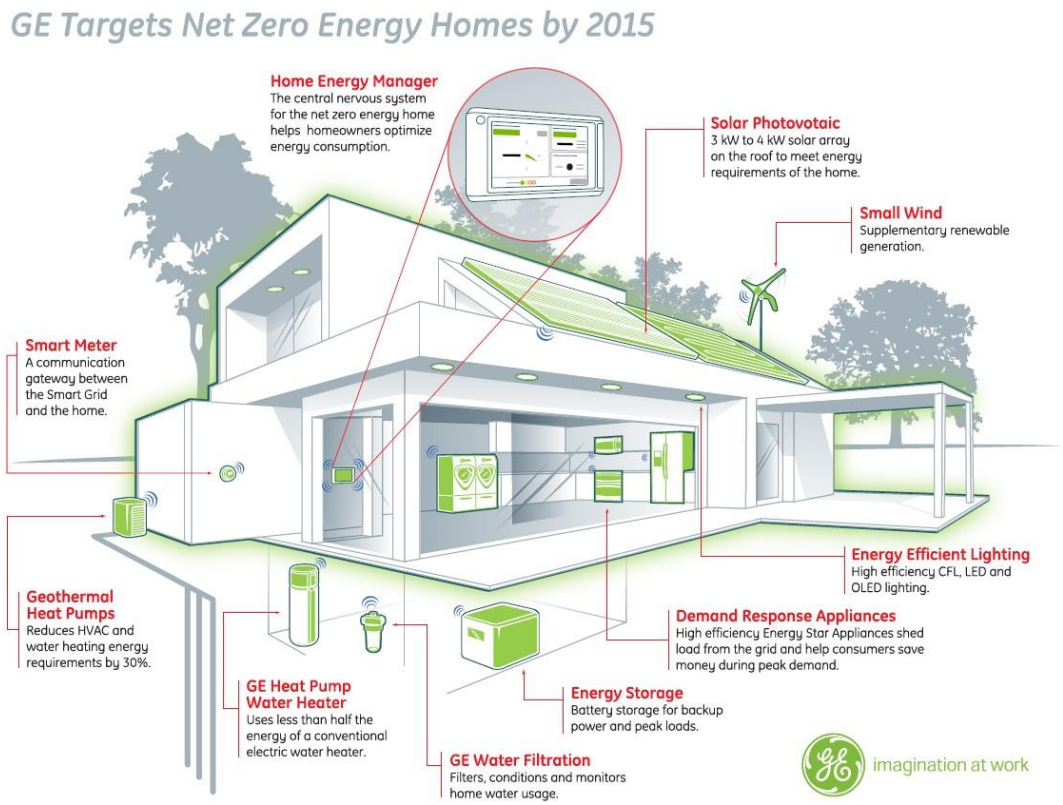
učinkovitosti. Pametna brojila mogu međusobno komunicirati i izvršiti zadane signale na daljinu i lokalno, te su bolje rješenje za probleme koji se pojavljuju u trenutnom mrežnom energetskom sistemu.

Slika 2.3. prikazuje standardni mrežni mjerni sustav koji ne podržava dvosmjernu komunikaciju između potrošača i proizvođača. Kako se mjerna brojila očitavaju dva puta godišnje, prikupljeni podatci su ograničeni i ne mogu se koristiti za prilagođavanje potrošnje. Podatci prikupljeni putem pametnih brojila su bitni za više subjekta, uključujući potrošače, proizvođače i trgovce. Potrošač može iskoristiti podatke kako bi smanjio potrošnju električne energije i smanjio račun za električnu energiju. Proizvođači mogu iskoristiti podatke za bolji pregled potrošnje svakog potrošača, analizirati potražnju i utvrditi realan račun za struju.



Slika 2.3. Standardni mrežni mjerni sustav

Puno je prednosti korištenja pametnog sustava, uključujući manje troškove mjerenja, ušteda energije za male potrošače, veća pouzdanost i različiti cjenovni planovi koji mogu privući nove korisnike. Pametna brojila se mogu koristiti na korisničkoj strani kako bi nadzirali i kontrolirali kućne aparate i uređaje te su sposobni prikupljati dijagnostičke informacije o distribucijskoj mreži. Sustav pametne mreže je podržan pametnim mjerenjem potrošnje električne energije, podržava decentraliziranu proizvodnju električne energije i daljinsku naplatu potrošačima.



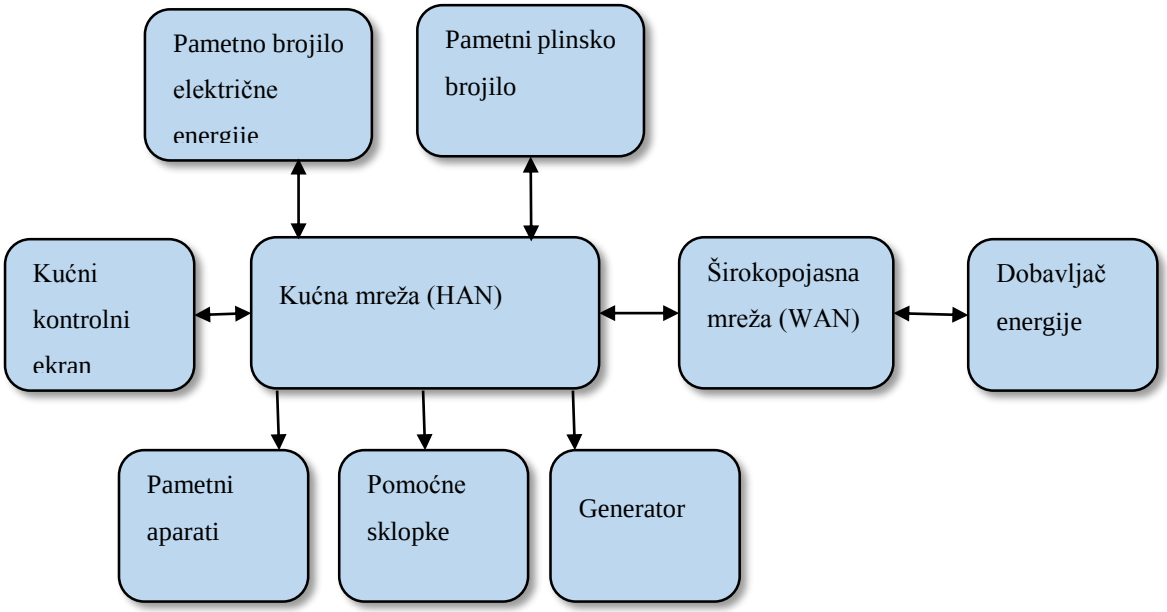
Slika 2.5. Prikaz pametnog mjerenja u sustavu samoodržive kuće

U pametna brojila su ugrađene različite tehnologije i usluge. Tako se primjena pametnih brojila obavlja na više razina i postojeća mreža nije pogodna za njihovo ugrađivanje. Pametna brojila se još uvijek razvijaju, a mnoge vlade, organizacije i tvrtke nastoje uspostaviti različite standarde i uvjete.

Bez obzira na standarde i uvjete, proizvođači brojila moraju uzeti u obzir osnovne mogućnosti kao što su:

1. Daljinska opskrba korisnika mjerenim podatcima i povezanim informacijama korisniku
2. Dvosmjerna komunikacija između brojila i pružatelja usluge
3. Daljinsko upravljanje za onemogućavanje i omogućivanje opskrbe
4. Pružanje informacija kućanstvima i mreži
5. Upravljanje potražnjom na korisničkoj strani
6. Dobiveni podatci koji će podržavati distribuiranu proizvodnju kao što su fotonaponski sustavi i energija vjetra
7. Sigurnosni detektori i daljinska konfiguracija

Slika 2.6. prikazuje tipični sustav pametnog mjerenja koji uključuje pametne aparate, pomoćne sklopke i proizvodnju električne energije. Kućna mreža (HAN) omogućuje komunikaciju između brojila, komunikacijskih čvorišta, kućnog ekrana i uređaja za kontrolu opterećenja. Mreža širokog pojasa (WAN) se koristi za komunikaciju između kućanstva i kontrolnog centra.



Slika 2.6. Tipični sustav pametnog mjerenja

2.3. Ušteda energije pomoću pametnih brojila

Pametna brojila podržavaju veliki broj vremenskih tarifa koje se mogu postaviti u različito doba dana. Tako pružatelji usluge mogu prilagoditi cijenu električne energije za određenu tarifu kako bi najbolje odgovarala proizvodnoj cijeni električne energije i ponuditi posebne tarife za vrijeme vrhunaca opterećenja. Ove metode su jako efektivne za poboljšanje uzorka potrošnje električne energije pomoću pametnih brojila. Uz opcije različitih tarifa potrošači mogu biti obaviješteni putem zvučnog signala prije promjene tarife kako bi prilagodili svoju potrošnju, npr. korisnik može izbjeći korištenje velikih potrošača (perilice rublja, vodne pumpe) za vrijeme tarife velikog opterećenja. Kada su pametna brojila spojena s kućanskim aparatima, kao što su hladnjaci i klima uređaji, može se postaviti željena vrijednost temperature u odnosnu na određenu tarifu električne energije. Tako prilikom tarife s velikim opterećenjem se može smanjiti korištenje uređaja kako bi se smanjio račun za energiju zadržavajući željenu temperaturu. U slučaju da korisnik posjeduje električno vozilo, korisnik može podesiti da se vozilo puni prilikom tarife niskog opterećenja i prodavati energiju nazad u mrežu prilikom tarife visokog opterećenja. [5]

Sustav upravljanja energijom je drugi sustav koji promiče uštedu energije. Ovaj sustav ne zahtjeva promjenu tarifa, ali potiče uštedu pružajući detalje informacije o potrošnji energije kroz vrijeme. Sustav je opremljen s pametnim brojilom, kućnim ekranom i komunikacijskim sustavom. Potrošaču su ponuđene različite informacije o potrošnji energije koje su prikazane na kućnom ekranu. Ove informacije će pomoći za analiziranje uzorak potrošnje energije i u konačnici smanjiti potrošnju. [6]

Međutim takva ušteda energije se može postići isključivo ispravnim korištenjem upravljanja s potrošačke strane. U suprotnom se ništa neće promijeniti zamjenom starih brojila s pametnim brojilima, oni su samo digitalna brojila koja bi slali i primali podatke.

2.4. Upravljanje potrošnjom korisnika

a) Informiranje potrošača

Pružatelji usluga koji prodaju električnu energiju trebaju pružiti više informacija o potrošnji energije svojih korisnika kako bi podigli svijest o prirodi njihovih obrazaca potrošnje i posljedicama. Upravljačka jedinica s ekranom koja može biti postavljena bilo gdje u kući u kombinaciji s pametnim brojilom bi bila idealna kombinacija.



Slika 2.7. Izgled kontrolne jedinice za pregled potrošnje

Mogu se razviti mobilne aplikacije za pregled i usporedbu potrošnje energije. Tako bi potrošači mogli biti obaviješteni u realnom vremenu putem SMS poruke ili e-maila o trenutnoj potrošnji,

cijeni, procjeni troškova za cijeli mjesec, zaradi dobivenoj za prodaju energije u mrežu i prijedlozima o određenim smanjenjima potrošnje.



Slika 2.8. Prikaz mobilne aplikacije za daljinski pregled potrošnje

Na ovaj način korisnici će lakše promijeniti svoje ponašanje kako bi smanjili potrošnju energije ili kako bi pomaknuli svoju potrošnju s tarife visokog opterećenja na tarifu niskog opterećenja. Smanjenje visokih opterećenja i korištenje energije iz obnovljivih izvora će dovesti do smanjenje cijene električne energije i do smanjenje proizvodnje stakleničkih plinova.

b) Poticanje potrošača

U ovom slučaju je potreban puno napredniji pristup nego dosadašnji dvotarifni sustav. Potrebno je uvesti tarife koje su prilagođene potrošnji za određeni dio dana, tarife koje su prilagođene potrošnji za određene dana u tjednu ili tarife koje su prilagođene ovisno o godišnjim dobima. Ovakav sustav tarifa potiče potrošače da smanje potrošnju za vrijeme visokog opterećenja energetskog sustava kako bi smanjili račun za struju.

Druga metoda je tarifa koja konfigurira cijenu energije u realnom vremenu gdje se uzima u obzir cijena proizvodnje električne energije u tom trenutku. U tom slučaju potrošačima bi se računala potrošnja po cijeni koje se mijenja u krakom vremenom razdoblju (obično svakih sat vremena). U usporedbi s drugim tarifnim modelima, računanje potrošnje u tarifi realnog vremena je više isplativo.

Ovakvi sustavi zahtijevaju promjene u mjernoj praksi i zahtijevaju tehnologije koje se koriste u mobilnoj komunikaciji te je potrebna kombinacija pametnih brojila i inteligentni sustav upravljanja mjernih podataka.

c) Upravljanje potrošnjom

Neki kupci imaju dogovor s dobavljačima električne energije prema kojima dobavljači mogu pristupiti i upravljati njihovom potrošnjom. U ovom slučaju bi kupac dozvolio dobavljaču da upravlja klima uređajem, hladnjakom ili grijalicom prostora kako bi se snizila potražnja u trenutcima visokog opterećenja. Moguća su velika smanjenja ukupne potrošnje u velikom gradu pravilnim upravljanjem klima uređaja u kućanstvima i poslovnim prostorima. Ovaj pristup je lako izvediv pomoću pametnog brojila i pametnog upravljača kućanskih aparata gdje upravljač aparata prati potrošnju, štiti opremu i automatski podešava rad uređaja po potrebi vlasnika. Neke države koriste ovaj način kako bi nadzirali i kontrolirali potrošnju na daljinu. Koristeći ovu tehnologiju, dobavljači električne energije mogu isključiti potrošača iz mreže na daljinu ukoliko potroši svoj unaprijed određeni kredit.

