



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET SARAJEVO



UPOTREBA AMR/AMM SISTEMA U OTKRIVANJU KOMERCIJALNIH GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE

-ZAVRŠNI RAD 1. CIKLUSA STUDIJA-

Mentor:
Red. prof. dr Alija Muharemović, dipl.ing.el.

Kandidat:
Haris Čapelj

Sarajevo, 2017. godine



Univerzitet u Sarajevu
Naziv fakulteta/akademije _____
Naziv odsjeka i/ili katedre _____
Predmet _____

Izjava o autentičnosti radova

Seminarski rad, završni (diplomski odnosno magistarski) rad za I i II ciklus studija i integrirani studijski program I i II ciklusa studija, magistarski znanstveni rad i doktorska disertacija¹

Ime i prezime _____
Naslov rada _____
Vrsta rada _____
Broj stranica _____

Potvrđujem:

- da sam pročitao/la dokumente koji se odnose na plagijarizam, kako je to definirano Statutom Univerziteta u Sarajevu, Etičkim kodeksom Univerziteta u Sarajevu i pravilima studiranja koja se odnose na I i II ciklus studija, integrirani studijski program I i II ciklusa i III ciklus studija na Univerzitetu u Sarajevu, kao i uputama o plagijarizmu navedenim na web stranici Univerziteta u Sarajevu;
- da sam svjestan/na univerzitetskih disciplinskih pravila koja se tiču plagijarizma;
- da je rad koji predajem potpuno moj, samostalni rad, osim u dijelovima gdje je to naznačeno;
- da rad nije predat, u cjelini ili djelimično, za stjecanje zvanja na Univerzitetu u Sarajevu ili nekoj drugoj visokoškolskoj ustanovi;
- da sam jasno naznačio/la prisustvo citiranog ili parafraziranog materijala i da sam se referirao/la na sve izvore;
- da sam dosljedno naveo/la korištene i citirane izvore ili bibliografiju po nekom od preporučenih stilova citiranja, sa navođenjem potpune reference koja obuhvata potpuni bibliografski opis korištenog i citiranog izvora;
- da sam odgovarajuće naznačio/la svaku pomoć koju sam dobio/la pored pomoći mentora/ice i akademskih tutora/ica.

Mjesto, datum _____

Potpis _____

¹ U radu su korišteni slijedeći dokumenti: *Izjava autora* koju koristi Elektrotehnički fakultet u Sarajevu; *Izjava o autentičnosti završnog rada* Centra za interdisciplinarne studije – master studij „Evropske studije”, *Izjava o plagijarizmu* koju koristi Fakultet političkih nauka u Sarajevu



UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET U SARAJEVU

Završni rad – BSc

Mentor: Red. prof. dr. Alija Muharemović, dipl. ing. el.

Kandidat: Haris Čapelj

UPOTREBA AMR/AMM SUSTAVA U OTKRIVANJU KOMERCIJALNIH GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Obrazloženje i sadržaj rada

Elektroprivrede su prije par godina započele proces implementacije sistema tzv. „pametnih mjerenja“ u distribucijskim mrežama, u prvom redu sa AMR sistemima a zatim i AMM sistemima. Rezultat tog procesa je da su gotovo sve distribucijske trafostanice 20/0,4 kV implementirane u AMR sistem. Nakon implementacije AMR sistema, pokrenut je projekt implementacije AMM sistema koji obuhvaća krajnjeg korisnika mreže. Trenutačno postoji znatan broj kupaca koji su već implementirani u sistem daljinskog očitavanja (AMM), a njihov broj se konstantno povećava. Brojne su prednosti tako ustrojenog sistema pametnih mjerenja, a neke od tih prednosti su lakša detekcija i pronalaženje komercijalnih gubitaka električne energije. U radu treba opisati AMR i AMM sisteme, kao i konkretnu primjenu navedenih sistema u otkrivanju komercijalnih gubitaka električne energije u niskonaponskoj mreži.

Literatura

- [1] Iskraemeco, *AMR – sistem daljinskog očitavanja brojila*, kataloška dokumentacija, 2016. godina,
- [2] Ante Bilandžić, Lorenzo Belci, Milan Damianić, Danijel Damjanić, *Prijedlog razvoja sustava daljinskog očitavanja brojila u elektrodistribuciji Pula*, CIRED – hrvatski ogranak, Šibenik 2008.g.
- [3] <http://www.iskraemeco.ba>

Mentor:

Red. prof. dr. Alija Muharemović, dipl. ing. el.

Sažetak

Elektroenergetski sistem, u cjelini, predstavlja najveći sistem koji je čovjek izgradio za svoje doba. Kontinuiranom upotrebom sistema se nastoji unaprijediti sistem i koristiti ga jednostavnije. Jedno od glavnih pitanja unaprijeđenja i korištenja sistema što efikasnije jeste smanjivanje gubitaka električne energije.

U prvom poglavlju je opisan uvod u problematiku gubitaka električne energije u elektroenergetskom sistemu. Drugo poglavlje je bazirano na detaljnom opisu gubitaka električne energije, te njenoj podijeli. Nakon toga, u idućem poglavlju su opisani komercijalni gubici koji predstavljaju veliki udio u ukupnim gubicima električne energije, njihova kategorizacija i predložene metode za smanjivanje komercijalnih gubitaka električne energije. U četvrtom poglavlju su predstavljeni AMR/AMM sistemi koji se mogu koristiti u smanjivanju pomenutih komercijalnih gubitaka, dok u petom poglavlju je opisan način na koji se AMR/AMM sistemi mogu koristiti u smanjivanju komercijalnih gubitaka, kao i primjena sistema u praksi sa prikazom efektivnosti korištenja ovih sistema.

Ključne riječi i pojmovi: Gubici električne energije, komercijalni gubici, elektronska brojlila, pametne mreže, AMR/AMM sistem, kontrola, mjerenje.

Abstract

Power system, with all of its parts, represents the largest human-built system from the beginning of the human kind. With the continuous usage of the system, the goal is to upgrade the system and use it easier. One of the largest problems to solve is the losses of the electrical energy.

The first chapter is based on introducing the problems of the losses of electrical energy. The second chapter thoroughly explains the losses and its components. After that, the next chapter is based on commercial losses of electrical energy, which represent a great part of the losses in total, their categorization and suggested methods for reducing the commercial losses. AMR/AMM systems are explained in the fourth part as a way of reducing the commercial losses. In the fifth chapter you will get a brief explanation of the usage of AMR/AMM systems for reduction of the commercial losses, and its appliance in practice with the display of effectiveness in reducing the commercial losses of electrical energy.

Key words and concepts: Losses of electrical energy, commercial losses, electronic counters, smart grids, AMR/AMM system, control, measurement.

Sadržaj

1. Uvod.....	9
2. Gubici električne energije u sistemu.....	10
2.1. Vrste i uzroci gubitaka u mrežama	10
2.2. Kretanje gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama Bosne i Hercegovine	12
2.3. Osnovne vrste gubitaka električne energije	13
2.4. Gubici električne energije neovisni od opterećenja.....	14
2.5. Gubici električne energije ovisni od opterećenja	17
2.6. Mjere za smanjenje gubitaka energije i snage	20
3. Komercijalni gubici električne energije.....	22
3.1. Vrste komercijalnih gubitaka	22
3.2. Otkrivanje komercijalnih gubitaka električne energije analizom podataka i primjenom statističkih metoda	23
3.3. Metode smanjivanja komercijalnih gubitaka	23
3.4. Primjena računarskih tehnologija u smanjenju komercijalnih gubitaka	24
4. AMR / AMM sistem	25
4.1. Općenito o AMR/AMM sistemima.....	25
4.2. Struktura AMR/AMM sistema.....	26
4.3. Elektronska brojila	28
5. Primjena AMR/AMM sistema za detekciju komercijalnih gubitaka.....	31
5.1. Iskustva korištenja AMR/AMM sistema za otkrivanje komercijalnih gubitaka	31
5.2. Primjena AMR/AMM sistema za lociranje komercijalnih gubitaka	32
5.3. Proširenje upotrebe AMR/AMM sistema i preporuke	34
6. Zaključak.....	35
7. Literatura.....	36



Lista slika

Slika 2.1 Gubici korone na vazдушnim vodovima po kilometru dužine godišnje.....	15
Slika 2.2 Primjer dnevnog dijagrama potrošnje električne energije	17
Slika 2.3 Simbolički dijagrami opterećenja raznih autora	19
Slika 4.1 Komponente AMR/AMM sistema.....	27
Slika 4.2 Trofazno elektronsko brojilo marke EWG.....	29
Slika 4.3 Dijelovi savremenog elektronskog brojila	29
Slika 5.1 Mjerenje u transformatorskoj stanici	33



Lista tabela

Tabela 2.1 Broj kupaca po kategorijama potrošnje i udio u ukupnoj potrošnji	12
Tabela 2.2 Gubici snage u zavisnosti od vremenskih prilika	16
Tabela 4.1 Strujno – vremenska karakteristika prorade limitatora strujnog opterećenja	30
Tabela 5.1 Osnovni podaci i pregled gubitaka električne energije u periodu od 2012. godine do 2015. godine za niskonaponsku mrežu Osoje 2	33



Popis skraćenica

PVC – Poli(vinil – klorid).

DMS – Distribution Management System.

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition.

IJAREEIE – International Journal Of Advanced Research In Electrical, Electronics And Instrumentation Engineering.

AMR – Automated Meter Reading.

AMM – Advanced Meter Management.

AMI – Advanced Meter Infrastructure.

DSM – Demand Side Management.

PSTN – Public Switched Telephone Network.

GSM – Globile System For Mobile Communications.

GPRS – General Packet Radio Service.

TS – Transformatorska stanica.

NN – Niskonaponska (mreža).

PLC – Power Line Carrier.