2.5. Smanjenje emisije CO_2

Pametna brojila poboljšavaju energetsku učinkovitost i samim time pridonose smanjenju stakleničkih plinova. Korisnici kroz sustav mogu biti obaviješteni o cijeni i vrsti goriva koje se koristi za proizvodnju električne energije kako bi smanjili svoju potrošnju u vremenima visokog opterećenja. To bi omogućilo skraćenje rada generatora koji za proizvodnju koriste goriva fosilnog podrijetla kako bi zadovoljili potrebe vršne potrošnje. Takvi generatori trebaju biti u stanju pripravnosti ako dođe do vršnog opterećenja koje također košta. U slučaju da se smanji vršno opterećenje korištenjem pametnih brojila nemamo potrebu koristiti generatore na fosilna goriva, što dovodi do niže cijene električne energije i smanjenje količine stakleničkih plinova.

Mnoge države potiču građane na korištenje obnovljivih izvora energije kako bi se smanjili staklenički plinovi. Uvođenjem pametnih brojila korisnici bi imali bolji uvid o vrsti energije koju troše te bi i sami mogli jednostavno proizvoditi električnu energiju iz energije sunca ili vjetra. Vlastitom proizvodnjom korisnici mogu koristiti energiju za vlastite potrebe, a višak prodavati u mrežu kako bi dodatno smanjili troškove za električnu energiju ili za profit.

3. RAZVOJ BROJILA ZA MJERENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

U zadnjih nekoliko godina, kućni i industrijski korisnici su zamijenili klasična brojila sa pametnim brojilima. Elektromehanička brojila su dominirala u mjerenju električne energije u periodu prije 1970. i mogli su mjeriti samo električnu energiju. Pojavila se potražnja za brojilima koji osim električne energije mogu mjeriti druge veličine te imaju omogućenu dvosmjernu komunikaciju. Tako su predstavljena brojila koja mogu mjeriti širi spektar električnih veličina.

Između 1970 i 2000, u sustav električnih brojila dodano je automatsko daljinsko očitavanje potrošnje u određenom vremenu. To je bio veliki napredak, međutim brojila su komunicirala samo u jednom smjeru. Ovaj problem je riješen predstavljanjem pametnih brojila koji omogućavaju dvosmjernu komunikaciju i koja mogu mjeriti više električnih parametara. Korisnici mogu dobiti informacije o potrošnji električne energije, cijeni električne energije, tarifi i druge informacije poslane od proizvođača. Pametna brojila imaju različite funkcije za optimalno upravljanje opterećenjem potrošača kako bi smanjili račun za električnu energiju i potrošnju električne energije.

Mnogi razvojni stručnjaci pokušavaju dodati nove mogućnosti u pametna brojila kako bi pronašli najbolji način energetske učinkovitosti, očuvanja i potražnje energije. Pametna brojila se još uvijek razvijaju i mnoge vlade i organizacije ih pokušavaju standardizirati.

3.1. Elektromehaničko električno brojilo

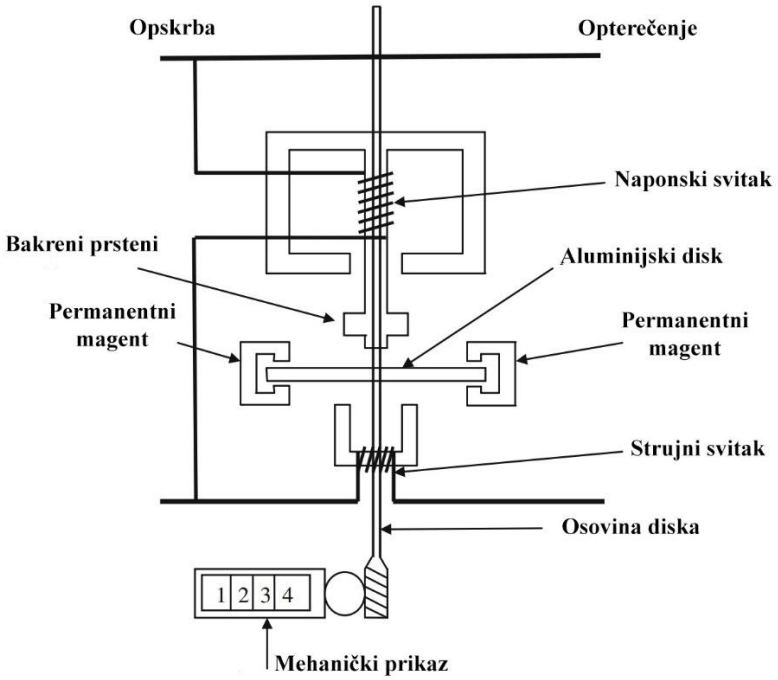
Elektromehaničko brojilo je najrasprostranjeniji i najčešće korišteni uređaj za mjerenje električne energije. Može mjeriti jedino potrošnju aktivne energije koja je prikazana na mehaničkom brojčaniku s prednje strane.



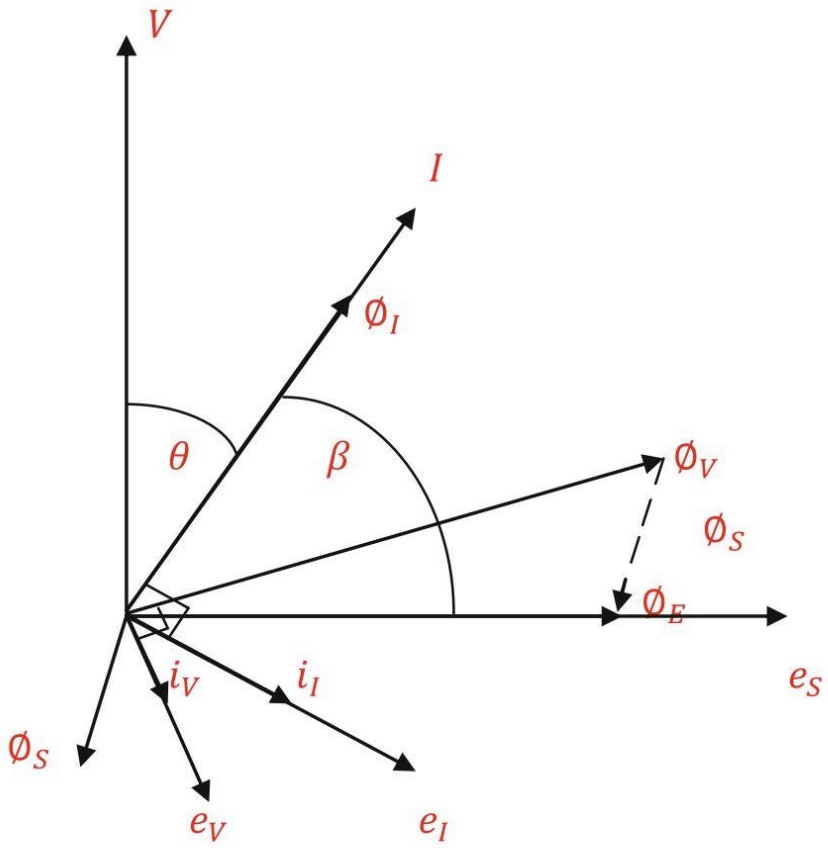
Slika 3.1. Jednofazno elektromehaničko brojilo

Brojilo je dizajnirano s četiri glavna sustava koji su: sustav pokretanja, sustav okretanja, kočioni sistem i sustav registracije. Sustav pokretanja se sastoji od dva elektromagneta, a sustav okretanja se sastoji od aluminijskog diska. Permanentni magnet ima ulogu kočionog sustava dok su zupčanici i brojčanik dio sustava za registraciju. Elektromagnetska sila nastaje pomoću naponskih i strujnih svitaka. Naponski svitak je spojen na ulazni napon, a strujni svitak je spojen u seriju s opterećenjem. Naponski svitak stvara magnetski tok proporcionalan naponu, a strujni svitak stvara magnetski tok proporcionalan struji. Aluminijski disk je postavljen na osovinu na koji utječe mehanička sila nastala vrtložnim strujama. Mehanizam registrira brzinu okretanja diska tijekom vremena računajući broj okretaja.

Strujni svitak proizvodi izmjenični strujni tok koje je proporcionalan i u fazi sa strujom opterećenja. Naponski svitak ili svitak šanta prenosi struju proporcionalnu ulaznom naponu. Električni tok koji je nastao u naponskom svitku nije u fazi s ulaznim naponom i zaostaje za 90 stupnjeva. To se postiže ispravnim podešavanjem bakrenih prstena u smjeru električnog toka.



Slika 3.2. Prikaz komponenti jednofaznog elektromehaničkog brojila



Slika 3.3. Fazorski dijagram jednofaznog elektromehaničkog brojila

Φ_I = električni tok strujnog svitka

Φ_S = električni tok nastao modulacijom amplitude

Φ_V = električni tok naponskog svitka

Φ_E = efektivni električni tok

e_S = inducirana elektromotorna sila zbog Φ_E

e_I = inducirana elektromotorna sila zbog Φ_I

i_v = struja u rotoru nastala zbog e_V

i_I = struja u rotoru nastala zbog e_I

I = struja koja teče kroz seriju svitaka

V = napon izvora

Φ = kutni pomak između struje i napona

3.1.1. Nedostatci elektromehaničkog električnog brojila

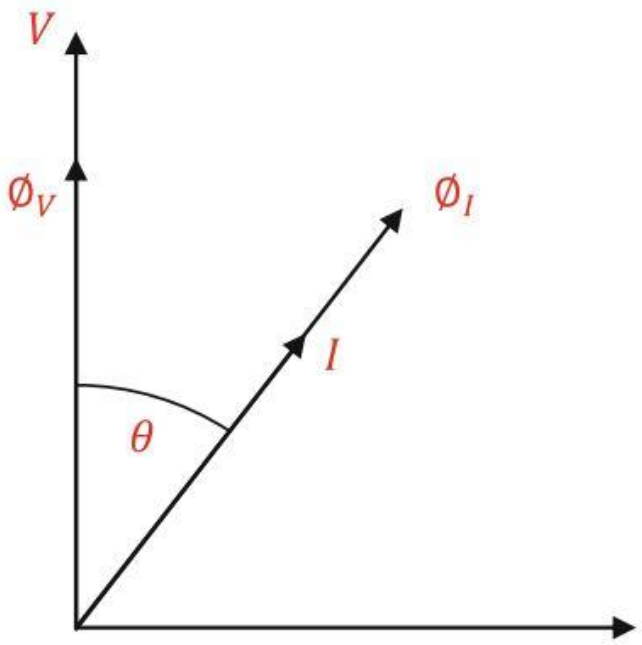
Elektromehanička brojila reagiraju puno sporije na promjene za razliku od digitalnih brojila i imaju mnogo grešaka zbog različitih varijacija u okolišu. Pokretni dijelovi unutar brojila imaju tendenciju trošenja s vremenom zbog različitih radnih temperatura i uvjeta. Mehanički zupčanici se također troše zbog nakupljene prljavštine, prašine i vlage, te im se mijenja omjer s vremenom zbog nedostatka maziva. Kako bi se održala optimalna preciznost potrebno je s vremenom kalibrirati i očistiti brojilo.

Osim mehaničkih nedostataka, nedostatak je i princip očitavanja brojila. Potrebno je ručno očitati brojilo što zahtjeva određenu radnu snagu. Angažiranje osobe za očitavanje brojila zahtjeva dodatne troškove koji se nadodaju na račun za struju. Osim toga pri očitavanju može doći do ljudske pogreške što dodatno smanjuje preciznost brojila.

Također jedan od velikih nedostataka mehaničkog brojila su mogućnosti krađe energije. Ilegalno spajanje na mrežu i izbjegavanje brojila se ne mogu otkriti izravno na brojilu.

3.2. Brojila za jalovu energiju

Djelatna snaga ne predstavlja ukupnu potrošenu energiju dostavljenu potrošaču stoga u obzir treba uzeti i potrošenu jalovu snagu. Prije postojanja digitalnih brojila, jalova energija se mjerila posebnim brojilima za jalovu energiju. Takva brojila poznata su još kao i sinusna brojila jer mjere reaktivnu komponentu struje koja zaostaje za 90 stupnjeva za naponom. Iako na prvi pogled ovaj princip mjerenja je isti kao kod elektromehaničkog brojila, konstrukcija sinusnog brojila je ipak malo drugačija. Naponski svitak se koristi za stvaranje naponskog toka koje je u fazi s naponom izvora. To se postiže dodavanjem visoko ne-induktivnog otpornika u seriju s naponskim svitkom. U međuvremenu, strujni svitak stvara tok koji je u fazi sa strujnim opterećenjem. Zakretni moment je proporcionalan umnošku napona, struje i kutnog pomaka između napona i struje. Ovakvo brojilo očitava energiju u kVAr/h, a koristi se brojčanikom za prikaz registrirane potrošnje. Struja zaostajanja uzrokuje pomicanje brojčanika unaprijed, a predhodeća struja uzrokuje pomicanje unazad. Preciznost mjerenja je manja nego kod elektromehaničkih brojila zbog nekih ograničenja u izvedbi.



Slika 3.4. Fazorski dijagram jednofaznog jalovog brojila

3.3. Elektronička mjerna brojila

Elektronička brojila imaju mogućnost mjerenja potrošnje električne energije digitalnom tehnologijom. U isto vrijeme mogu mjeriti više različitih električnih parametara kao što su fazni napon, faznu struju, frekvenciju, faktor snage, aktivnu snagu, jalovu snagu, providnu snagu i kvalitetu energije. Tako obavlja sve funkcije koje obavljaju druge vrste brojila te mogu slati mjerene podatke putem komunikacijske mreže.