1. Uvod

Život bez električne energije bi danas bio nezamisliv. U svakom sektoru koji su ljudi oformili (prehrambena industrija, farmaceutska industrija, ekonomija, medicina, socijalne institucije, umjetnost, itd.), jedna od osnovnih stvari koje su potrebne za nesmetano i pravilno funkcionisanje jeste električna energija. U početku, sa otkrivanjem i prvim razvojem elektroenergetike, primarni zadatak je bio pronaći način proizvodnje električne energije i sama isporuka te energije kupcima (korisnicima). U današnje vrijeme, kako je nauka i tehnologija znatno napredovala, te kako su ljudi pronašli rješenje kako konstanto isporučivati energiju, dalja istraživanja se baziraju na kvalitetu električne energije, kao i tehnoe ekonomska isplativost iste. Poznato je da prilikom isporuke električne energije dolazi do samih gubitaka iste, zbog nesavršenosti svih elemenata koji se koriste u opisanom procesu. Pojam gubitke električne energije sa pogleda elektrotehnike predstavlja neiskorištenu energiju koja bi se mogla usmjeriti na potrošače, da bi se što efektivnije koristila i da bi se smanjio potreban broj proizvođača za istu potražnju. Sa ekonomske tačke gledišta, gubici električne energije zapravo predstavljaju čisti finansijski gubitak, što bi svaka elektroenergetska kompanija htjela smanjiti. Kao podatak, prema [1], Sjedinjenje Američke Države su u 2013. godini na prijenos i distribuciju izgubile oko 22,23 triliona Wh električne energije na godišnjem nivou, što kada bi se pretvorilo u novčanu vrijednost, iznosilo oko 85 miliona \$. Zato se u današnje vrijeme pokušavaju otkriti načini smanjenja gubitaka električne energije, kao daljeg napretka u sektoru elektroenergetike.

Zadaća svakog elektroenergetskog sistema je neprekidna isporuka električne energije svojim potrošačima. Tokom proizvodnje, prijenosa, distribucije i same potrošnje električne energije, dolazi do njenih gubitaka. Uslijed raznih gubitaka električne energije, u vidu njenog pretvaranja u drugi oblik energije, magnetiziranja, stvaranja harmonijskih defekta i *flicker-a*, potrošači električne energije ne dobivaju dovoljno kvalitetnu energiju, što može uticati na njihov rad. Postoje razne vrste i podjele gubitaka električne energije, a u osnovi se može zaključiti da se gubici električne energije, prilikom same isporuke preko prijenosnih i distributivnih mreža, može podijeliti na gubitke električne energije koji su ovisni i neovisni od opterećenja. Smanjivanje gubitaka električne energije je primarna djelatnost u inženjerstvu, kako bi se smanjili gubici i uticaj na rad mreže i kvalitet isporučene energije.

Elementi koji služe za mjerenje potrošene/predate električne energije nazivaju se električna brojila. Njihova svrha jeste da mjere trenutne vrijednosti električne energije u pojedinim tačkama sistema, kako bi se utvrdilo stanje elektroenergetskog sistema (na primjer, da li sistem radi u predviđenim uslovima, koliki su gubici električne energije, tok snage kroz mrežu, itd.). U početku su za tu svrhu koristila razna brojila električne energije, koja su vršila elektromehaničku pretvorbu energije i u odnosu na poredbene skale, izvršavala mjerenja. U današnjici, sa razvojem elektronike, telekomunikacija i potreba potrošača, razvijena su elektronska brojila koja služe za mjerenje električne energije. Elektronska brojila su daleko efektivnija u odnosu brojila zasnovana na elektromehaničkoj konverziji, stoga se preporučuje da se takva brojila koriste za mjerenje parametara razmatranog elektroenergetskog sistema, spadajući u novije sisteme za ocjenu kvalitete električne energije.

2. Gubici električne energije u sistemu

Zbog nesavršenosti sistema i drugih faktora, postoji razlika između proizvedene i predate (korisne) električne energije krajnjim korisnicima. Energija koja se pretvorila u drugi oblik energije ili koja se iskoristila u neke druge (nepredviđene) svrhe naziva se gubitkom električne energije. Gubici električne energije mogu nastati na razne načine, te se prema tome mogu kategorizirati. Vrste gubitaka električne energije, kao i načini na koji se ti gubici mogu spriječiti, su opisani u ovom poglavlju.

2.1. Vrste i uzroci gubitaka u mrežama

Prema uzroku i mjestu nastajanja, gubitke u elektroenergetskim mrežama možemo podijeliti u tri vrste:

- Gubici koji nastaju uslijed zagrijavanja provodnika kada kroz njih protiče struja – *termogeni gubici (Jullovi gubici)*.
- Gubici koji nastaju uslijed magnetiziranja okoline transformatora ili bilo kojih drugih elemenata sa magnetnim karakteristikama, nastalim kao posljedica proticanja struje – *gubici magnetiziranja*.
- Gubici koji nastaju uslijed nesavršenosti izolacije provodnika pod naponom – *gubici odvodnosti (Struje curenja)*.

Udio termogenih gubitaka je najveći od sve 3 vrste, te je on ovisan o kvadratu struje opterećenja i električne otpornosti provodnika kroz koji teče struja.

$$I(t) = \frac{P(t)}{U(t) \cdot \cos\varphi(t)} \quad (2.1.)$$

$$\Delta P = I^2(t) \cdot R \quad (2.2.)$$

$$\Delta W = R \int_0^t I^2(t) \cdot dt \quad (2.3.)$$

$$R = \frac{l}{\kappa \cdot q} \quad (2.4.)$$

Pri čemu su:

- I – Jačina struje u (A) (amperima).
- P – Aktivna snaga u (W) (watima).
- U – Napon u (V) (voltima).
- $\cos\varphi$ - faktor snage.
- t – vrijeme u (s) (sekundama).
- ΔP - gubici aktivne snage u (W) (watima).
- R – otpornost voda u (Ω) (ohmima).
- ΔW - gubici energije u (J) (Jullima).
- l – dužina provodnika u (m) (metrima).
- κ - specifična električna provodnost u (S/m) (Siemens/metar).
- q – poprečni presjek voda u (m) (metrima).

Iz relacija (2.1.), (2.2), (2.3) i (2.4.), može se zaključiti da se termogeni gubici u distributivnim mrežama mogu smanjiti na tri načina:

- Povećanjem napona distributivne mreže (smanjenjem struje opterećenja koja se prenosi).
- Povećanjem faktora snage (sprečavanje prenosa reaktivne snage).
- Smanjenjem otpora provodnika, tako što se povećava njegova provodnost ili poprečni presjek, ili smanjuje dužina prijenosa distributivnom mrežom.

Pošto u distributivnim mrežama, u kojima su zbog nižeg naponskog nivoa (tačnije 10, 20 ili 35 [kV]) povećani gubici električne energije, potrebno je posebno pažnju posvetiti smanjenju gubitaka električne energije. Kada se govori o termogenim gubicima, zbog velikog broja opterećenja, te njihovih učestalih promijena i prostorno-različitih raspodijela, rigorozan je proračun stvarnih termogenih gubitaka, te je praktički nemoguć. Za proračune ove vrste gubitaka električne energije se koriste i razvijaju različite metode.

Za razliku od termogenih gubitaka, gubici magnetiziranja praktički neovise o promjeni opterećenja. Pošto ovi gubici praktično nastaju samo zbog transformatora u mreži, jer se očituju kao gubici snage koja se troši za magnetiziranje, ova vrsta gubitaka se u proračunima i dimenzioniranju mreže posmatra kao stalni gubici energije (također, veoma mali udio energije se troši uslijed magnetiziranja mjernih uređaja, releja i svih uređaja, koji pored transformatora, troše energiju za magnetiziranje). Smanjenje gubitaka ove vrste energije se postiže tako što se izbjegavaju nepotrebne transformacije energije, te i optimalno opremanje mreže mjernim i zaštitnim uređajima.

Gubici uslijed odvodnosti predstavljaju najmanji udio od tri navedene vrste gubitaka električne energije u distributivnim mrežama. U ovu vrstu gubitaka spadaju gubici uslijed korone, dielektrični gubici i gubici uslijed nesavršenosti izolacije. Obično se gubici uslijed korone, dielektrični gubici i gubici uslijed nesavršene izolacije mogu zanemariti, tako da se i ova vrsta gubitaka električne energije može zanemariti. Izuzetak ovog zanemarenja jeste u distributivnim – sredjenaponskim mrežama, koji su izvedeni kablovima sa PVC izolacijom. Ovisnost gubitaka električne energije uslijed odvodnosti ovisi o samoj kvaliteti korištenog materijala za izradu provodnika, izolatora i ostalih dijelova elektroenergetskog sistema. Sa razvojem tehnologije i korištenjem unaprijeđenih elemenata i materijala, gubici uslijed odvodnosti se smanjuju [2].

Za pravilnu analizu gubitaka električne energije u distributivnim mrežama se u današnjici koriste različiti DMS sistemi (*Distribution Management System*), kao i drugi, slični, sistemi za mjerenje i obradu podataka (SCADA sistem). Pošto bi analiza svih podataka proizvedene i isporučene električne energije analitičkim metodama, koji se dobivaju mjerenjem na velikom broju mjesta u elektroenergetskom sistemu, bila dugotrajna i neefikasna, koriste se navedeni sistemi koji se integrišu u mrežu i koriste za obradu velikog broja podataka u kratkom vremenu. Mada, u naprednijim elektroenergetskim sistemima u odnosu na Bosnu i Hercegovinu, koriste se moderniji i unaprijeđeniji sistemi, koji sa većom preciznošću i brzinom izvršavanja obavljaju analizu podataka i signalizaciju o stanju sistema. O takvim sistemima će biti riječi u 4. poglavlju.