Prosječno elektroničko brojilo se sastoji od izvora energije, mikrokontrolera, RLC-a (Real Time Clock), LCD ekrana i komunikacijskog sučelja. Ima naponske, strujne ulaze, te ulaz za referentni napon. Naponski i strujni signali se obrađuju kako bi se izmjerili i prikazali električni parametri.



Slika 3.5. Prikaz jednofaznog elektroničkog brojila

Elektronička brojila pružaju podatke svakodnevno sa visokom preciznošću mjerenja u širokom rasponu opterećenja s većom fleksibilnošću dizajna. Na preciznost mjerenja se ne može utjecati vanjskim magnetima, niti orijentacijom samog brojila. Zato su digitalna brojila puno pouzdanija i sigurnija od elektromehaničkih brojila.

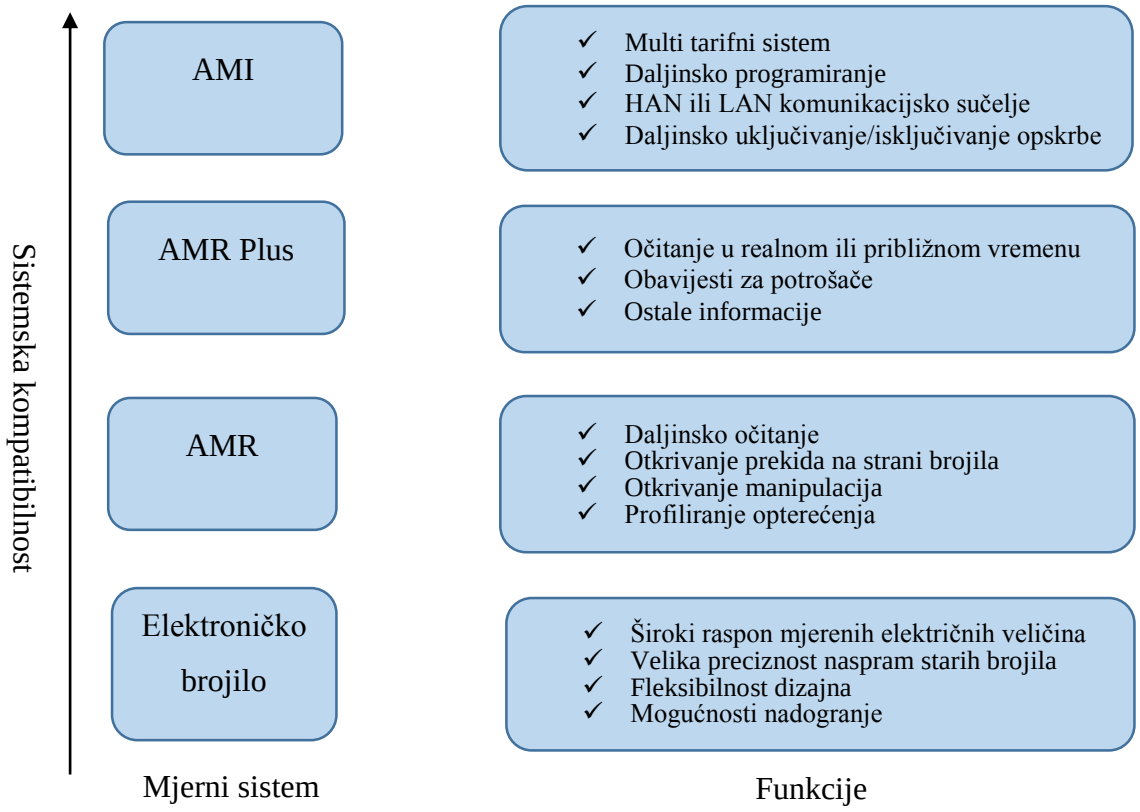
4. PAMETNO BROJILO

Pametna brojila se razlikuju od elektroničkih brojila zbog svojih dodatnih funkcija i mogućnosti. Osim elektroničkog mjerenja i automatskog očitavanja, posjeduju i dvosmjernu komunikaciju između brojila i bazne stanice. Pametnim brojilima moguće je daljinsko isključivanje i uključivanje, otkrivanje neovlaštenih radnji, profiliranje opterećenja, obavještavanje o prekidanju napajanja i mogućnost više tarifa.



Slika 4.1. Pametno brojilo ISKRA MT831

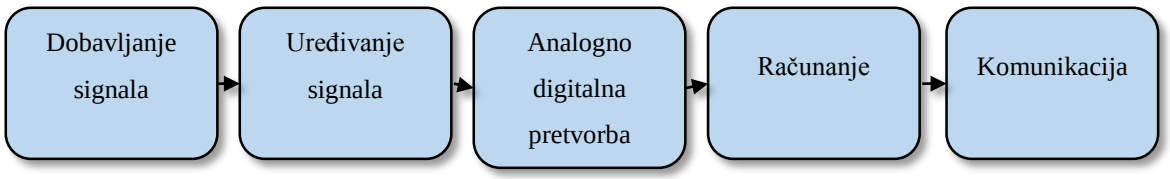
Elektronička brojila su omogućila preciznije naplaćivanje potrošene energije, međutim potrebno je više funkcija kao što su daljinsko očitanje, otkrivanje prekida, otkrivanje manipulacija, profiliranje opterećenja za bolju uslugu korisnicima i pouzdanu opskrbu. Zbog toga je predstavljen AMR (eng. Automatic Meter Reading) sustav koji spaja komunikacijsku infrastrukturu s elektroničkim brojilima. U međuvremenu su dodane dodatne opcije i mogućnosti te je nastala današnja tehnologija AMI (eng. Advanced Metering Infrastructure).



Slika 4.2. Prikaz tehnološkog razvoja pametnih brojila

4.1. Sučelja pametnog brojila

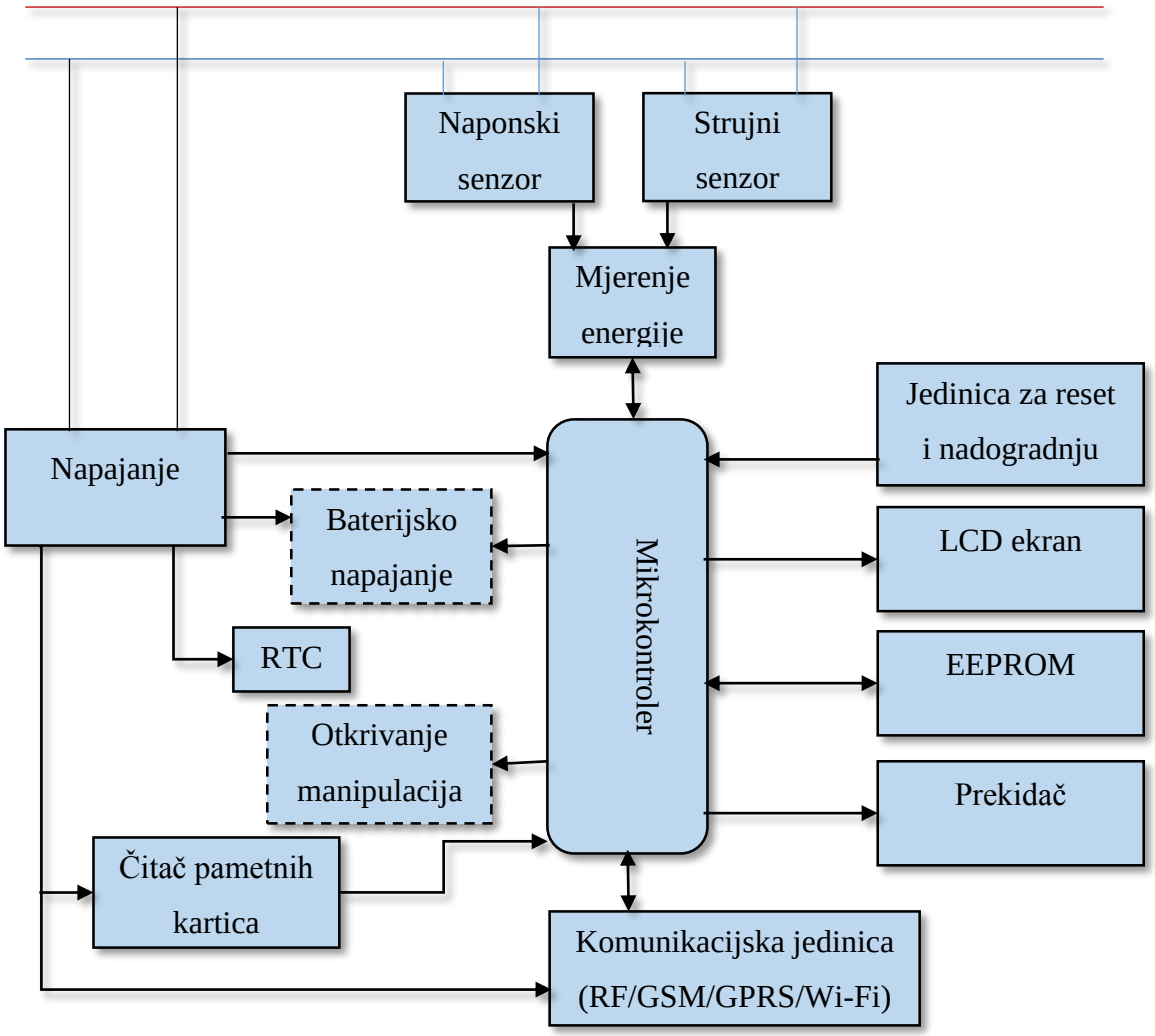
Struktura pametnog brojila se sastoji od dobavljanja signala, uređivanja signala, analogne u digitalnu pretvorbu, računanja i komunikacija.



Slika 4.3. Funkcijski blok dijagram pametnog brojila

Pametna brojila koriste naponske i strujne senzore kako bi dobavili ulazni signal. Uređivanje signala, analogno/digitalna pretvorba i računanje se obavljaju unutar mikro kontrolera. Za dodatne operacije kao što su komunikacija, mjerenje datuma i vremena, i pohrana podataka potrebno je dodati još komponenti hardvera. Pametno brojilo se obično sastoji od sljedećih hardverskih komponenti:

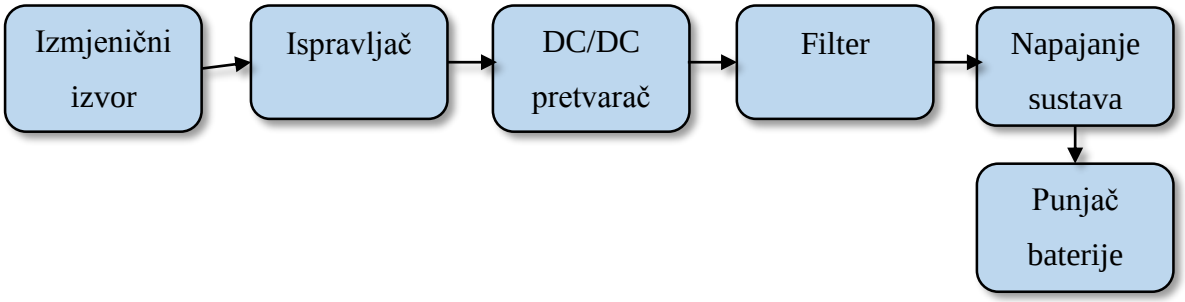
- Naponski i strujni senzori
- Napajanje
- Jedinica za mjerenje energije
- Mikrokontroler
- Komunikacijskog sučelja
- Real time clock (RTC)



Slika 4.4. Hardverska struktura suvremenog pametnog brojila

4.1.1. Napajanje

Jedinica za napajanje pametnog brojila se može razlikovati od proizvođača do proizvođača. Obično se jedinica napajanja sastoji od step down transformatora, ispravljača, AC/DC pretvarača, DC/DC pretvarača i regulatora. Zbog velike funkcionalnosti pametnih brojila, ponekad standardno napajanje nije dovoljno za napajanje svih komponenti brojila. Zbog toga je potrebno osigurati dostatno napajanje za pokretanje energetske mjerne jedinica, mikro kontroler, LCD ekrana, punjača baterije i komunikacijske jedinice. Na slici 4.5. je prikazan blok dijagram standardnog napajanja korištenog u pametnim brojilima.



Slika 4.5. Blokovski prikaz tipičnog napajanja pametnog brojila

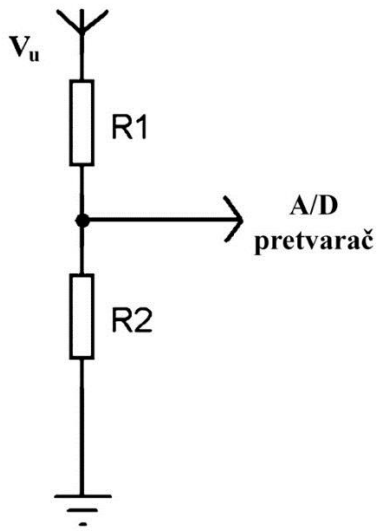
Na ulazu u naponsku jedinicu imamo izmjenični napon koji je potrebno provesti kroz ispravljač (diodni most) kako bi dobili istosmjerni napon. Takvim neuređenim naponom napajamo DC-DC pretvarač kako bi dobili napon za napajanje brojila i punjača baterije.

4.1.2. Mjerni elementi

a) Jedinica s naponskim senzorom

Jednostavni razdjelnici otpora se često koriste kao naponski senzori u digitalnim brojilima zbog svoje niske cijene. Na slici 4.6. je prikazan naponski senzor izveden pomoću razdjelnika otpora.

Vrijednosti R1 i R2 otpornika trebaju biti odabrane tako da vrijednost izmjeničnog mrežnog napona nakon podjele odgovara ulaznim vrijednostima analogno digitalnog pretvarača. Prema slici 4.6. ulazni izmjenični napon prolazi kroz otpornik R1 i izlazi iz središnje točke razdjelnika, a otpornik R2 treba biti uzemljen. Izlazni napon V_0 opisan je formulom (4-1).



Slika 4.6. Prikaz razdjelnika otpora

$$V_0 = \frac{R2}{R1 + R2} V_{in} \tag{4-1}$$

Gdje je:

V_u ulazni napon

V_0 izlazni napon.

Otpori R1 i R2 su reda veličine kΩ, dok je otpornik R1 puno većih vrijednosti od otpornika R2 (R1 ≥ 500R2). Veće vrijednosti se odabiru zbog manje snage rasipanja.

b) Jedinica sa strujnim senzorom

Jedinica sa strujnim senzorom obično sadržava strujni senzor i nisko propusni filter. Trenutno se u pametnim brojilima koriste četiri modela strujnih senzora:

1.) Hallov linearni strujni senzor
2.) Strujni transformator
3.) Shunt otpornik
4.) Rogowski svitak

1.) Hallov linearni strujni senzor

Senzori se sastoje od čipa i bakrenog vodiča koji se nalazi u blizini površine. Struja koja teče bakrenim vodičem stvara magnetsko polje koje se registrira pomoću Hallovog integriranog čipa i pretvara ga u proporcionalni napon.

2.) Strujni transformatori

Strujni transformatori proizvode sekundarnu struju koja je proporcionalna primarnoj struji. Magnetska svojstva strujnih transformatora su vrlo linearna na širokom rasponu primarne struje i temperature. Primar i sekundar transformatora su izolirani kako bi se povećala pouzdanost mjernih uređaja. Međutim, linearnost ovisi o veličini primarne struje i impedanciji sekundara transformatora. Svaki transformator ima klasificiran razred točnosti, a standardni razredi su 0,1, 0,2, 0,5 i 1 te se koriste za mjerne potrebe. Iako su strujni mjerni transformatori skuplji od Shunt otpornika, za svoj rad troše manje energije, ali imaju nelinearni odziv na niske struje i velike faktore snage.

3.) Shunt otpornik

Shunt otpornici su široko rasprostranjeni u mjernoj tehnici zbog niže cijene naspram ostalih strujnih mjernih senzora i jednostavno se postavljaju u seriju s opterećenjem. Njihovi otpori su obično u rasponu od 100 μΩ do 500 mΩ, a potrošnja snage jednaka je kvadratu struje. Stoga treba odabrati jako mali otpor kako bi se smanjilo rasipanje topline. Za Shunt otpornike se koriste visoko stabilni otpornici dizajnirani s nisko otpornim materijalima tako da se otpor ne mijenja promjenom struje, temperature ili starošću otpornika. Napon koji teče kroz Shunt otpornik je proporcionalan struji koja teče kroz otpornik i taj naponski signal se dovodi do energetskog mjernog čipa. Ako su nam poznate vrijednosti otpora, struju možemo izračunati preko Ohmovog zakona. Iako su Shunt otpornici jeftini, linearni i otporni na magnetske utjecaje nemaju inherentnu električnu izolaciju.

4.) Rogowski svitak

Rogowski svitak je predstavljen u elektroničkoj industriji još 1912. godine sa svrhom mjerenja magnetskog polja, ali se nisu mogli koristiti za mjerenje struje jer proizvedena energija nije bila dovoljna za pokretanje elektromehaničke opreme. Razvojem elektronike i sustava temeljenih na mikroprocesorima Rogowski svitci su dobili novi raspon primjene.

Svitak daje izlazni napon koji je proporcionalan brzini promjene struje, te linearno pretvaraju primarnu struju na sve razine zatvorenog kruga. Zbog nedostatka željeza u jezgri te korištenjem zraka Rogowski svitak nije zasićen. Samim time imaju mnogo prednosti naspram klasičnih strujnih mjernih transformatora:

- Veća mjerna preciznost
- Široki mjerni raspon
- Široki frekvencijski raspon
- Mogu izdržati neograničene struje kratkog spoja
- Mala cijena proizvodnje
- Male dimenzije i masa

Međutim Rogowski svitak ne može proizvesti naponski signal koji je direktno proporcionalan struji protjecanja. Izlazni napon i struja protjecanja opisani su relacijom (4-2)

$$V = k\frac{dl}{dt} \tag{4-2}$$

gdje je:

V = izlazni napon

I = mjerena struja

t = vrijeme

k = konstanta

Strujni signal bi trebao biti dobiven iz dl/dt signala, što dovodi do sljedećeg:

$$Vdt = kdl \tag{4-3}$$

$$\int Vdt = \int kdI \tag{4-4}$$

$$I = \frac{1}{k}\int Vdt \tag{4-5}$$

Prema relaciji (4-5), izlazni napon treba integrirati s vremenom kako bi dobili originalni strujni signal. Neki energetski mjerni čipovi imaju ugrađeni integrator za oporavak strujnog signala iz Rogowskog svitka.

c) Jedinica za mjerenje energije

Obrada signala, analogno digitalna pretvorba i proračuni se obavljaju unutar jedinice za mjerenje energije. Taj rad može obavljati standardna jedinica za mjerenje ili jedinica s mikro kontrolerom. Suvremene jedinice za mjerenje energije imaju ugrađene digitalne procesore signala s kojim mogu odrađivati obradu signala, analognu digitalnu pretvorbu i proračune energije. Takvi procesori postoje u varijantama za mjerenje energije jedne ili dvije faze, te pružaju podatke o aktivnoj, jalovoj i prividnoj snazi kao i o frekvenciji. Neki modeli imaju dodatne mogućnosti kao što su mjerenje efektivne vrijednosti struje i napona, frekvencije, vrijednosti temperature, detekcija manipulacija, ukupne harmonijske distorzije te komunikacija. Sve jedinice za mjerenje energije se moraju proizvesti po IEC i ANSI mjernim standardima.

4.1.3. Mikrokontroler

Mikrokontroler je središte svakog pametnog brojila jer obavlja sve funkcije unutar brojila, a neke od njih su:

- Komunikacija s jedinicom za mjerenje energije
- Proračuni dobivenih podataka
- Prikaz električnih parametara, tarifa i cijene
- Očitavanja pametnih kartica
- Otkrivanje manipulacija
- Komunikacija s drugim uređajima
- Upravljanje napajanjem

Potrošač sve bitne informacije može vidjeti na LCD ekranu koji se nalazi na pametnom brojilu. Na ekranu su između ostalog prikazani podatci o trenutnoj tarifi ili o prekidu napajanja. Prilikom promjene tarife ili u stanju velike potrošnje, brojila mogu upaliti alarm kako bi obavijestili potrošača o novim promjenama. Određeni modeli koriste brojčanike pogonjene motorom za prikaz potrošnje energije. Sve ove funkcije obavlja jedinica s mikrokontrolerom, a često se više funkcija obavlja u isto vrijeme.

4.1.4. Komunikacijsko sučelje

Napredna mjerna infrastruktura (AMI) je sistem koji se sastoji od pametnog brojila, komunikacijskog pristupnika, inteligentne kontrole te se u njemu su koriste različiti komunikacijski protokoli (HAN, NAN, WAN). U mjernoj infrastrukturi, pametna brojila imaju najvažniju ulogu jer komuniciraju s kućanskim aparatima, ostalim brojilima (brojila za potrošnju vode i plina), susjednim pametnim brojilima i s opskrbljivačem energije.

Kućna komunikacijska mreža (HAN) se koristi za komunikaciju između pametnog brojila, kućanskih aparata, drugih brojila, kućnog monitora i kućnog energetskog generatora. HAN pruža centralizirano upravljanje energijom, uslugama i postrojenjima koristeći žičane ili bežične mreže. U HAN mrežama često se koriste Zig-bee, Z-wave, WI-Fi, PLC komunikacijski protokoli. PLC komunikacijski protokol je jeftiniji pristup postavljanja HAN mreže, ali ima mnogo nedostataka. Kao učinkovit i jeftini protokol je prepoznat Zig-bee protokol koji može podnijeti zahtjeve HAN mreže sigurno i pouzdano.

NAN mreža se koristi za komunikaciju brojila sa susjednim brojilima u okolici. Komunicirajući s drugim brojilima razmjenjuju se informacije u realnom vremenu. U ovom mrežnom sistemu se također koristi Zig-bee protokol zbog brzine protoka podataka i niske cijene instalacije.

WAN mreža se koristi za spajanje pametnih brojila na udaljene servere. U tom slučaju možda neće biti spojeni na NAN i podatci se direktno prenose na server putem bežičnih mreža. Brojila se povezuju sa serverom zbog razmjene podataka o izdavanja računa, informacija o prekidu napajanja, udaljenog upravljanja uređajima i udaljenom konfiguracijom. Za spajanje brojila na WAN mrežu koriste se GSM, GPRS, 3G i WiMax komunikacijski protokoli. GSM protokol ima najveću pokrivenost naspram ostalim protokola, ali dugoročno je skuplja metoda.

4.1.5. Real time clock (RTC)

Jedna od najbitnijih komponenti u pametnom brojilu je uređaj za praćenje vremena. Sat pruža informacije o vremenu i datumu te daje alarmne informacije. Neke energetske mjerne jedinice imaju ugrađeni RTC, a neke imaju odvojeni RTC kojim se pristupa putem mikrokontrolera. RTC jedinice su relativno točne, ali vremenska razlika na godišnjoj razini može biti i do 60 minuta. Kako bi se riješili vremenske razlike, pametna brojila koja su spojena na pametnu mrežu se redovito sinkroniziraju sa stvarnim vremenom. Brojila koja nisu spojena na pametnu mrežu trebaju imati jako preciznu RTC jedinicu ili bi se trebali redovno umjeravati.

5. RAČUNANJE OSNOVNIH ELEKTRIČNIH VELIČINA UNUTAR PAMETNOG BROJILA

Napretkom tehnologije i razvojem novih energetskih čipova omogućeno je mjerenje efektivnih vrijednosti struje, napona, djelatne snage, jalove snage, prividne snage, mjerenje harmonika, frekvencije i kvalitete električne energije. Novi čipovi uređuju signale, obavljaju izračune, troše manje energije i pružaju visoku preciznost.

5.1. Računanje efektivnih vrijednosti

Efektivna vrijednost kontinuiranog signala opisana je jednadžbom,

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T f^2(t)dt} \tag{5-1}$$

gdje je:

F_{RMS} efektivna vrijednost funkcije f(t)

T periodično vrijeme

Efektivna vrijednost signala uzorkovanim u vremenu opisana je jednadžbom,

$$F_{rms}\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} f_{[n]}^2} \tag{5-2}$$

gdje je:

F_{rms} efektivna vrijednost uzorkovanog signala

N je broj uzoraka

n je n-ti broj uzorkovanog signala

a) Računanje efektivne vrijednosti struje

Kako bi objasnili princip računanja efektivne vrijednosti struje za primjer ćemo koristiti ADE5166 energetski mjerni čip. Trenutni signal struje može se prikazati putem izraza:

$$I(t) = \sqrt{2}I_{RMS}\sin(\omega t) \tag{5-3}$$

Gdje je:

I(t) trenutna vrijednost struje

I_{RMS} efektivna vrijednost struje

ω kutna frekvencija

t vrijeme

Kvadriranjem obje strane i zamjenom vrijednosti pomoću trigonometrijskih funkcija dobivamo sljedeće izraze:

$$I^2(t) = 2I_{RMS}^2 sin^2(\omega t) \tag{5-4}$$

$$I^2(t) = I_{RMS}^2 - I_{RMS}^2 cos(\omega t) \tag{5-5}$$

Kako bi se dobila efektivna vrijednost struje, potrebno je kvadrirati ulazni signal struje s analogno digitalno pretvarača te njegovu srednju vrijednost korjenovati.

b) Računanje efektivne vrijednosti napona

Efektivna vrijednost napona računa se istim pristupom kao i efektivna vrijednost struje. ADE7758 i ADE5166 čipovi koriste metodu apsolutne srednje vrijednosti za dobivanje srednje vrijednosti napona. Ova metoda je točna kada ulazni signal ima osnovni harmonik, a izračun može biti neprecizan ukoliko ulazni signal sadrži više harmonike.

Izračun metode apsolutne srednje vrijednosti se dobiva po sljedećem izrazu:

$$V_{MAV} = \frac{1}{T}\int_0^T \left|\sqrt{2}V_{RMS}\sin(\omega t)\right| dt \tag{5-7}$$

Gdje je:

V_{MAV} apsolutna srednja vrijednost napona

V_{RMS} srednja vrijednost napona

T periodično vrijeme

Uređivanjem prethodne jednadžbe dolazimo do izraza:

$$V_{MAV} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{RMS} \tag{5-8}$$

Kako je V_{MAV} proporcionalan V_{RMS}, te prema tome možemo lako izračunati vrijednost V_{RMS}, ako znamo vrijednost V_{MAV}.

5.2. Računanje aktivne snage

Energija koja protječe od izvora do opterećenja naziva se električna energija. Umnožak napona i struje daje vrijednost snage koja je jednaka protoku energije u jedinici vremena. [7]

Ako uzmemo u obzir opterećenje spojeno na izmjenični napon, trenutnu struju i napon možemo izračunati sljedećim izrazima:

$$V(t) = \sqrt{2} V_{RMS} \sin(\omega t) \tag{5-9}$$

$$I(t) = \sqrt{2} I_{RMS} \sin(\omega t - Ø) \tag{5-10}$$

Gdje je V(t) i I(t) trenutni iznosi struje i napona, a Ø je fazni pomak između struje i napona.