2.2. Kretanje gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama Bosne i Hercegovine

U 2012. godini je objavljen naučni list „Bosanskohercegovačka elektrotehnika“, u kojem je obavljena analiza čitavog elektroenergetskog sistema u Bosni i Hercegovini. U radu je izvršena analiza proizvodnje i potrošnje za 2010. godinu. Zabilježeno je da je u 2010. godini povećana potražnja električne energije, naročito kod velikih industrijskih potrošača u oblasti metalske i hemijske industrije. U toj godini je ostvarena potrošnja od 12,26 (TWh), što je predstavljalo pomenuto povećanje za 6% u odnosu na prethodnu godinu. Pri tome, zabilježen je blag porast u cijenama električne energije, koji prati dalji trend povećanja cijene električne energije radi ulaganja u smanjenje CO₂ emisije i ostalih štetnih plinova, ulaganje u obnovljive izvore energije, interkonektivna trgovina električnom energijom, itd.

Tabela 2.1 Broj kupaca po kategorijama potrošnje i udio u ukupnoj potrošnji

	EP BiH	ERS	EP HZHB	Komunalno Brčko	Ukupno	Udio u ukupnoj potrošnji
110 (kV)	5	8	3		16	24%
35 (kV)	48	38	3	1	90	5%
10 (kV)	612	690	140	22	1464	12%
Domaćinstva	637086	487965	169851	30309	1325211	43%
Ostala potrošnja	52857	35601	14689	4634	107781	15%
Javna rasvjeta	5225	785	1611		7621	2%

Prema tabeli 2.1 može se zaključiti da 41% ukupne električne energije preuzimaju kupci na 110 (kV), 35 (kV) i 10 (kV) mreži. Kupci na 10 (kV) strani su preuzeli 1,32 (TWh) električne energije na godišnjem nivou, što predstavlja porast potražnje električne energije u odnosu na prethodnu godinu za 8%. Iz ovih mjerenja, mogu se donijeti zaključci o distributivnim gubicima. Prema podacima koji su izloženi u [3], gubici električne energije u distributivnoj mreži za 2010. godinu su iznosili 1,26 (TWh), što predstavlja 18,45% električne energije u odnosu na distributivnu potrošnju.

$$C_u = P_g \cdot c_p = 1,26 \cdot 10^{12} \cdot 12,11 \cdot 10^{-3} = 152586000 \text{ KM} \quad (2.5.)$$

Gdje su:

- C_u – Novčani iznos ukupnih gubitaka električne energije u distributivnoj mreži.
- W_g – Ukupna električna energija gubitaka u distributivnoj mreži.
- c_p – Prosječna cijena električne energije koju su kupci plaćali u 2010. godini

(iznosi $12,11 \left(\frac{f}{kWh} \right)$).

Prema dobivenom rezultatu iz relacije (2.5.), može se zaključiti da je u 2010. godini utrošeno električne energije na gubitke u iznosu od 152 miliona KM, što nalaže da se sa

smanjivanjem gubitaka električne energije u distributivnoj mreži (što je potrebno, jer za moderne distributivne mreže, 18,45% predstavlja velike gubitke), može se električna energija efektivnije iskoristiti i smanjiti ukupnu cijenu proizvodnje, te se može ostvariti i dalje ulaganje u proširivanje i razvoj distributivne mreže.

2.3. Osnovne vrste gubitaka električne energije

Prema načinu nastanka, gubitke električne energije i snage možemo svrstati u dvije grupe:

- Tehnički gubici.
- Komercijalni gubici.

Prvu grupu čine gubici koji su posljedica stavljanja postrojenja pod napon i proticanja električne struje kroz postojeću mrežu. Veličina ovih gubitaka zavisi od električnih karakteristika elemenata električne mreže i režima proticanja električne struje kroz sva postrojenja koja se nalaze između proizvođača i potrošača električne energije. U ovom poglavlju će biti detaljno opisani tehnički gubici.

Drugu grupu, pri ovakvoj podijeli, čine gubici koji nastaju na osnovu razlike evidentiranih veličina nabavljenje i predate energije u određenim vremenskim razdobljima, a javljaju se kao posljedica nesavršenosti organizacije eksploatacije sistema, nesavršenosti uređaja za registraciju toka električne energije, te utrošene električne energije prilikom kvarova na postrojenjima. Više o komercijalnim gubicima će biti riječi u 3. poglavlju.

Tehnički gubici, sa stanovišta uzroka nastajanja, mogu se podijeliti na:

- Gubitke nezavisne od opterećenja – *gubici praznog hoda*.
- Gubitke zavisne od opterećenja – *promjenljivi gubici*.

Gubici nezavisni od opterećenja se pojavljuju u pojedinim elementima elektroenergetskih postrojenja ili uređaja bez obzira da li potrošači koriste energiju ili ne. Gubici praznog hoda nastaju u vremenu kada se postrojenje ili uređaj priključuje na napon i oni su konstantni po intenzitetu za sve vrijeme trajanja napona.

Gubici zavisni od opterećenja se javljaju u pojedinim elementima elektroenergetskih postrojenja ili uređaja isključivo u direktnoj ovisnosti o potražnji za snagom, koju zahtijevaju potrošači. Ovi gubici električne energije nastaju u trenutku kada potrošači potražuju snagu, neovisno da li su postrojenja i uređaji bili prije toga već pod naponom. Njihov intenzitet nije vremenski konstantan, već se mijenja sa kvadratom traženog opterećenja u (A) (amperima).

Gubici električne energije prema mjestu nastanka javljaju se:

- Kao gubici u vazдушnim i kablovskim vodovima zavisni od opterećenja.
- Kao stalni, odnosno od opterećenja neovisni gubici u jezgri transformatora snage i promjenljivi, odnosno od opterećenja ovisni, gubici u namotajima transformatora.
- Kao stalni dielektrični gubici u kablovskim vodovima i kondenzatorima.
- Kao odvodni gubici na izolatorskim lancima vazдушnih vodova.
- Kao gubici korone u nadzemnim visokonaponskim vodovima.
- Kao stalni i promjenljivi gubici u strujnim i naponskim mjernim transformatorima, u naponskim i strujnim namotajima mjernih instrumenata i releja, transformatorima za zvonca, itd. [2].

2.4. Gubici električne energije neovisni od opterećenja

Ovi gubici, kako je već definisano, predstavljaju gubitke praznog hoda mreže i oni se u elementima mreže javljaju tokom rada pogona, za vrijeme u kojem se elementi nalaze pod naponom, a pojavljuju se u slijedećim sklopovima i elementima mreže:

- Vazдушnim vodovima 110 (kV).
- Transformatorskim stanicama 110/35 (kV) i 110/20(10) (kV).
- Vazдушnim i kablovskim vodovima (kV).
- Transformatorskim stanicama 35/10 (kV).
- Vazдушnim i kablovskim vodovima 20 i 10 (kV).
- Transformatorskim stanicama 10(20)/0,4 (kV).
- Mjernim uređajima i instrumentima.

U ovu vrstu gubitaka električne energije spadaju gubici praznog hoda kod transformatora snage, naponskih transformatora, dielektrični gubici u kablovima i kondenzatorima, gubici korone i odvodnih struja u vazдушnim vodovima, gubici praznog hoda u naponskim namotajima brojila, releja, mjernih instrumenata, itd.

U principu, gubici električne energije i snage koji su neovisni od opterećenja mogu se računati na veoma jednostavan način za bilo koji vremenski period. Intenzitet tih gubitaka ovisi o broju, snazi i vrsti transformatora i drugih aparata i uređaja koji u svojoj funkciji troše energiju za magnetiziranje. Stoga je za snižavanje ove vrste gubitaka bitno izbjegavanje nepotrebnih transformacija i optimalno opremanje postrojenja mjernim i zaštitnim uređajima.

Stalni gubici električne energije i snage u vodovima nastaju priključenjem voda pod napon i uglavnom su neovisni od opterećenja koja se prenose vodom. Kaže se uglavnom, iz razloga što sa promjenom opterećenja dolazi do izvjesnih promjena napona na vodu, a ovi gubici su direktno zavisni od veličine napona (sa raznim fluktuacijama može doći i do promjene napona na vodu, koja u određenim granicama može mijenjati stalne gubitke). Kao što je već rečeno, gubici praznog hoda su gubici uslijed korone i gubici uslijed odvoda preko izolatorskih lanaca.

Korona je posljedica razlike u jačini električnog polja na vanjskoj površini provodnika i probojne čvrstoće okolnog zraka, a manifestuje se u obliku svjetlucanja blagom ljubičastom svjetlošću praćenom siktavim zvukom i mirisom ozona. Najveće djelovanje korone na gubitke javlja se u pogoršanim vremenskim uslovima (kiša, inje, magla, itd.). Gubitke električne energije uslijed korone po kilometru dužine voda moguće je odrediti aproksimativno primjenom slijedeće jednačine:

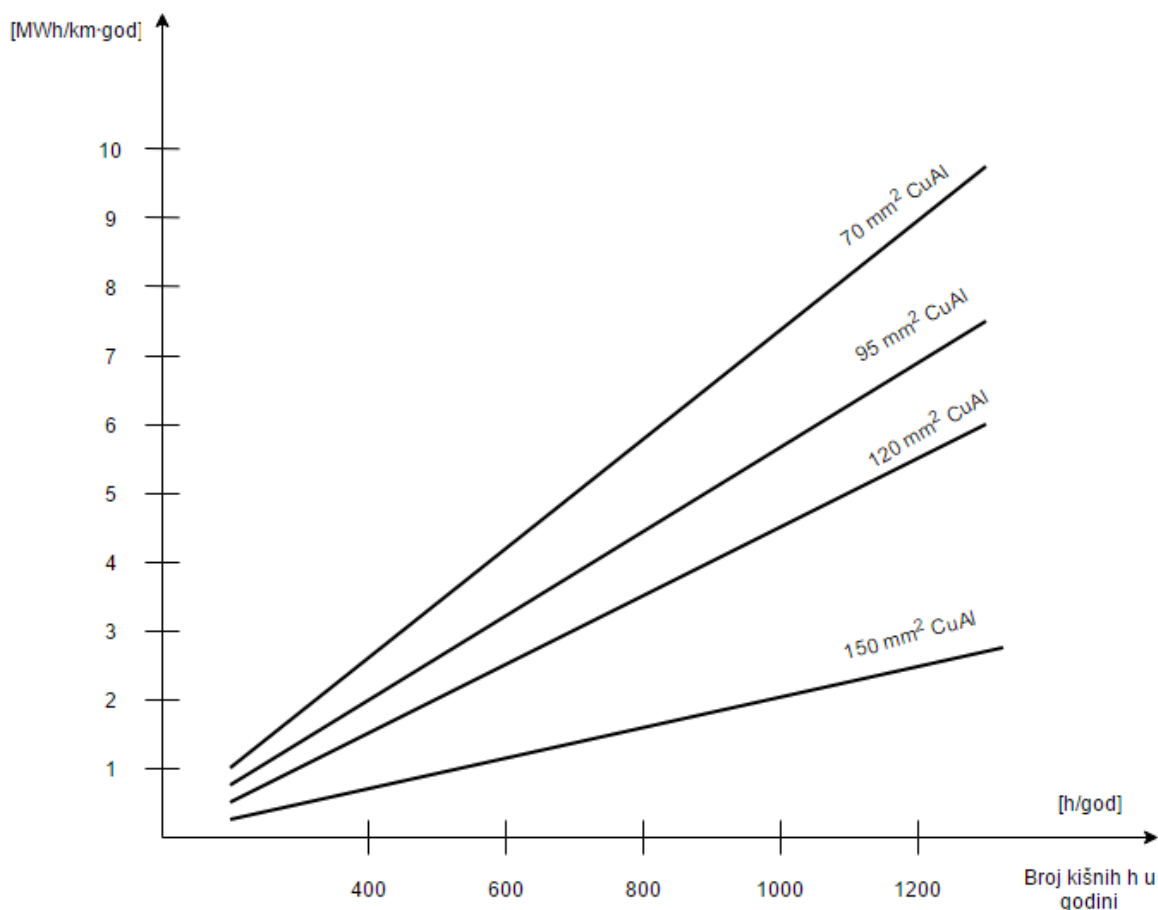
$$P = 4,44 \cdot 10^{-4} \cdot k_r (k_r - k_d) \cdot f \cdot r^2 \left(\ln \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 10^3 \cdot k_r}{f \cdot r} \right) - 1 \right) \quad \left(\frac{kW}{km} \right) \quad (2.6.)$$

$$k_r = 10,4 \cdot 10^3 \frac{U \cdot C_p}{r} \quad \left(\frac{kV}{cm} \right) \quad (2.7.)$$

Pri čemu su:

- k_r – Jačina električnog polja po površini.
- U – Napon u (V) (voltima).
- k_d – probojna čvrstoća (jačina električnog polja kroz vazduh).

- f – frekvencija u (Hz) (hercima).
- r – poluprečnik provodnika u [cm] (centimetrima).
- C_p – pogonski kapacitet u $\left(\frac{F}{km}\right)$.



Slika 2.1 Gubici korone na vazдушnim vodovima po kilometru dužine godišnje

Gubici uslijed odvodnosti u izolatorskim lancima zavise od samog stanja izolatora, tj. od oštećenja, zaprljanja, kao i od atmosferskih prilika. Zaprljanje je povezano sa rosom i maglom, te slične pojave znatno umanjuju izolacione sposobnosti na površini izolatora, uslijed čega dolazi do prelaza struje od provodnika (koji je pod naponom) prema uzemljenim dijelovima. Kod vazдушnih vodova nazivnog napona 10 (kV), gubici električne energije neovisni o opterećenju nastaju pretežno uslijed odvodnih struja na izolatorima. Ovi gubici električne energije nisu veliki, ali njihov značaj je naglašen isključivo zbog velike dužine vodova ove vrste. Grafik sa slike 2.1 je dobiven sa aproksimativnim proračunom, korištenjem relacija (2.6.) i (2.7.).

Tabela 2.2 Gubici snage u zavisnosti od vremenskih prilika

Vrsta pojave	Iznos izgubljene snage $\left(\frac{W}{\text{izolator}}\right)$
<i>Suhi zrak</i>	0,05
<i>Slaba magla</i>	0,15
<i>Snježne padavine (temperatura <0 °C)</i>	0,25
<i>Jako nevrijeme sa kišom</i>	1,00
<i>Lagana dugotrajna kiša</i>	1,10
<i>Prolom oblaka sa olujom</i>	1,50
<i>Jaka kiša sa snijegom i olujom</i>	2,20

Izračunavanje gubitaka praznog hoda vodova je dosta obiman posao. Ovo se prije svega odnosi na izračunavanje gubitaka uslijed korone kao i gubitaka uslijed odvodnosti na izolatorskim lancima. Međutim, ako se uzme u obzir da ovi gubici predstavljaju manji udio u ukupnoj sumi gubitaka snage i energije u jednoj mreži, onda njihovo tačno određivanje i nije od izuzetnog značaja. Pored toga, uzorci nastanka ovih gubitaka su takve prirode da se teško mogu preduzeti mjere za njihovo smanjenje, koje bi bile opravdane (cilj analize gubitaka je da se pored uzorka nastanka utvrde i mjere koje bi trebalo preduzeti da bi se gubici snizili).

Gubici snage i energije uslijed pojave korone su faktor koji treba uzimati u obzir na nadzemnim vodovima nazivnog napona 110 (kV) i više. Na vodovima nižih napona ovi gubici se u praktičnim proračunima mogu zanemariti. Također se mogu zanemariti i gubici praznog hoda uslijed odvodnosti na izolatorima i izolatorskim lancima vazdušnih vodova.

Gubici praznog hoda u transformatorima nastaju kao posljedica uzimanja struje praznog hoda, koja zagrijava namotaje transformatora i troši se na magnetiziranje jezgre. Pri praznom hodu, transformator ne vrši koristan rad. Prema tome, snaga praznog hoda troši se samo na pokriće gubitaka praznog hoda. Praktički se ti gubici svode na gubitke u željezu, jer su gubici u bakru primarnog namotaja mali zbog male vrijednosti struje praznog hoda. Gubici u željezu (jezgri) transformatora se sastoje iz dva dijela. Prvi dio predstavlja gubitke histereze, a drugi gubitke uslijed vrtložnih struja. Gubici histereze su rezultat utrošenog rada za magnetiziranje, te se fizikalno pojavljuju u obliku zagrijavanja.

Gubici praznog hoda u kablovima predstavljaju dielektrične gubitke, koji nastaju iz razloga što izolacioni materijal upotrebljen kao dielektrik nije idealan izolator, što znači da posjeduje određenu provodnost te struja ipak protiče kroz dielektrik. Ovo predstavlja dodatnu radnu komponentu koja se u dielektriku pretvara u toplotu, uzrokujući pri tome gubitke električne energije. Po pravilu, gubici u dielektriku su mali, međutim oni rastu sa temperaturom zagrijavanja dielektrika, jer se izolacioni otpor dielektrika smanjuje. Kod kablova je značajan faktor uticaja na količinu gubitaka osim presjeka i naponskog nivoa – dužina kablova u pogonu. Na isti način se opisuju i gubici u kondenzatorskim baterijama, koji se u mrežu priključuju radi regulacije faktora snage (snižavanje prijenosa reaktivne energije). Kablovi u mreži se, radi izolacije, ponašaju kao podužni kapaciteti, tako da se za određivanje gubitaka električne energije uslijed ovih elemenata koriste iste metode i relacije.

Naponski transformatori imaju funkciju da neprekidno registriraju sve one događaje, čije je poznavanje potrebno za vršenje nadzora nad pogonom. Uključivanje naponskih transformatora u elektroenergetska postrojenja ima za posljedicu stalnu potrošnju električne energije, koja se

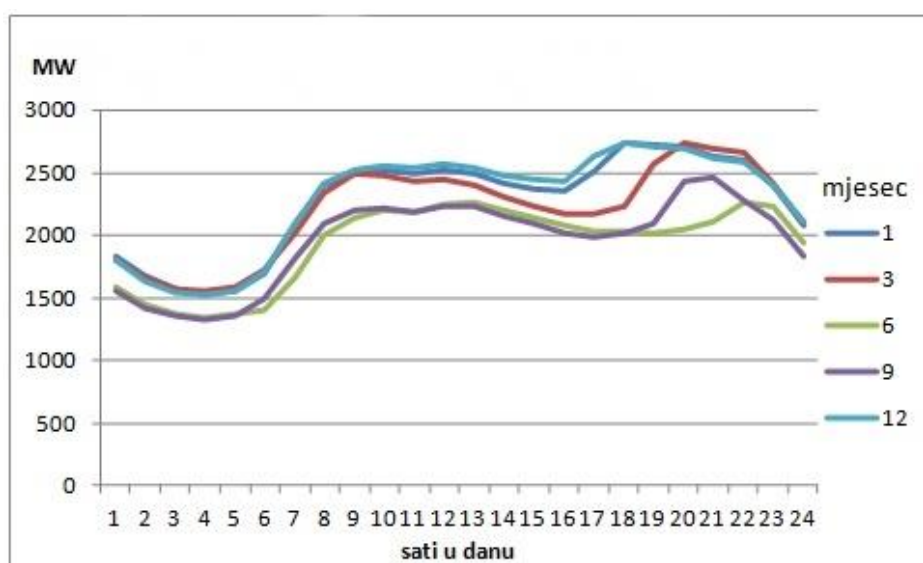
obrazuje iz gubitaka električne energije u samom transformatoru. Ovi gubici su istog karaktera kao i gubici u praznom hodu kod transformatora snage, tj. to su gubici u magnetnom kolu uslijed pojave histerezisa i vrtložnih struja.

Kod brojila, gubici električne energije neovisni o opterećenju predstavljaju vlastitu potrošnju u naponskom namotaju. Koliko god su gubici u brojilima mali, veoma je veliki broj sati trajanja pogona i veoma je veliki broj brojila u pogonu. Ti gubici iznose, za monofazna brojila od 0,5 (W) do 0,8 (W) po brojilu, dok su za trofazna brojila oko 2 (W) po brojilu [2].

2.5. Gubici električne energije ovisni od opterećenja

Gubici električne energije i snage zavisni od opterećenja pojavljuju se na svim mjestima prolaska električne energije od izvora do potrošača. Ove gubitke prouzrokuju struje opterećenja i trenutna veličina ovih gubitaka zavisi od odgovarajućih trenutnih vrijednosti ovih struja. Ovi gubici se mijenjaju sa kvadratom jačine struje i kod vodova su to čisto toplotni gubici, a kod transformatora gubici kratkog spoja (koji, pored čisto toplotnih – strujom uzrokovanih, obuhvataju i dodatne gubitke ovisne o intenzitetu struje). Izrazita mjesta nastajanja gubitaka zavisnih od opterećenja su vodovi i kablovi, transformatori snage, strujni transformatori, kao i strujni namotaji mjernih instrumenata priključenih na strujne transformatore. Proračun gubitaka energije i snage zavisnih od opterećenja je veoma složen i povezan sa poteškoćama, pošto opterećenje pojedinih elemenata u mreži mijenja ne samo tokom godine, već i tokom dana.

Jedan od efektivnih načina pretpostavke gubitaka električne energije je koristeći se dijagramom opterećenja za određeni period (dnevni, sedmični, mjesečni, itd.). Iako se dijagram opterećenja primarno koristi u planiranju proizvodnje električne energije, on se efektivno može koristiti za analizu i pretpostavku gubitaka električne energije, što se za dalje istraživanje može koristiti za modifikaciju samog prijenosa i distribucije energije, kao i potrošača.



Slika 2.2 Primjer dnevnog dijagrama potrošnje električne energije

Za određivanje gubitaka električne energije u bilo kojem elementu mreže potrebno je poznavati ne samo veličinu maksimalnog opterećenja tog elementa, nego i karakter promjene tog opterećenja u toku cijelog razmatranog vremenskog perioda. Na taj način, da bi se tačno odredila veličina gubitaka električne energije u bilo kojem elementu mreže, potrebno je imati dijagram promjene opterećenja za cijeli vremenski period. Kako je opterećenje pojedinih elemenata u mreži podvrgnuto stalnim promjenama, određivanje gubitaka energije koji zavise od opterećenja u toku razmatranog vremenskog perioda povezano je sa velikim poteškoćama.

Koliki je uticaj promjene opterećenja na veličinu gubitaka električne energije može se vidjeti iz slijedeća tri ekstremna slučaja:

- a) Slučaj konstantnog opterećenja.
- b) Slučajno konstantnog opterećenja za polovinu vremenskog perioda iz slučaja a), ali sa istom količinom energije.
- c) Slučaj promjenjivog opterećenja sa sa promijenjenim intenzitetima na svakoj trećini perioda za vrijeme isto kao u slučaju a), ali sa istom količinom energije.

Nakon provedene analize rezultata, iako se radilo u sva tri slučaja sa istom količinom energije, no sa drugačijim intenzitetima opterećenja, dobivaju se različite vrijednosti gubitaka električne energije. Minimalni gubici nastaju kod konstantnog opterećenja, tj. slučaj a), a maksimalni gubici nastaju u slučaju promjenjivih opterećenja, tj. slučaj c). Iz ovoga slijedi zaključak da veličina gubitaka električne energije zavisi isključivo o krivoj trajanja opterećenja, što znači da se nastojanjem dovođenja dijagrama opterećenja približno konstantnoj vrijednosti mogu smanjiti gubici električne energije.

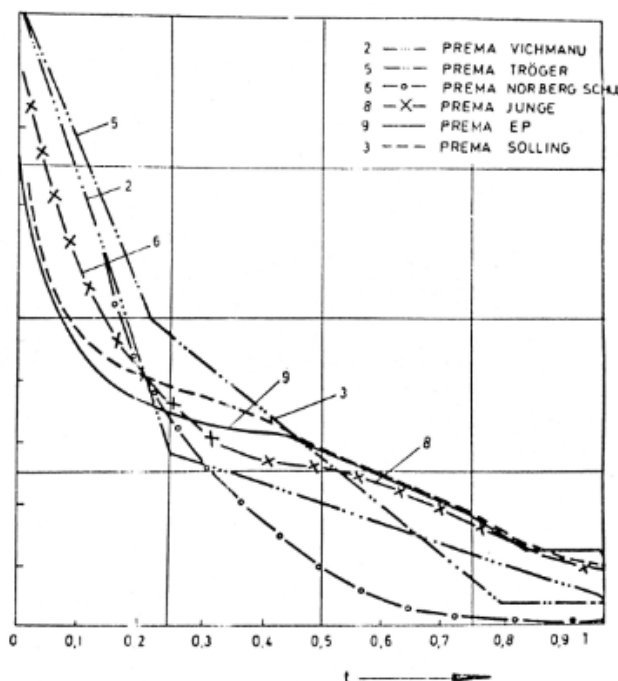
Gubici električne energije se mogu odrediti na osnovu faktora gubitaka aktivnog opterećenja, koji je izveden na osnovu matematičkog izraza za simbolički dijagram trajanja opterećenja prema Soschinskom i pojednostavljen od Jungeovog modela. Faktor gubitaka ima oblik:

$$g_p = \frac{m_p^2 \cdot (2 + m_p^2)}{1 + 2m_p} \quad (2.8.)$$

$$m_p = \frac{W}{P_v \cdot T} \quad (2.9.)$$

Gdje su:

- g_p - Faktor gubitaka električne energije.
- m_p - Faktor aktivnog opterećenja.
- W – Utrošena električna energija.
- T – Period trajanja opterećenja.
- P_v – Nazivna snaga opterećenja.



Slika 2.3 Simbolički dijagrami opterećenja raznih autora

Relacije (2.8.) i (2.9.) se koriste za dobivanje simboličkog dijagrama opterećenja prikazanog na slici 2.3. (varijacije dijagrama postoje uslijed korištenja različitih metoda, kao što je prikazano na legendi, priloženoj uz dijagram).

Gubici električne energije koji nastaju u vodovima prilikom prolaska struje opterećenja su vezani određenim uzajamnim odnosom sa gubicima snage, a ovi sa svoje strane sa gubicima napona. Obzirom da se mjerenjem daleko lakše može odrediti pad napona nego gubitak snage, tako i gubitak električne energije može ustanoviti uzajamne odnose između relativnih gubitaka napona i relativnih gubitaka snage (ovo je prilično interesantno za proračun gubitaka u niskonaponskim mrežama).

Poslije gubitaka u vodovima, gubici u energetskim transformatorima čine najveći dio gubitaka energije i snage u distributivnim mrežama. Gubici u transformatorima zavisni od opterećenja su gubici u namotajima transformatora, ili kako se još često zovu, gubici u bakru. Nominalnu vrijednost gubitaka u bakru (vrijednost pri nominalnom opterećenju transformatora) daju proizvođači u katalogima. Ukoliko se poznaje vrijednost gubitaka u bakru koji daju proizvođači, gubici snage u bakru pri ma kakvom opterećenju se mogu izračunati na osnovu izraza:

$$\Delta P_{cu} = \Delta P_{cun} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \quad (2.9.)$$

Gdje je:

- S_n – Nominalna prividna snaga.
- S – Snaga opterećenja transformatora.
- ΔP_{cun} – Nominalna snaga gubitaka u bakru (daju proizvođači u katalogima).

Pored već navedenih gubitaka u vodovima i energetske transformatorima javljaju se još gubici u mjernim uređajima i instrumentima i mjernim transformatorima zavisnih od opterećenja [2].

2.6. Mjere za smanjenje gubitaka energije i snage

Među mjerama koje omogućuju smanjenje nivoa gubitaka u distributivnim mrežama, mogu se uočiti dvije grupe. Prva grupa su one koje zahtijevaju određene zahvate u mreži u cilju njenog poboljšanja i vezane su za određena investiciona ulaganja, dok se u drugu grupu mogu svrstati one mjere koje ne traže nikakva investiciona ulaganja i efekti smanjenja gubitaka se postižu odgovarajućim izmjenama u načinu eksploatacije mreže.

Tako, u prvu grupu (mjere sa potrebnim investicionim ulaganjima) mogu se svrstati načini smanjenja gubitaka električne energije i snage:

- Povećanje presjeka provodnika, njegovom zamjenom i dovođenje u sklad sa prenošenim snagama.
- Interpolacija novih transformatorskih stanica u mrežu.
- Kompenzacija reaktivne snage.
- Korištenje trofaznih vodova.
- Prelazak na viši naponski nivo.
- Korištenje direktne transformacije 110/x (kV).
- Zamjena stare opreme novom, sa manjim gubicima u eksploataciji.
- Povećanje broja izvoda iz transformatorskih stanica u cilju rasterećenja preopterećenih vodova.

U drugu grupu ovih mjera (koje ne zahtijevaju posebna ili pak nikakva investiciona ulaganja) spadaju one kao što su:

- Poboljšanje naponskih prilika.
- Kontrola dijagrama opterećenja i što ravnomjernije korištenje elektroenergetskih kapaciteta.
- Simetriranje opterećenja i vođenje računa o rasporedu tereta između pojedinih faza (naročito u 0,4 (kV) mreži).
- Još u fazi projektovanja iznalaženje optimalnih snaga transformatora, kao i najbolja lokacija.
- Što ravnomjernije opterećenje transformatorskih stanica, koje napajaju određeni konzumi (konzum – grupa potrošača).
- Vođenje računa o ekonomičnom paralelnom radu transformatora u jednoj transformatorskoj stanici.