Za računanje aktivne snage ADE 5166 i ADE 7856 čipovi koriste trenutni signal snage koji se dobiva množenjem strujnog i naponskog signala u svakoj fazi. Istosmjerna komponenta trenutnog signala snage je ekstrahirana pomoću LPF2 sklopa kako bi se dobila informacija o prosječnoj aktivnoj snazi. Trenutni iznos aktivne snage se može prikazati sljedećim izrazom:

$$p(t) = V_{RMS} I_{RMS} \cos(Ø) - V_{RMS} I_{RMS} \cos(2\omega t - Ø) \tag{5-11}$$

Prosječnu vrijednost aktivne snage možemo dobiti sljedećim izrazom:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^{nT} p(t) dt \tag{5-12}$$

Gdje je:

P je prosječna vrijednost snage

T je vrijeme trajanja mjerenja

Ako uzmemo u obzir samo jedno vrijeme trajanja, prosječna vrijednost snage se može prikazati:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt \tag{5-13}$$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T [V_{RMS}I_{RMS}\cos(\emptyset) - V_{RMS}I_{RMS}\cos(2\omega t - \emptyset)] \tag{5-14}$$

$$P = V_{RMS}I_{RMS}\cos(\emptyset) \tag{5-15}$$

Sređivanjem izraza možemo vidjeti da je aktivna snaga jednaka istosmjernoj komponenti signala snage p(t) iz izraza (5-11) i (5-11). Stoga ADE čipovi koriste (5-11) izraz za računanje aktivne snage izvlačeći trenutnu istosmjernu komponentu signala snage.

5.3. Računanje jalove snage

Jalova snaga ne sudjeluje u korisnim radu trošila, ali je potrebna u elektroenergetskoj mreži za postizanje promjenjivog magnetskog polja koje u svom radu koriste električni strojevi izmjenične struje. [8]

ADE čipovi koriste sljedeću metodu za računanje jalovu snagu. Ako uzmemo u obzir opterećenje s faktorom kašnjenja koji je spojen na izmjenični izvor, trenutni izračun jalove snage će biti pomaknut za 90° i opisan je izrazom:

$$I'(t) = \sqrt{2}I_{RMS}\sin(\omega t - \emptyset + \frac{\pi}{2}) \tag{5-16}$$

Trenutni signal jalove snage možemo dobiti množenjem izraza (5-9) i izraza (5-16), što nam daje sljedeći izraz:

$$q(t) = V_{RMS}I_{RMS}sin\emptyset + V_{RMS}I_{RMS}\sin(2\omega t - \emptyset) \tag{5-17}$$

Prosječnu vrijednost jalove energije opisujemo izrazom:

$$Q = \frac{1}{T}\int_0^T q(t)dt \tag{5-18}$$

$$Q = \frac{1}{T}\int_0^T [V_{RMS}I_{RMS}sin\emptyset + V_{RMS}I_{RMS}\sin(2\omega t - \emptyset)]dt \quad (5\text{-}19)$$

Koji ako pojednostavimo dobijemo sljedeći oblik:

$$Q = V_{RMS}I_{RMS}sin\emptyset \quad (5\text{-}10)$$

Izoliranjem istosmjerne komponente iz izraza (5-17) možemo dobiti jalovu snagu koja je derivirana u izrazu (5-20). Kako bi izračunali jalovu snagu, trebamo pomnožiti signal napona i signal struje koji je pomaknut za 90° te su filtrirani kroz nisko propusni filter.

5.4. Računanje prividne snage

Za računanje prividne snage ADE7758 čipovi koriste se metodom aritmetičke sredine. Kako bi dobili prividnu snagu potrebno je pomnožiti efektivne vrijednosti napona i struje.

$$S = V_{RMS}I_{RMS} \quad (5\text{-}11)$$

Gdje je:

S aritmetička sredina prividne snage

Izlazni signal s množitelja se prosljeđuje kroz nisko propusni filter kako bi se dobila srednja vrijednost prividne snage.

6. PRIMJENE PAMETNOG BROJILA

Pametna brojila imaju široku primjenu u pametnoj mreži zbog svoje mogućnosti da istovremeno obavljaju više radnji uz veliku preciznosti mjerenja. Osim što mogu mjeriti potrošnju energije, pametna brojila mogu mjeriti različite električne i ne-električne veličine. Glavna prednost pametnih brojila što mogu pridonijeti očuvanju energije i energetskoj učinkovitosti. Neke od funkcija koja obavlja pametno brojilo su mjerenja distribuirane energije, praćenje napona u distribuiranoj mreži, povećanje performansi HVAC (eng. Heating, Ventilation, and Air-Conditioning) sustava, praćenje frekvencije i praćenje potrošnje na korisničkoj strani.

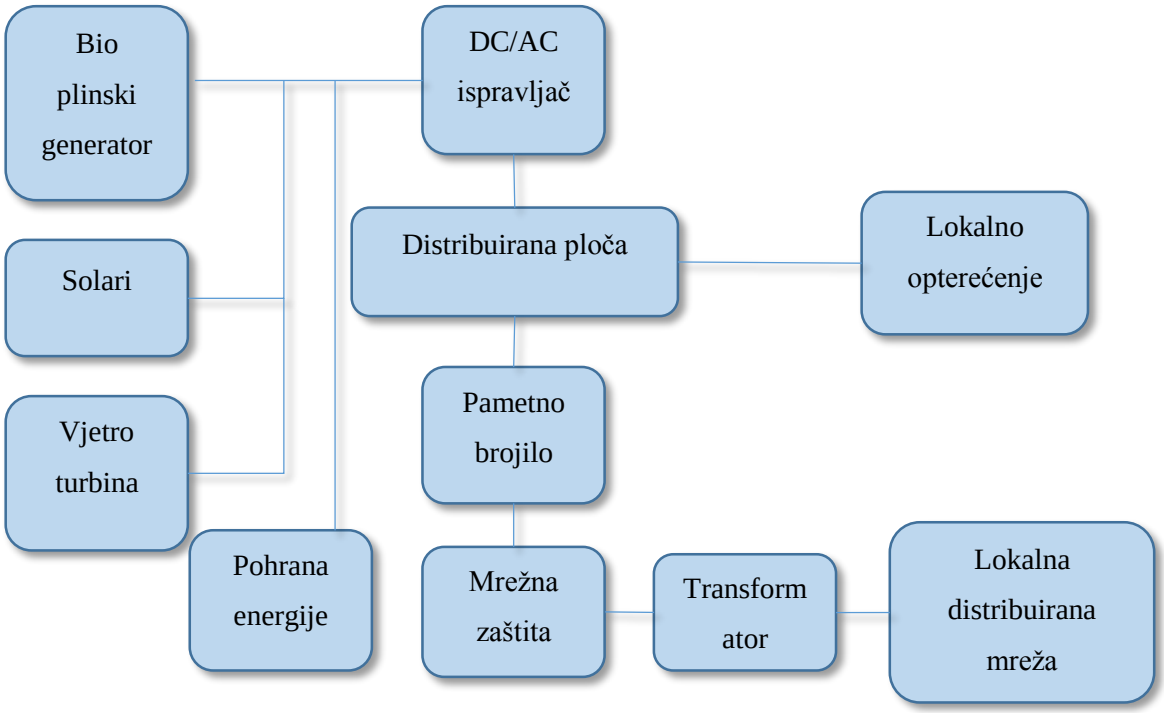
Pametna brojila mogu biti korištena u mikro-mrežama jer mogu obuhvatiti sveukupno stanje sistema te mogućnost mjerenja dvostrukog protoka energije. Instaliraju se na različitim lokacijama u distribuiranoj mreži za nadziranje naponskih profila. Mogu aktivno sudjelovati u kontroli napona i jalove snage kako bi povećali stabilnost i učinkovitost sustava. Pametna brojila se instaliraju u velikim zgradama gdje je potrebna velika energetska učinkovitost. U takvim sistemima pametna brojila se koriste za mjerenje temperature na različitim lokacijama kako bi upravljali HVAC sustavom radi poboljšanja cijelog sustava.

Također se koriste u stanovanju kao uređaji koji upravljaju opterećenjem i opskrbom potrošača koji dobivaju obavijesti o tarifama, potrošnji energije i o prekidima u napajanju. Davanjem na uvid korisnicima ove informacije utječe se na njihovo ponašanje. Potrošnja električne energije se može smanjiti u trenutcima visokog opterećenja i prebaciti u vrijeme niske potrošnje kako bi se smanjili troškovi za električnu energiju. Uz pametna brojila prisutni su i pametni kućanski aparati koji komuniciraju s brojilom te se mogu daljinsko ugasiti/upaliti ili im se može prilagoditi rad samo u određenoj tarifi.

6.1. Distribuirana proizvodnja

Trenutno se električna energija proizvodi u centraliziranim postrojenjima koji iskorištavaju različite izvore energije. Prihvaćajući distribuiranu proizvodnju biti će omogućeno dodavanje više obnovljivih izvora energije u mrežu u bilo kojem dijelu distribuirane mreže. Zbog povećane potražnje za električnom energijom distribuirana proizvodnja je dobro rješenje za dodavanje energije u mrežu iz malih izvora. Takvi mali izvori energije mogu se instalirati u kućanstvima, gospodarskim zgradama i uredskim prostorima. Korisnici u tom slučaju ne bi bili samo potrošači već i proizvođači. Energiju dobivenu iz distribuiranih izvora mogu koristiti za svoje potrebe, a višak mogu prodavati u mrežu. U slučaju da proizvodnja energije nije dovoljna za podmirivanje

svih opterećenja u kućanstvu, razlika energije može biti dobavljiva iz opskrbne mreže. Takvi mali izvori energije imaju puno manji utjecaj na okoliš jer dolaze iz obnovljivih izvora kao što su vjetar, sunce i bio masa. Na slici 6.1. je prikazan mikro-mrežni sustav u kombinaciji s distribuiranim sustavom.



Slika 6.1. Distribuirana proizvodnja u mikro mreži

Mjerenje energije u distribuiranim sustavima je važna stavka, tako trenutna elektromehanička brojila nisu dovoljna za adekvatno mjerenje. Zbog svojih slabijih mogućnosti i preciznosti u mjerenju pa se umjesto njih koriste pametna brojila koja imaju puno veće mogućnosti za nadziranje cijelog sustava mikro-mreže. Jedna od važnijih prednosti pametnih brojila u distribuiranom sustavu je što mogu mjeriti dvosmjerni tok energije te se točno zna koliko energije je potrošeno, a koliko proizvedeno. Zbog toga pametna brojila imaju jako važnu ulogu u cijelom sustavu distribuirane proizvodnje.

6.2. Kontrola napona u pametnim mrežama

U distribuiranim mrežama je važna kontrola napona kao glavni preduvjet koncepta pametnih mreža. Radi kvalitetne opskrbe potrošača potrebno je održavati razinu napona unutar određenih granica. Kontrolom napona i jalove snage se povećava stabilnost i učinkovitost cijelog sustava. Za održavanje napona potrebno je instalirati uređaje za kontrolu napona i senzore za kvalitetu napona na različitim lokacijama u mreži. Takvi uređaji su transformatori s regulacijskom

preklopom, sinkroni distribuirani generatori, Shunt otpornici, kompenzatori jalove energije i sl. Ovi uređaji za ispravno održavanje i pogon zahtijevaju komunikacijsku infrastrukturu i softverske alate.

Kontrola napona u tradicionalnim mrežama je smještena samo u transformatorskim stranicama. Prelaskom na pametna brojila moguća je kontrola napona i kvaliteta energije i na strani potrošača. Pametna brojila vrše mjerenja u realnom vremenu i šalju informacije u kontrolni centar koji analizira i upravlja kontrolom napona u mreži. Signal za upravljanje se šalje iz kontrolnog centra na sve uređaje za kontrolu napona kako bi podesili parametre i održali napon na određenoj razini.

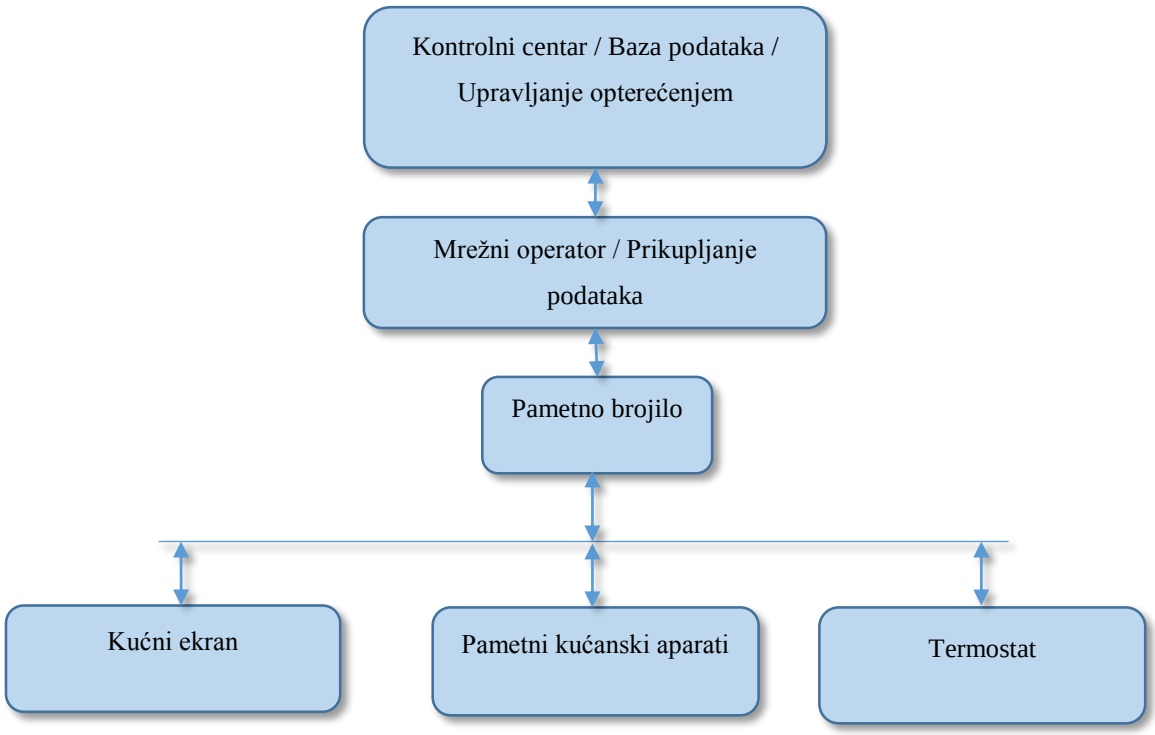
6.3. Upravljanje opterećenjem

Uvođenjem pametnih brojila moguće su puno veće šanse za smanjenje potrošnje energije na strani potrošača, ali i za proizvođače. Međutim sam uređaj ne čini ništa po pitanju smanjenje potrošnje energije već pomaže pri prikazu podataka čiji je rezultat promjena navika potrošača koji će dovesti do smanjenja potrošnje energije.