Za najbolji efekat smanjenja gubitaka električne energije bi se trebale koristiti sve navedene metode, no to ekonomski nije isplativo, jer su prevelika ulaganja, a i to bi značilo da u određenim vremenskim periodima, razni konzumi ostaju bez napajanja, ili se dodatnu opterećuju određeni dalekovodi u mreži, što skraćuje njihov životni vijek. Najisplativija metoda kojom se može uticati na sniženje gubitaka električne energije i snage jeste unaprijed planiranje i dobra analiza prilikom projektiranja elektroenergetskih mreža, kao i optimiziranje napajanja potrošača tako da se dobiva što konstantniji dijagram potrošnje (u biti, korištenje metoda iz



navedene druge grupe). Metode iz prve grupe se mogu primjenjivati nakon isteka životnog vijeka pojedinih elemenata ili same rekonstrukcije sistema, da bi se optimizirala potrošnja električne energije. Naravno, ova metoda se može koristiti i prilikom planiranja novih kapaciteta i pogona, ali se treba uzeti i u obzir tehno-ekonomska opravdanost problema (da li zaista bolji i skuplji uređaji dovoljno smanjuju gubitke električne energije tako da bi se uštedila električna energija u odnosu na izgubljenju). To je samo činjenica koliko je planiranje i održavanje elektroenergetskog sistema kompleksan posao, koji zahtjeva detaljne obrade podataka i proračune, radi što efikasnijeg i profitabilnijeg obezbjeđivanja električne energije krajnjim potrošačima [2].

3. Komercijalni gubici električne energije

3.1. Vrste komercijalnih gubitaka

Pod pojmom komercijalnih gubitaka električne energije podrazumijevaju se gubici koji nastaju na osnovu razlike evidentiranih veličina nabavljene i predate električne energije, i to je:

- Neregistrovana potrošnja električne energije.
- Razlike u registriranju potrošnje zbog tolerancije mjernih uređaja.
- Potrošnja električne energije pri kvarovima na postrojenjima.

Neregistrovana potrošnja električne energije javlja se isključivo na mreži napona 0,4 (kV). Uzrok je u neovlaštenoj potrošnji potrošača bilo da na taj način potrošač izbjegava plaćanje prilikom regularne isporuke, bilo da se na postojeću mrežu priključio bez dozvole (na taj način oštećujući isporučioca električne energije). U ovu grupu treba uvrstiti i one potrošače koji neredovno plaćaju utrošenu električnu energiju, koristeći se pri tome pogodnostima načina naplate.

Razlika u registriranju potrošnje električne energije zbog tolerancije mjernih uređaja i tačnosti baždarenja može biti pozitivna i negativna kod širih područja sa velikim brojem potrošača, te razlike ne dolaze do izražaja, pošto se pozitivne i negativne razlike međusobno rekompensiraju, a ukupna razlika u odnosu na isporučenu energiju je zanemariva. Ukoliko se razmatra samo dio mreže, primjerice dio niskonaponske mreže, mogu se pojaviti granični slučajevi sa izraženim negativnim ili pozitivnim iznosom razlike.

Određena količina električne energije utroši se i kod raznih pogonskih događaja, kao što su zemljospojevi i kratki spojevi. Količina energije koja se tom prilikom utroši zavisi o učestalosti takvih kvarova, o vrsti kvara i o vremenu koje je potrebno do prorade zaštitnih uređaja. Kada se rezimira analiza komercijalnih gubitaka, odnosno gubitaka koji ovise o vanjskim uticajima, može se konstantovati:

- Da ovi gubici egzistiraju u obliku veoma varijabilnih veličina.
- Da ih je gotovo nemoguće odrediti računskim putem.
- Da mogu imati negativan ili pozitivan oblik.
- Da su po iznosu takvi da se u analizi gubitaka treba s njima računati [2].

Jedini i dosta tačan put da bi se odredili gubici električne energije i snage ove vrste je, da se u prvo, što je moguće tačnije, odrede tehnički gubici, da se oni odbiju od ukupnih gubitaka, a razliku onda čine komercijalni gubici. Ukupni gubici se određuju na osnovu mjerenja ukupne proizvedene i potrošene energije u elektroenergetskom sistemu. Podaci o ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji se mogu dobiti kao algebarska suma svih izmjerenih vrijednosti električne energije na izlazima iz elektrana (pogona) za proizvodnju električne energije, dok se ukupna potrošena energija može odrediti na osnovu algebarske sume svih mjerenja utrošene električne energije na mjestima gdje se ista troši. Razlika ukupne proizvedene i utrošene električne energije predstavlja ukupne gubitke električne energije. Određivanje ukupne utrošene električne energije je veoma teško i zahtjeva napredne metode za mjerenje i analizu podataka, što će biti detaljnije opisano u poglavlju 4.

3.2. Otkrivanje komercijalnih gubitaka električne energije analizom podataka i primjenom statističkih metoda

U skorije vrijeme, razvojem novih tehnologija, došlo je do raznih tehnika kontrole gubitaka električne energije uslijed neregistrovanog korištenja (kriminalnih aktivnosti, pa se one uglavnom nazivaju i komercijalni gubici). Najčešći načini današnjice uslijed otkrivanja komercijalnih gubitaka električne energije se baziraju na analizi podataka i na statističkim metodama. Usvojena su tri koraka koja se primjenjuju za smanjenje komercijalnih gubitaka pomoću analize podataka i primjenom statističkih metoda, a to su:

- **Bez nadzora:** Određivanje neregistrovanih korisnika bez prijašnjeg znanja o podacima tih korisnika. Ovaj način se izvršava provjerom finansijskih uplata korisnika (kontrole plaćanja računa, provjerom vlasništva naplatnog objekta, itd.).
- **Praćenje sa polu-nadzorom:** Modeliranje profila korisnika na osnovu već postojećih podataka i praćenje. Ovaj način se primjenjuje ako je došlo do otkrivanja neregularnosti korisnika koji su novčano nadoknadili svoje zaostale obaveze, te se izvršava njihovo praćenje u određenom vremenskom periodu.
- **Praćenje sa punim nadzorom:** Podizanje pravnog postupka za prisiljavanje korisnika da izmiri dugovanja. Ova metoda se koristi u slučajevima prijave neregularnosti izmirivanja dugova, te odbijanja plaćanja dugovanja [4].

3.3. Metode smanjivanja komercijalnih gubitaka

Najčešći način na koji krajnji korisnici električne energije vrše neregistrovano korištenje električne energije je izvršavanje kvara na brojilima električne energije ili direktnim spajanjem na električnu mrežu, napona 0,4 (kV). IJAREEIE (*International Journal Of Advanced Research In Electrical, Electronics And Instrumentation Engineering*) je u jednom od svojih članaka objavio prijedlog mjera za smanjenje komercijalnih gubitaka električne energije i snage:

1. Mjere koje sprečavaju direktno spajanje registrovanih i neregistrovanih korisnika na mrežu. Zamjena svih 10 (kV) nadzemnih vodova koji su bez izolacije sa izoliranim vodovima. Na ovaj način se sprečava direktno spajanje korisnika na mrežu.
2. Mjere za kontrolu „sitne krađe“ električne energije sa registriranim korisnicima. Na mjestima koja su poznata kao mjesta gdje se vrši nelegalno korištenje električne energije bi se trebala postaviti brojila koja vrše naplatu energije unaprijed, odnosno koja na osnovu statističkih podataka (djelimično paušalno) vrše mjerenje i prema kojima se vrši naplata električne energije.
3. Mjere za smanjenje neispravnih mjerenja.
4. Instaliranje uređaja za mjerenje električne energije na propisnoj visini i lokaciji za mjerenje električne energije. Lokacije na kojima se preporučuje nalazak brojila električne energije su na javnim mjestima, gdje je svima dostupno očitavanje energije.
5. Mjere za unapređenje naplate. Pravilna naplata i dostava računa električne energije na vrijeme dugoročno utiču na sistem prikupljanja novca. Najčešće žalbe korisnika (otkrivene anketiranjem i direktnim žalbama korisnika) su nedostavljanje računa ili veoma kasno dostavljanje računa nakon dogovorenog perioda dostave, kao i dostavljanje pogrešnih računa, pogrešna očitavanja potrošene električne energije, pogrešan proračun, itd. [5].

3.4. Primjena računarskih tehnologija u smanjenju komercijalnih gubitaka

Današnjim razvojem računara, uslijed velike brzine podataka i sa odgovarajućim softverima, računari su sposobni da razviju algoritme, koji im omogućavaju da donesu odluke koje se baziraju na izmjerenim podacima. Jedna od takvih metoda, koja u potpunosti još nije razvijena, ali se počela koristiti u elektroenergetskim sistemima, je AMR/AMM sistem za mjerenje potrošene električne energije. AMR/AMM sistem se sastoji iz dva dijela: Automatsko mjerenje (AMR) i Automatsko upravljanje (AMM). Princip rada opisanog sistema se bazira na automatskog mjerenju potrošnje električne energije, te komuniciranjem sa računarima sa veoma brzom obradom podataka, koji su sposobni da na osnovu izmjerenih vrijednosti zaključuje da li je sistem u ispravnom ili neispravnom stanju. Na osnovu toga, komandni centri se obavještavaju o stanju sistema, te se mogu donijeti dalje odluke o samome sistemu.

Ova tehnika drastično pomaže prilikom otkrivanja komercijalnih gubitaka, jer se mogu registrirati povećane potrošnje električne energije na područjima koja u normalnim pogonskim stanjima ne zahtijevaju snagu koja je izmjerena. Najefikasnija primjena AMR/AMM sistema bi bila da za svaku naplatnu jedinicu (npr. stambeni objekat, manje naselje, itd.) postoji ugrađen sistem koji bi mjerio i kontrolisao tu naplatnu jedinicu. No, zbog dodatnih ulaganja, ne iskorištavaju se potpuni kapaciteti ovog sistema, jer se komercijalni gubici ne primijete toliko na velikom broju potrošača [4].

4. AMR / AMM sistem

4.1. Općenito o AMR/AMM sistemima

Koncept pametne mreže (u koju spadaju AMR/AMM sistemi) predstavlja brojne promjene u vidu mrežne infrastrukture, komunikacije i upravljanja. AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) sistemi, odnosno napredne mjerne infrastrukture, predstavljaju izvedbu pametnih mreža, u kojima služe kao aktivna upravljačka veza između proizvođača i potrošača. Da bi se ostvario koncept pametne mreže, te da bi AMI sistem funkcionisao, potrebno je definisati i implementirati AMR i AMM sisteme. AMR (*Automatic Meter Reading*) predstavlja sistem pomoću kojeg se vrši mjerenje pojedinih tačaka, čvorova, dijelova elektroenergetskog sistema i slanje izmjerenih podataka, dok AMM (*Automatic Meter Management*) sistem služi za obradu dobivenih podataka i izvršavanje komandi i naloga za regulaciju sistema. Na taj način se vrši automatsko i brzo upravljanje sistema, kao i sama kontrola i mjerenja u sistemu, pomoću kojih se dobivaju tačnije informacije.

Današnji elektroenergetski sistemi prolaze kroz proces modernizacije, u vidu proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije. Pomoću pametnih mreža, moguće je ostvariti efektivnije aktivno upravljanje distribucije električne energije. Pomoću pametne mreže, odnosno AMI sistema, moguće je ostvariti bolje DSM upravljanje. Upravljanje električnom energijom na način da proizvodnja ovisi o zahtjevu potrošača je moderna metoda koja se pokazala dobrom, radi ostvarivanja balansa između proizvede i potrošene električne energije. Upravo, pomoću AMR sistema, moguća je dvosmjerna komunikacija sa mjernim uređajem, koja se sastoji od prijenosa informacija od davaoca usluga do krajnjih korisnika, kao i prijenos informacija koje se sastoje od upravljačkih informacija i izmjerenih vrijednosti električne energije od korisnika električne energije do davaoca usluga [6].

Pametna mreža (AMI sistem) se može opisati kao sistem koji sadrži potrebne hardver-ske i softver-ske komponente, pomoću kojih se osigurava mjerenje, spašavanje izmjerenih podataka i obradi izmjerenih podataka o korisniku, da bi se opisala njegova potrošnja električne energije. Pored mjernog i upravljačkog sistema za potrošnju električne energije, AMR i AMM sistemi (podsistemi koji čine AMI sistem) se mogu koristiti i u drugim oblastima, kao što su regulacija plina, vode i toplote u objektima (domaćinstva, javne ustanove, industrija, itd.).

Postoje razne izvedbe AMR i AMM sistema, koje se mogu bazirati na različitim tipovima mjernih instrumenata i opreme za upravljanje i regulaciju (hardware), kao i na različitim vrstama programa koji se koriste za upravljanje hardware-om (software). Tri osnovne vrste AMI sistema su:

- *Prva izvedba* – najjednostavnija izvedba AMR i AMM sistema za mjerenje i obradu podataka vezanih za potrošenu električnu energiju, pri čemu se koriste i za formiranje računa za naplatu korisnika električne energije. Ovakva izvedba sistema se koristi za upravljanje okoline potrošača.
- *Druga izvedba* – najkompleksnija, druga izvedba se koristi za jednog potrošača električne energije, uzimajući u obzir potrošnju električne energije tog potrošača detaljnije. Ovakva izvedba AMR i AMM sistema se, pored mjerenja potrošnje, mogu koristiti i za napredne metode obračuna potrošene električne energije (složeniji tarifni

sistemi, analiziranje različitih parametara kao što su maksimalna vršna snaga, prosječna periodična potrošnja električne energije, itd.). Ovo je veoma korisno za DSM, odnosno za upravljanje potražnjom električne energije.

- *Treća izvedba* – koristi se za javna mjerenja (pokriva više potrošača). Ova izvedba je manje kompleksna u odnosu na drugu, jer nije namjenjena za upravljanje kućanskih aparata detaljno, kao i mikrokomponenti, već prati potrošnju određene veće grupe potrošača [7].

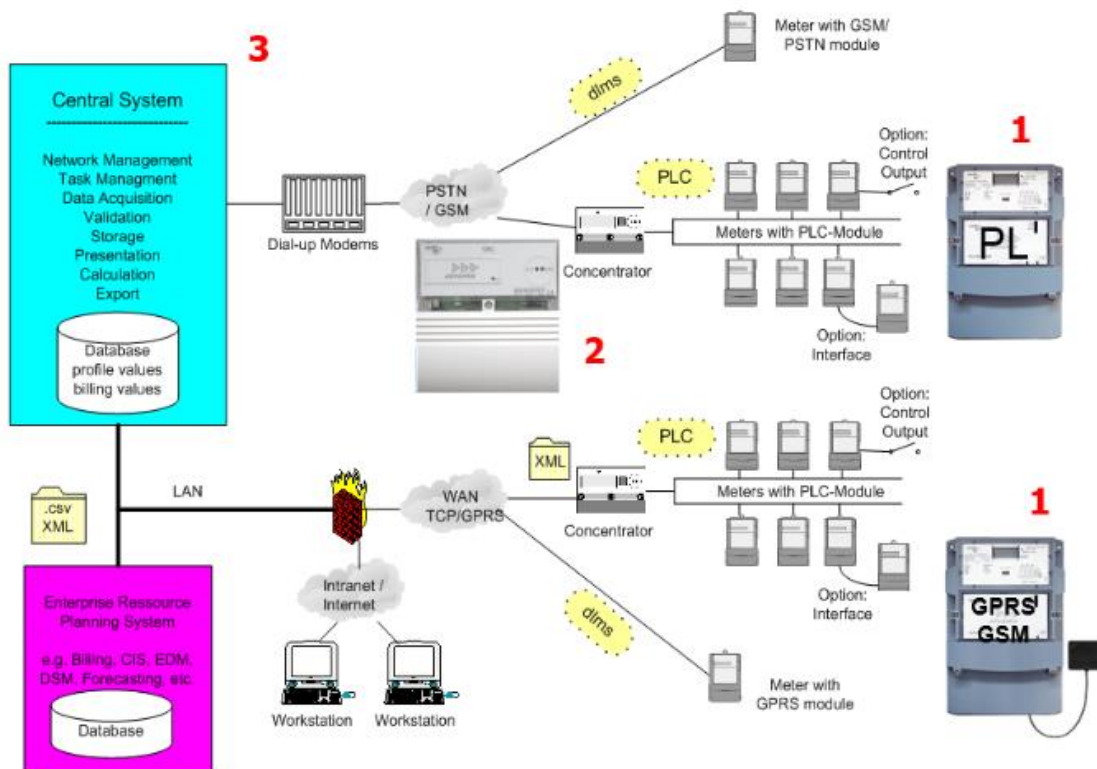
4.2. Struktura AMR/AMM sistema

U ovom poglavlju će biti pobrojani dijelovi AMR i AMM sistema druge izvedbe, koja se veže za mjerenje i upravljanje potrošnje jednog potrošača. Razlog zašto je druga izvedba složenija u odnosu na prvu jeste zahtjev za više funkcionalnosti sistema, s ciljem omogućavanja više opcija i interakcija sa potrošačem, veći memorijski resursi (veći broj mjerenja), opcija za pristup očitavanju energije pomoću aplikacije, kao i razni drugi. Dijelovi AMR/AMM sistema druge izvedbe su:

- *Napredno programsko sučelje* – koje osigurava korisnicima električne energije pristup očitavanju utrošene električne energije u realnom vremenu. Također, mogućnost pristupa informacijama o kojem se tarifnom sistemu radi, da bi se mogle zaključiti informacije o najpogodnijoj metodi potrošnje električne energije.
- *Dvosmjerno mjerenje električne energije* – aktivna snaga električne energije se mora mjeriti dvosmjerno, odnosno od potrošača prema mreži, kao i od mreže prema potrošaču. Razlog tome jesu informacije za upravljanje mrežom i za pravilno obračunavanje utrošene električne energije radi naplate.
- *Dvosmjerna komunikacija* – pošto se vrši razmjena informacija u velikim količinama, potrebno je koristiti mreže koje osiguravaju brz prijenos informacija (PSTN ili Ethernet mreže).
- *Veliki memorijski resursi* – pametna mreža mora biti u stanju čuvati informacije o primljenoj i utrošenoj električnoj energiji iz mreže za određene definirane periode (najčešće se radi o mjerenju svakih 15 minuta). Pored toga, potrebno je čuvati informacije o prethodnim računima električne energije, trenutno opterećenje, podaci vezani za kvalitet isporučene električne energije (vremenska dužina trajanja prekida iznad 3 minute, vremenski trenuci kada je napon izvan dozvoljenih granica, itd.).
- *Dopunski profili korisnika* – da bi mjerenje sistema bilo što bliže stvarnom, potrebno je omogućiti čuvanje informacija za različite slučajeve mjerenja električne energije istog korisnika. Primjerice, normalni radni uslovi, mjerenje uslijed vanrednih stanja, neovlaštena očitavanja, itd.
- *Unaprijeđen sistem za odabir upravljanja potrošnjom električne energije* – radi lakšeg korištenja sistema, korisniku je potrebno omogućiti pojednostavljen način odabira upravljanja svog sistema. Ako korisnik sam odabire način na koji troši električnu energiju u svom domaćinstvu ili posmatranom objektu, ima mogućnost veće uštede električne energije. Elektroprivrednim kompanijama su korisne ove informacije radi planiranja proizvodnje električne energije (DSM upravljanje).
- *Nadgledanje opterećenja i upravljanje opterećenja* – pomoću AMR/AMM sistema, moguće je vršiti takav vid upravljanja da se određena trošila električne energije mogu priključivati i odspajati sa mreže, radi regulacije potražnje električne energije i uštede.