Informacije u realnom vremenu o trenutnoj potrošnji energije, njenoj cijeni, signali u realnom vremenu o promijeni cijene, procjene mjesečnih troškova, količina proizvedene energije prikazane su potrošaču nekim od komunikacijskih kanala. Dolazne informacije mogu biti prikazane na pametnom brojilu ili na kućnom ekranu. Te informacije će pomoći potrošaču da promijeni svoje navike potrošnje i da aktivno sudjeluje u smanjenju potrošnje energije ili pomicanju potrošnje u sate slabijeg opterećenja sustava.

Moderna pametna brojila podržavaju informativne ekrane, kontrolere kućanskih aparata te integrirani sustav upravljanja opterećenja. Pametni kontroleri individualno mjere snagu i energiju svakog kućanskog aparata na potrošačkoj strani. Podatci s tih uređaja se skupljaju u kontrolnom centru u približno realnom vremenu. Pošto je ostvarena dvosmjerna komunikacija između kontrolnog centra i potrošača, povratni signali se šalju nazad prema tim korisničkim uređajima iz kontrolnog centra. Tako kontrolni centar ima mogućnost upravljanja svim uređajima na potrošačkoj strani u smislu kontroliranja trenutne potrošnje. Također moguće je podesiti da određeni uređaji budu korišteni samo za vrijeme određene tarife.

Kontroler u kontrolnom centru šalje signale za pokretanje ili prekidanje programa opterećenja. Signal može biti automatski generiran ukoliko dođe do prekoračenja unaprijed određenih granica opterećenja ili vrijednosti napona. U tom slučaju izdaju se upute za smanjenje potrošnje.



Slika 6.2. Prikaz upravljanja opterećenjem u pametnoj mreži

U direktnom upravljanjem opterećenja signali se šalju direktno pametnom brojilu koji poduzima daljnje korake. Brojilo odabire potrebna upravljanja opterećenja prema uputama danim iz upravljačkog centra. Suvremeniji sustavi upravljanja opterećenja su dizajnirani tako da šalju kodirane signale direktno na kontrolere za upravljanje korisničkim uređajima. To su jednostavni kontroleri koji imaju jednostavne funkcije poput isključivanja i uključivanja, podesivi termostat i kontroler potrošnje. Ovaj princip se koristi za upravljanje uređajima kao što su klima uređaji, sustavi za grijanje vode i pumpe za bazene. U slučaju velike potrošnje energije u određenom području, kontrolni centar može prilagoditi potrošnju korisnika kako bi smanjili vršno opterećenje. Ovo je izvedivo isključivanjem kompresora klima uređaja kod određenih korisnika kako bi se povratila ravnoteža u sustav.

Druga metoda upravljanja opterećenjem je indirektna, odnosno upravljački centar ne upravlja potrošnjom direktno, već potrošačima daje na uvid određene informacije. Upravljački centar šalje signal na kućni monitor ili na pametno brojilo koji daju obavijest potrošačima o promjeni tarife, procjenu potrošnje energije. Potrošač na temelju tih informacija odlučuje što će poduzeti i hoće smanjiti ili prilagoditi svoju potrošnju. Ovim načinom se potrošače stimulira da svoje opterećenje prebace u sate nižeg opterećenja sustava, a kao stimulans im se nudi niža cijena energije.

Upravljanje opterećenjem donosi mnoge prednosti kao što su daljinska kontrola potrošačkih profila, niži račun električne energije, prevencija vršnih opterećenja, optimizacija mrežne restauracije i poboljšanje stabilnosti mreže.

6.4. Nadzor frekvencije pomoću upravljanja opterećenjem

U elektroenergetskom sustavu potrebno je balansirati u realnom vremenu između proizvodnje i potrošnje kako bi se očuvala nazivna vrijednost frekvencije. Ukoliko dođe do povećane potrošnje i povećanim zahtjevom za energijom, frekvencija u sustavu će naglo opasti. Ova situacija se može desiti u slučaju kvara određenog generatora ili u slučaju spajanja velikog potrošača na mrežu. Tada automatski upravljači generatora povećavaju proizvodnju kako bi stabilizirali vrijednost frekvencije. Osim upravljanjem generatora, za kontrolu frekvencije se može koristiti i kontrola opterećenja na potrošačkoj strani (eng. frequency controlled demand management-FCDM). Ovaj način kontrole može kontrolirati ili isključiti potrošnju korisnika u slučaju nestabilnosti sustava. Kontrola se može provoditi pomoću pametnih brojila ili kućnih kontrolera uređaja.

Postoji i druga metoda upravljanja zahtjevima potrošnje (eng. Dynamic deman control – DDC) koja se koristi za spajanje hladnjaka, zamrzivača, klima uređaja i nekih sustava grijanja. DDC sustav kontrolira temperaturne osjetnike na uređajima kako bi prilagodili temperaturu za optimalnu potrošnju. Ovaj sustav ima vlastiti način rada, ali se može kombinirati s pametnim brojilom.

6.5. Poboljšavanje performansi HVAC sustava

HVAC (eng. Heating, Ventilation, and Air-Conditioning) sustav podrazumijeva uređaje koji se koriste za grijanje, hlađenje i ventilaciju te se većinom koriste u velikim zgradama radi poboljšanja učinkovitosti potrošnje električne energije. Sustav održava kvalitetu zraka u zgradi te ga po potrebi grije ili hladi. Istraživanja su pokazala da integracija pametnih brojila u upravljački sustav zgrade može poboljšati učinkovitost HVAC sustava. Pametno brojilo može predvidjeti u kojim trenutcima je potreban određena temperatura u prostoru i prema tim informacijama odrediti kada će uređaji biti uključeni i u kojem obimu. Efektivnom kontrolom HVAC sustava uz pomoć pametnog brojila može se postići učinkovitiji režim rada u svrhu smanjenja potrošnje u trenutcima vršnog opterećenja. Ovaj sustav nije isplativ u malim kućanstvima zbog male količine priključenih uređaja i korisnika prostora.

6.6. Projekti upravljanja opterećenjem u svijetu

Kompanija ETSA u Australiji je pokrenula pilot projekt za kućanstva s ciljem smanjenja vršnog opterećenja u ljetnim mjesecima upravljajući opterećenjem klima uređaja. Na kompresorske jedinice klima uređaja su ugrađeni mali kontroleri koji su primali signale putem radio valova.

U Sjedinjenim Američkim Državama, kompanija LIPA je razvila program za kontrolu malih kućanskih termostata klima uređaja. Plan je bio smanjiti vršno opterećenje kontrolom opterećenja. Za kontrolu termostata je korišten uređaj nazvan „Programmable Comfort Choice thermostat“ te je primao signale za upravljanje putem satelita. Osim kontrole, termostati su prikupljali podatke o temperaturi svake minute, a podatci o potrošnji su mjereni svaki sat i poslani natrag u kompaniju. Upravljajući 23 400 klima uređaja, uspjeli su smanjiti vršno opterećenje za 24,9MW.

Kalifornijska kompanija je odobrila pilot projekt upravljanja potrošnje klima uređaja preko kontrolera upravljanim iz kontrolnog centra. U sistemu je bila omogućena dvosmjerna komunikacija te su bili upravljani kućanski aparati. Potrošači su mogli postaviti željene parametre klimatskih uređaja i upravljati vremenski rasporedom korištenja pumpe za bazen lokalnim ili bežičnim pristupom. Također su primali informacije o trenutnoj cijeni električne energije putem interneta ili na termostatu.

6.7. Optimalno upravljanje energijom

Sistemi upravljanja opterećenjem i upravljanja potrošnje su dizajnirani kako bi smanjili potrošnju u trenutcima vršnog opterećenja, stabilizirali frekvenciju i smanjili troškove električne energije. Kako bi potrošači smanjili potrošnju energije i promijenili svoje navike uveden je tarifni sistem. Korištenjem pametnih brojila mogući su sljedeći tarifni modeli:

- Naplata u realnome vremenu (RTP- eng. Real Time Pricing): Signali o promjeni cijene energije se generiraju u određenom vremenskom razdoblju uzimajući u obzir stvarnu cijenu električne energije. Potrošači dobivaju obavijesti o cijeni energije putem pametnog brojila ili kućnog ekrana.
- Naplata u vremenu korištenja (TOU- eng. Time Of Use): Ovaj način naplate je dizajniran tako da se dan podijeli u više manjih cijelina u odnosnu na ukupnu potrošnju u tom dijelu dana.
- Naplata po vršnom opterećenju: Slično kao TOU način naplate, ali je veća cijena određena u trenutcima velikog opterećenja. Korisnici su obaviješteni prije početka naplate veće cijene.
- Naplata po danu: Princip sličan kao RTP, ali se cijene formiraju na temelju dana te je potrošač obaviješten 24h prije početka tarife.

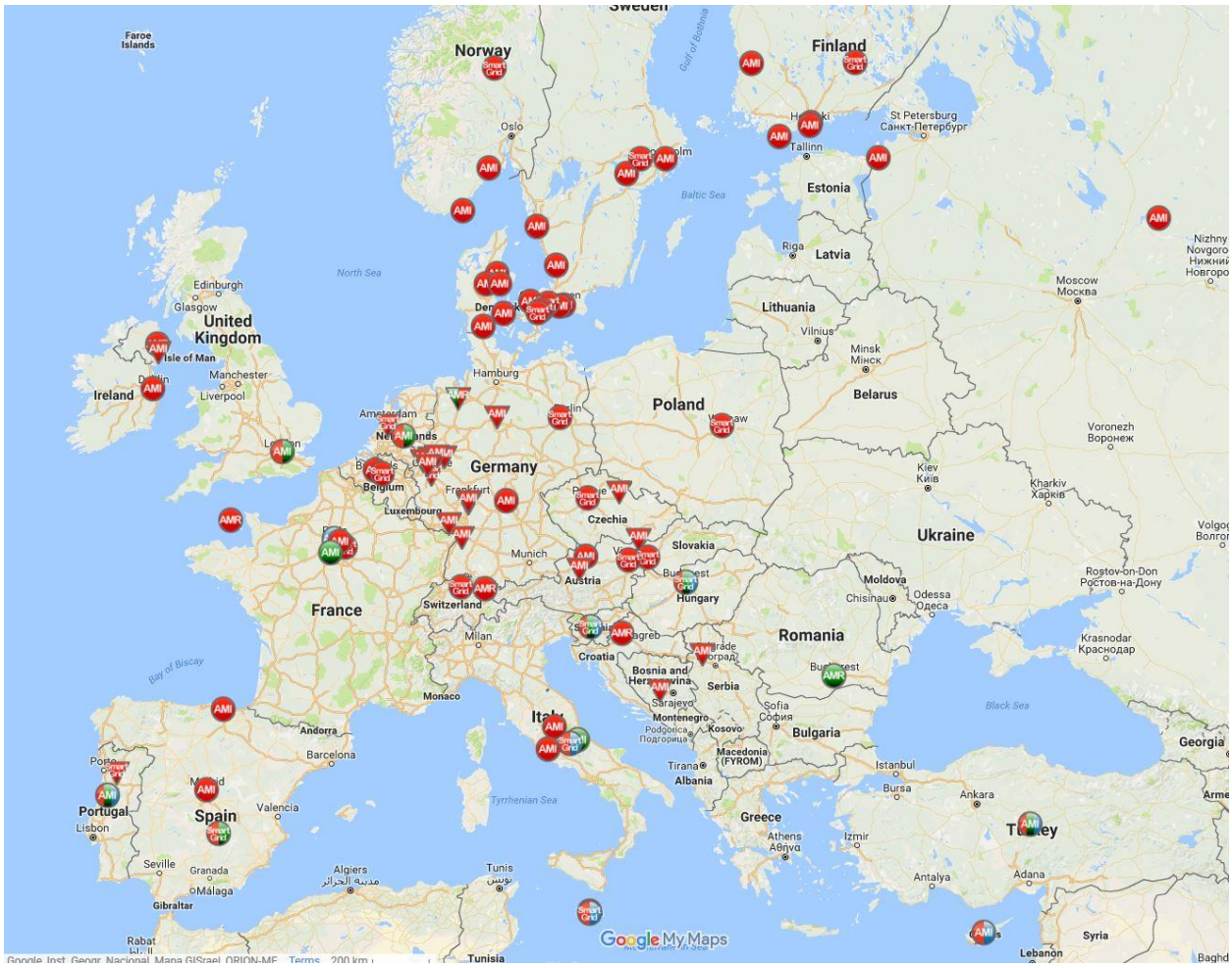
Zbog ekonomskih, ekoloških i zbog energetske učinkovitosti, tarifa naplate u realnom vremenu se pokazala kao najbolji izbor u odnosnu na ostale tarife.

7. PRIMJENA PAMETNIH BROJILA U PRAKSI

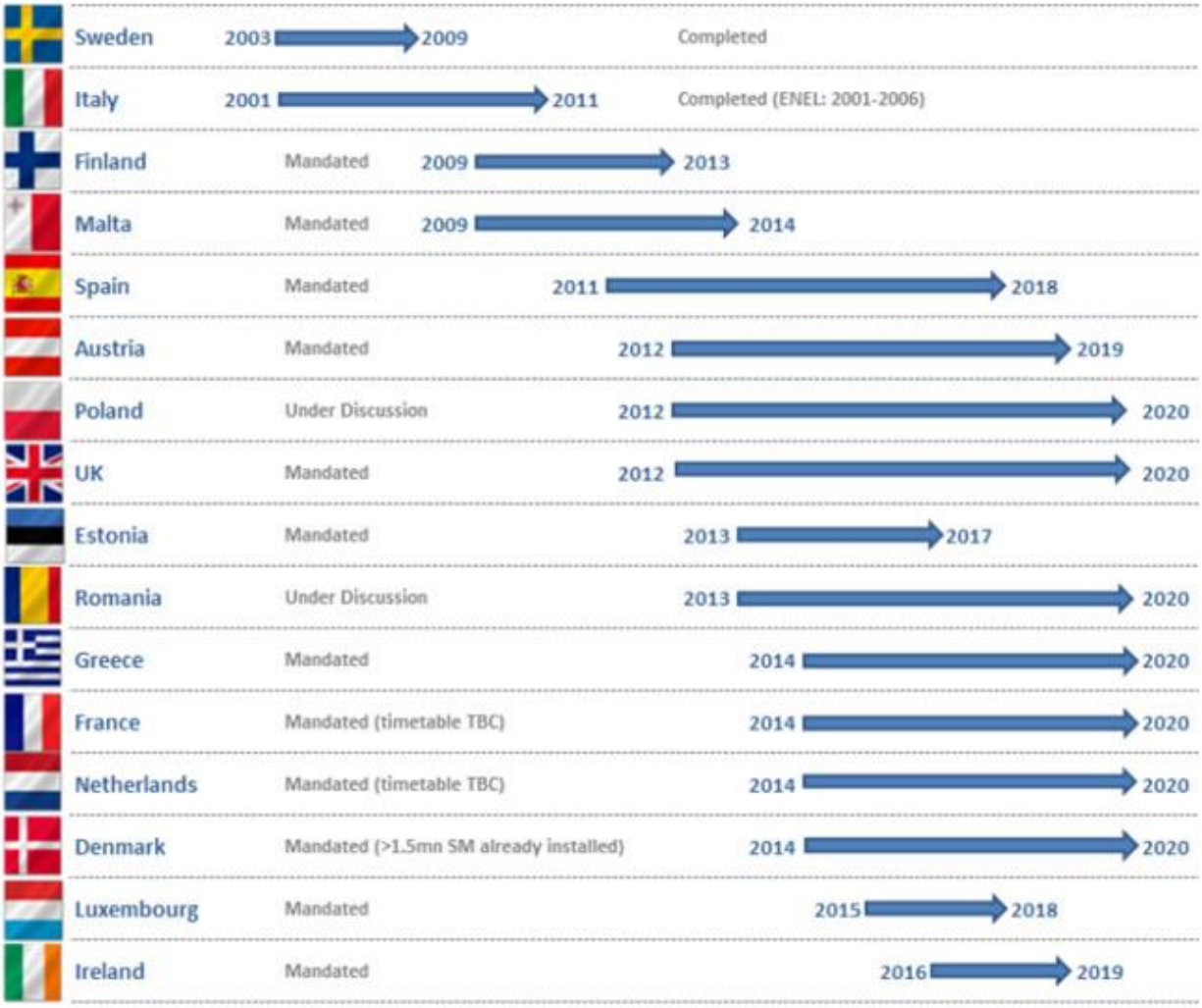
Države članice Europske Unije po Direktivi 2009/72/CE i 2009/73/CE iz srpnja 2009. godine su obavezne provesti ekonomsku analizu dugoročnih troškova i dobiti do kraja rujna 2012. godine. Potrebno je izraditi vremenski plan izgradnje naprednog sustava mjerenja u periodu od najviše deset godina. Ukoliko se ekonomska analiza pokaže isplativom, članice su obvezne opremiti najmanje 80 % obračunskih mjesta naprednim brojilima do 2020. godine. Tako će na prostoru Europe u upotrebi biti oko 200 milijuna pametnih brojila za električnu energiju i oko 45 miliona brojila za plin s ukupnom vrijednošću investicije od 45 bilijuna eura. [9]

7.1. Projekti pametnog mjerenja u Europi

U Europi je prepoznata vrijednost pametnog mjerenja električne energije, te se mnoge zemlje žele priključiti u projekt. Mnoge zemlje provode sustavnu nadogradnju sustava u pametne mreže kako bi postigli veću energetsku učinkovitost.



Slika 7.1. Projekti pametnog mjerenja u Europi



Slika 7.2. Rokovi provedbe integracije pametnih brojila [8]

7.1.1. Italija

Jedan od takvih primjera je Italija koja je prije uvođenja pametnog mjerenja imala problema s višom cijenom proizvodnje električne energije od bilo koje druge Europske zemlje. Bio je potreban sistem koji ima bolje očuvanje energije kako bi smanjili cijenu električne energije i emisije CO_2. Državna firma „ENEL“ je 2001. godine instalirala 36.7 milijun pametnih brojila u razdoblju od 5 godina, s cijenom od 94 eura po kućanstvu. Prelaskom na pametnu mrežu, „ENEL“ godišnje uštedi oko 500 miliona eura i cijela investicija će biti otplaćena kroz 7 godina. Ukupna energetska potrošnja po kućanstvu je pala za 5% nakon promjene sustava, te su uveli mnoge sustave kao što su naplata na daljinu, otkrivanje kvarova, otkrivanje prijevara i više tarifnih mogućnosti.

Ugrađena su pametna brojila s integriranom dvosmjernom komunikacijom, naprednim funkcionalnostima za mjerenje i upravljanje opterećenjem i kontroliranim isklopnikom. Brojila

komuniciraju putem NN mreže te imaju mogućnost daljinskog isključenja/uključenja instalacije kupca, korištenje podataka o načinu potrošnje, detektiranje ispada napona, detektiranje neovlaštene potrošnje i promjena tarifa. [10]

7.1.2. Švedska

Drugi dobar primjer je Švedska gdje se do 2009. godine ugradilo 850 000 pametnih brojila za mjerenje potrošnje električne energije. Švedski parlament je zaključio da svi potrošači trebaju imati mogućnost uvida o trenutnoj potrošnji energije bez dodatnih troškova. Time bi povećali svijest potrošača i poticali ih na promjenu ponašanja kako bi smanjili potrošnju. Donesen je zakon da se sva električna brojila moraju očitavati jednom mjesečno.

Švedska je uložila oko 1.5 milijardi eura, a investicija po mjernom mjestu je iznosila 288 eura. Potrošači su nakon ugradnje pametnih brojila ostvarili uštedu od 19,7%. [11]

7.2. Projekti pametnog mjerenja u Hrvatskoj

U Hrvatskoj se projekti pametnog mjerenja provode djelomično. Odnosno, ne koristi se puni potencijal pametnih brojila već samo jedan dio. Tako je uloga pametnih brojila u Hrvatskoj daljinsko očitavanje i isključivanje potrošača. Daljinsko očitavanje se većinom koristi kod velikih i malih industrijskih potrošača te kod ostalih potrošača gdje pristup do mjernog brojila otežan. Daljinsko isključivanje se primjenjuje kod potrošača koji su neredoviti platiše kako bi se izbjegla potreba slanja radnika na teren za fizičkim isključivanjem potrošača. U tom slučaju eliminira se potreba slanja radnika na teren, mogućnost dolaska do konflikta između radnika i potrošača.

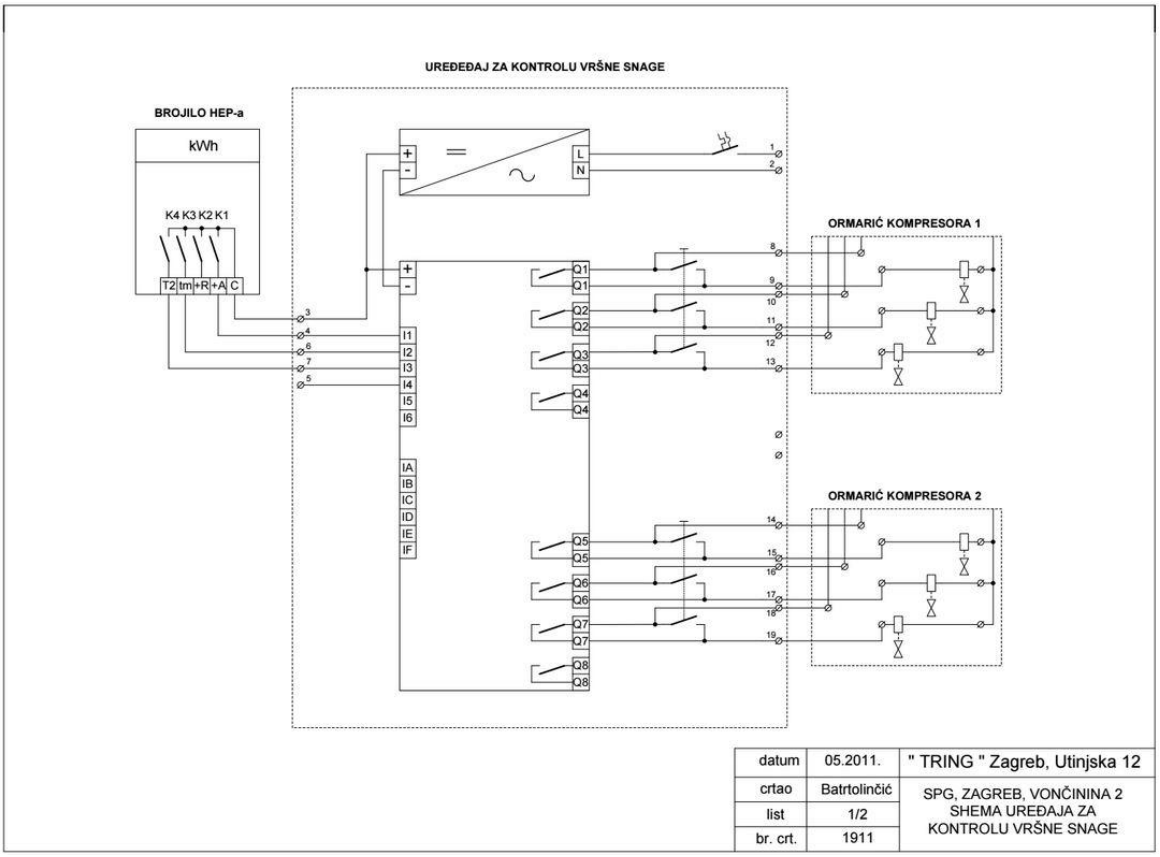
Aktivna su dva pilot projekta očitavanja brojila za potrošnju električne energije putem NN mreže. U Križu je 1. srpnja 2004. je započeo prvi pilot projekt gdje je ugrađeno 18 brojila opremljenih s DLC modemom. Ova lokacija je pogodna jer je dio mreže izveden zračnim vodovima, a dio je ožičen kabelom. Brojila koja su spojena na kabel su pokazala puno bolju statistiku očitanja za razliku od brojila koja su bila spojena na zračni vod. Drugi pilot projekt je započet u mjestu Širinama pokraj Belog Manastira gdje je ugrađeno 36 brojila za daljinsko očitavanje.

Pametna brojila korištena u ovim projektima za daljinsko očitavanje imaju mogućnost:

- Dnevno očitanje registra radne energije
- Očitanje registra snage po tarifama
- Očitanje dnevne krivulje opterećenja
- Očitavanje knjige događaja s brojila
- Očitanje na zahtjev određenih registara

Osim toga, moguće je i sinkroniziranje vremena na brojilu, upisivanje tarifnog programa i promjena parametara (period krivulje opterećenja).

Trenutno se u Hrvatskoj ne provodi sustavna (od strane dobavljača energije) implementacija pametnog mjerenja u punom smislu. Tehnologije pametnog mjerenja koriste određeni industrijskih potrošači koji radi vlastite uštede integriraju pametna brojila u svoje pogone. Većinom se radi o velikim potrošačima koji žele kontrolirati svoju vršnu snagu kako ne bi prekoračili zakupljenu snagu koju bi dodatno platiti. Tako se u njihovim pogonima automatski isključuju manje bitni potrošači u slučaju da dođe do prekoračenja zakupljene snage. Primjer jednog takvog sustava prikazan je na slici 7.3.



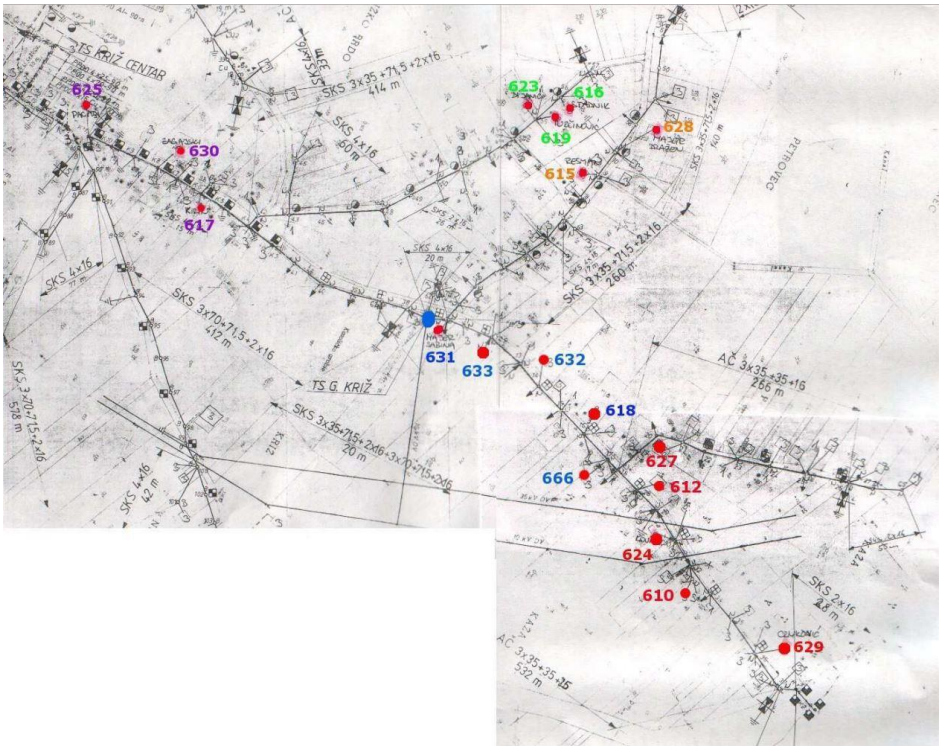
Slika 7.3. Prikaz sustava za kontrolu vršne snage u kombinaciji s pametnim brojilom

U budućnosti planira se uvođenje novih tehnologija u distribucijske sustave, te bi se ugradnjom pametnih brojila i opreme omogućilo:

- Praćenje opterećenja NN trafostanica
- Izračun gubitaka u SN distribucijskoj mreži
- Pronalazak i smanjivanje gubitaka u NN mreži i smanjenje emisije CO_2
- Prikupljanje ulaznih podataka za analizu masovne ugradnje naprednih brojila
- Bolje održavanje distribucijske mreže i pouzdanost trenutnog sustava i planiranje razvoja

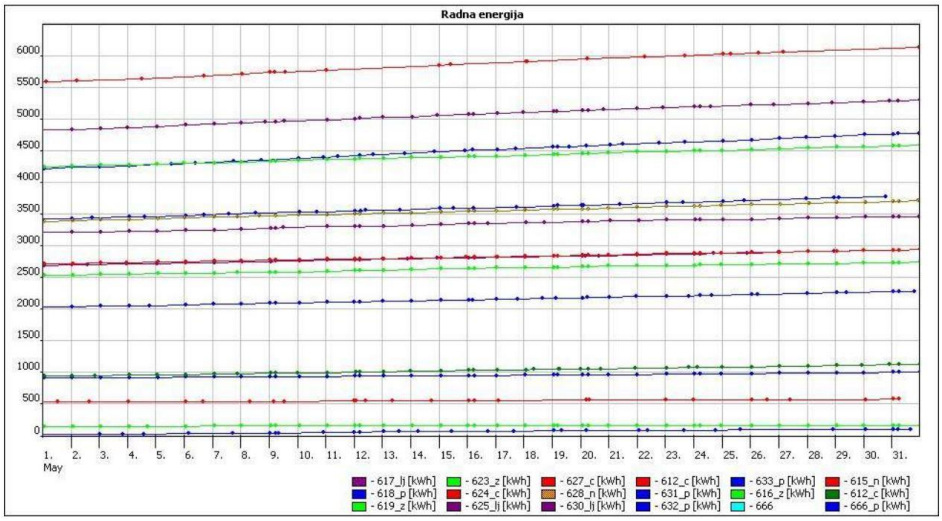
7.2.1. Pilot projekt Križ

Pilot projekt u Križu je prvi projekt u Hrvatskoj u kojemu se krenulo s ugradnjom pametnih brojila u svrhu daljinskog očitavanja. Ugrađeno je 18 brojila koja su kontrolirana putem koncentratora koji je smještan u trafostanici (plava točka na karti).



Slika 7.4. Karta pilot projekta u Križu

Kako je već spomenuto, određena brojila su spojena na zračni vod (na karti crveno), a ostala brojila su spojena na elkaleks kabelu. Brojila su također grupirana po bojama (ljubičasta, narančasta, plava i zelena) kako bi se lakše očitali podatci sa slike 7.5. gdje su prikazana očitanja ukupne radne energije u periodu od 24 sata za pojedino brojilo.



Slika 7.5. Grafičko očitanje ukupne radne energije od 1.5.2005 do 1.6.2005.

U prvom stupcu numeričkog očitanja prikazan je popis brojila koja su spojena na koncentrator. Troznamenkastim brojem su prikazani serijski brojevi brojila u brojčanom i heksadecimalnom obliku. „Install/Lost“ time prikazuje podatke o vremenu spajanja i komuniciranja brojila sa koncentratorom. U stupcu „Fork Time“ vidimo da za dva brojila je prikazano „Lost“ što znači da se brojilo nije povezalo na koncentrator u trenutku zahtjeva i da je došlo do određenih problema u komunikaciji. O pouzdanosti očitanja brojila nam govori stupac „Credits“ gdje je pouzdanost izražena brojčanom oznakom, a objašnjava koliko je puta potrebno ponoviti komunikaciju s brojilom da bi očitanje bilo uspješno (0=potpuno pouzdano, 7=slabo pouzdano). Oznaka „R“ označava da brojila rade u repetitorskom načnu rada.

DLC Address	Install/Lost Time	Fork Time	Credits	RST	Phase	Succes	Rate	Availability
615 [0x267]	30.03.2005 03:40:04	02.04.2005 10:44:24	1		4	96% 2395/2470	86% 322/371	
631 [0x277]	29.03.2005 02:41:04	02.04.2005 10:44:55	R 0		4	99% 3310/3318	97% 427/436	
612 [0x264]	02.04.2005 02:43:01	02.04.2005 10:45:28	R 0		4	82% 1518/1841	60% 295/491	
616 [0x268]	02.04.2005 06:36:49	02.04.2005 10:46:24	R 1		4	89% 1483/1649	77% 251/323	
625 [0x271]	02.04.2005 00:26:07	02.04.2005 10:46:59	1		4	91% 1275/1392	79% 205/258	
623 [0x26F]	31.03.2005 21:03:38	02.04.2005 10:47:36	0		4	97% 1765/1810	89% 243/271	
619 [0x26B]	01.04.2005 05:50:56	02.04.2005 10:48:08	R 0		4	95% 1777/1852	83% 255/307	
630 [0x276]	01.04.2005 22:34:31	02.04.2005 10:48:40	0		4	90% 2149/2381	79% 348/436	
617 [0x269]	02.04.2005 06:20:40	02.04.2005 10:49:33	0		4	96% 919/955	87% 128/147	
633 [0x279]	02.04.2005 08:58:19	02.04.2005 11:04:38	1		4	86% 62/72	81% 13/16	
624 [0x270]	02.04.2005 10:51:58	02.04.2005 11:05:29	R 3		4	66% 20/30	46% 6/13	
632 [0x278]	02.04.2005 10:35:28	------- Lost -------	-		-	80% 24/30	50% 5/10	
610 [0x262]	02.04.2005 10:36:27	------- Lost -------	-		-	40% 2/5	9% 1/11	
618 [0x26A]	02.04.2005 10:37:26	02.04.2005 11:09:15	3		4	0% 0/2	0% 0/3	

Slika 7.6. Numeričko očitanje na dan 2.4.2005.

Iz prva dva pilot projekta u Hrvatskoj je zaključeno da sustav očitavanja kućanstva preko NN mreže ima veliki potencijal te omogućuje pouzdano učestalo očitanje, daljinski nadzor i parametriranje brojila. U budućnosti se planira testiranje funkcije za daljinsko isključivanje potrošača, a iskustva stečena u ovim projektima će se primijeniti u budućim projektima.

8. ZAKLJUČAK

Trenutni trend u razvijenom svijetu je potpuni prelazak na sustav pametnih mreža i pametnih brojila. Napretkom tehnologije otvara se puno novih mogućnosti i primjena na ovom polju, tako da se pametne mreže još uvijek razvijaju i unaprjeđuju. Glavni cilj projekata pametnog mjerenja je zamjena zastarjelog načina kontrole potrošnje električne energije kako bi se postavili dobri temelji za implementaciju pametnih mreža i pametnih brojila. Prelaskom sustava na pametnu mrežu otvara se puno novih mogućnosti kao što su distribuirana proizvodnja, tarifni sustavi za precizniju naplatu potrošene energije, bolja kontrola vršnog opterećenja u sustavu, poboljšana globalna stabilnost u elektroenergetskom sustavu i smanjenje potražnje za električnom energijom.

Kroz rad je prikazano da se razvoj pametnog mjerenja zasniva na nedostatcima prethodnog sistema i da je potrebna drastična promjena u sistemu kako bi došlo do potpune primjene pametnog mjerenja. U svijetu je pametnog mjerenje vrlo dobro prihvaćeno i mnoge zemlje sustavno rade na ugradnji pametnih brojila i realizaciji pametne mreže. Dobar primjer predstavljaju Skandinavske zemlje koje su gotovo u potpunosti ugradili pametna brojila. Njihov primjer prate i ostale Europske zemlje koje su djelomično ili potpuno prešle na pametna brojila.

Nažalost, u trenutku pisanja diplomskog rada i prema dostupnim informacijama, Hrvatska još uvijek sustavno ne ugrađuje pametna brojila. HEP kao najveći trgovac električnom energijom u Hrvatskoj je pokrenuo nekoliko pilot projekata ugradnje pametnih brojila u svrhu daljinskog očitavanja potrošnje električne energije. Međutim ta brojila se koriste samo za očitanje električne energije dok se ostale funkcije poput upravljanja potrošnje, više tarifnog sistema, obavještavanje potrošača ne koriste. Upravljanje potrošnjom i opterećenjem je vidljivo kod velikih potrošača koji samoinicijativno ugrađuju uređaje za upravljanje opterećenjem kako ne bi plaćali penale za prekoračenje zakupljene vršne snage. Hrvatska će morati u bližoj budućnosti drastično uložiti u sustave i ugradnju pametnog mjerenja jer će morati pratiti ostale Europske zemlje s kojima trguje električnom energijom. Kako Hrvatska ima dobar potencijal za proizvodnju električne energije iz vjetra i sunca, integracija pametne mreže i pametnih brojila bi samo pridonijela razvoju proizvodnje iz obnovljivih izvora energije. Također bi pojednostavilo proces distribuirane proizvodnje kod malih proizvođača, te pomoglo stabilnosti sustava na otocima ili zabačenim mjestima.

Napredna mjerenja i brojila će se u budućnosti još vise razvijati i unaprjeđivati, na trgovcima energije je da prate te trendove i da koriste dostupnu tehnologiju kako bi se osigurao elektroenergetski sustav, smanjile potrebe za proizvodnjom iz fosilnih goriva, povećala

proizvodnja iz obnovljivih izvora energije, smanjila cijena električne energije i omogućio pristup električnoj energiji u regijama gdje još nije dostupna.

9. LITERATURA

[1] http://www.smartmedparks.eu/hr/faq/sto-je-pametna-mreza

[2] https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-HOME-2010-PDF-E.pdf

[3] U.S. Department of Energy, Smart Grid System Report (2009) http://www.oe.energy.gov/ sites/prod/files/oeprod/DocumentsandMedia/SGSRMain_090707_lowres.pdf

[4] U.S. Department of Energy, Smart Grid (2012). http://www.smartgrid.gov/the_smart_grid.

[5] http://esmig.eu/sites/default/files/2009.09.08_a_guide_to_smart_metering_-esmig.pdf

[6]https://www.researchgate.net/publication/224092169_Analysis_of_energy_savings_using_smart_metering_system_and_IHD_in-home_display

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power

[8] http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17571

[9] http://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-metering-deployment-european-union

[10] [http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=compteurs-europe]

[11] http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188&from=EN

SAŽETAK

Napredna mjerenja

Zastarjeli načini distribucije električne energije ukazao je na mnoge nedostatke te se pojavila potreba za boljim sistemom. Napredna mjerenja i pametne mreže omogućuju suvremeniji način distribucije i kontrole električne energije s brojim prednostima. U ovom radu je opisan razvoj pametnog brojila, princip naprednog mjerenja električne energije i primjena u stvarnim projektima. Prikazano je stanje na projektima pametnog mjerenja kako u Europi tako i u Hrvatskoj.

Ključne riječi: napredna mjerenja, pametno brojilo, pametna mreža, daljinsko očitavanje

ABSTRACT

Advanced metering

The electricity distribution has shown many disadvantages over the years and a need for a better system has emerged. Advanced measurements and smart networks provide a more modern way of distributing and controlling electricity with numerous benefits. This paper describes the development of a smart meter, the principle of advanced metering of electricity and its application in real projects. The state of smart measurement projects is presented in both Europe and Croatia.

Keywords: advanced metering, smart meter, smart grid, remote reading

ŽIVOTOPIS

Matej Pilaš rođen je u Požegi 20. ožujka 1991. godine. Po završetku osnovne škole upisuje Tehničku školu u Požegi, smjer elektrotehničar. Nakon završene srednje tehničke škole upisuje se na Elektrotehnički fakultet u Osijeku na stručni studij gdje se opredjeljuje za smjer elektroenergetika. Po završetku stručnog studija upisuje razlikovnu godinu koju uspješno završava te se upisuje na diplomski studij elektroenergetike.