- *Upravljanje mrežom za komunikaciju i podršku* – AMR/AMM sistemi imaju pristup lokalnoj mreži, te imaju mogućnost međusobne komunikacije između pojedinih dijelova mreže, radi detaljnijeg mjerenja i potrošnje električne energije [7].

Da bi se ispunili navedeni zahtjevi, potrebno je primijeniti određene komponente. Primjer jednog AMI sistema (sastavljenog od AMR i AMM sistema u cjelini) je prikazan na slici 4.1.



Slika 4.1 Komponente AMR/AMM sistema

Na slici 4.1 su numerisani glavni dijelovi AMR/AMM sistema, a to su:

1. Brojilo električne energije.
2. Koncentrator za podatke.
3. Središnji sistem (na slici je prikazana izvedba *Advanced*).

Koriste se elektronska brojila električne energije, koja mogu biti opremljena sa modulom za komunikaciju preko električne mreže PLC (*Power – Line Communication*) ili sa modulom za bežičnu komunikaciju GSM/GPRS. Osnovne funkcije brojila su:

- Mjerenje vršne i jalove energije u oba smjera.
- Zapis izmjerenih vrijednosti struja napona po fazama svakih 15 minuta.
- Izvještaj satnih djelatnosti (dijagram opterećenja).
- Izvještaj nestanka napona.
- Mogućnost očitavanja trenutnih i arhivskih izmjerenih vrijednosti.
- Tarifni modeli (ugrađeni u stvarnom vremenu).
- Događaji bitni za brojilo (zapis alarma i statusa).

Brojila bi trebala imati dovoljne memorijske resurse za pohranu dnevno izračunatih vrijednosti u posljednjih 365 dana i svakoga sata u posljednjih 90 dana.

Koncentrator se obično nalazi u trafostanici TS 10(20)/0,4 (kV) i ima funkciju posrednika između NN-PLC mreže, gdje su instalirana brojila i središnjeg sistema. Za vezu između brojila i servera mogu se koristiti GSM/GPRS mreže, PSTN ili Ethernet mreže. Koncentratorom se može upravljati do 2000 brojila, a isti je odgovoran za povremeno očitavanje dnevnih vrijednosti i izvještaj satnih vrijednosti. Očitane vrijednosti se pohranjuju u memoriji koncentratora i dostupne su za preuzimanje na server. Koncentrator također pronalazi nova brojila i unosi odgovarajuće postavke koje su potrebne za integraciju novih brojila u sistem. Osnovne funkcije koncentratora su:

- Kontrola povezanih brojila.
- Izvršavanje zadataka u skladu sa postavkama.
- Povremeno očitavanje podataka iz brojila i spremanje u lokalnoj memoriji.
- Povezivanje sa serverom.
- Olakšava komunikaciju između servera i pojedinačnog brojila.

Središnji sistem je program koji kombinira funkcije integracije, prikupljanja i pohrane podataka. Sistem komunicira sa koncentratorima i povremeno prikuplja podatke, te ih pohranjuje u bazu podataka. Osnovne funkcije središnjeg sistema su:

- Kontrola mreže.
- Obavljanje dodijeljenih zadataka.
- Prikupljanje podataka.
- Vrednovanje.
- Spremanje.
- Predstavljanje.
- Proračuni.
- Izvoz [8].

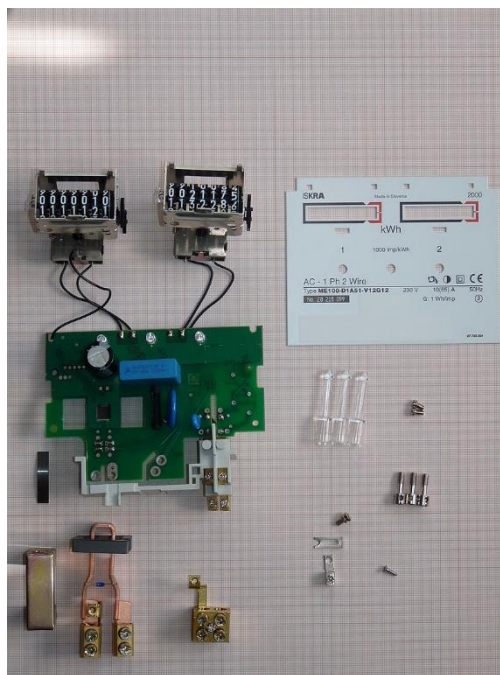
4.3. Elektronska brojila

Prije nego što se opišu elektronska brojila, potrebno je definisati šta su zapravo brojila električne energije. Brojila električne energije su mjerni instrumenti koji služe za mjerenje i registriranje električne energije u određenom vremenu. U početku, brojila električne energije su radila na principu elektromehaničke konverzije, gdje se koristilo električno i magnetno polje napona i struje u kolu za okretanje disk pločice i na taj način očitavanja energije, brojeći broj rotacija. Zbog raznih gubitaka i mana koje krase ove vrste brojila, te sa razvojem elektronike i telekomunikacija, u praksi su se počela primjenjivati elektronska brojila, kao odlično rješenje ovih problema.

Princip rada elektronskih brojila jeste da se snaga u kolu ili mjernom sistemu, dobivena mjerenjem napona i struje, u određenom vremenu, zbraja i obrađuje u mikrokontroleru. Nakon obrade podataka, rezultati se mogu ispisati na LCD displej elektronskog brojila, memorisati i komunicirati sa drugim uređajima radi kontrole kvalitete električne energije i mjerenja [9].



Slika 4.2 *Trofazno elektronsko brojilo
marke EWG*



Slika 4.3 *Dijelovi savremenog
elektronskog brojila*

Elektronska brojila imaju razne prednosti nad brojilima električne energije koji rade na principu elektromehaničke konverzije energije. Današnja elektronska brojila se izrađuju da rade sa greškom ne većom od 0,1 %.

Pored relativno male mjerne greške, koja je osigurana zbog preciznosti u logičkim uređajima i mikrokontrolerima, karakteristike i razlozi korištenja elektronski brojila su:

- Upravljanje vršim opterećenjem.
- Mogućnost otkrivanja neovlaštene potrošnje električne energije.
- Brža i preciznija očitavanja električne energije.
- Poboljšana interakcija sa kupcima električne energije.
- Praćenje parametara distributivne mreže kvaliteta isporučene električne energije.
- Mogućnost štednje električne energije u vidu praćenja potrošačkih navika [10].

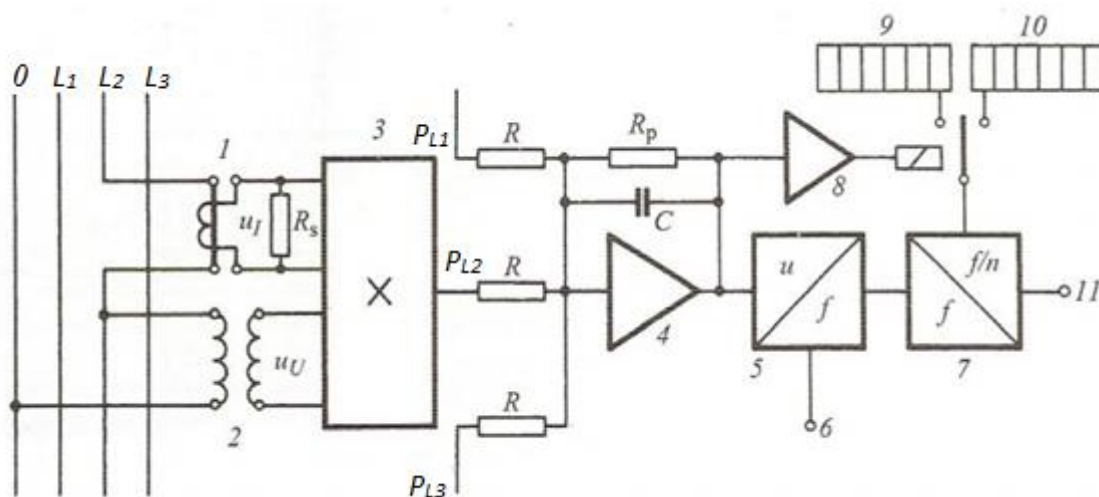
Da bi se svakom korisniku obezbijedila potrebna električna energija, u današnjici se zajedno sa elektronskim brojilima koriste i limitatori. Limitator je uređaj koji kod kupca električne energije ograničava strujno opterećenje (maksimalnu snagu) istovremeno uključenih električnih uređaja, na veličinu koja je određena prema elektroenergetskoj saglasnosti (dogovorenoj veličini za svaki operater koji isporučuje električnu energiju kupcima). Ograničenje snage je u interesu svih kupaca, jer se njime sprečava nekontrolisano smanjenje napona, problemi vezani za stare instalacije, te nekontrolirano povećanje potrošnje pojedinih kupaca, što se može negativno odraziti na ostale kupce priključene na isti dio mreže (na ostale kupce u istom razmatranom konzumu) [11].

Tabela 4.1 Strujno – vremenska karakteristika prorade limitatora strujnog opterećenja

Nazivna struja (A)		Proradno vrijeme t (sec)	
I_N (A)	$1,1 I_N$	$1,4 I_N$	$2,5 I_N$
5 – 60	$t > 3600$	$2 < t < 900$	$0,5 < t < 90$
Nema prorade			

Pored svih ovih prednosti, elektronska brojila, zajedno sa limitatorima, omogućavaju mjerenje drugih električnih veličina osim napona i struje. Neke od tih veličina (ovisno o izvedbi elektronskog brojila) mogu biti trenutna i maksimalna vrijednost struje i napona mjerenih potrošača, faktor snage, korištena reaktivna snaga, linijske i fazne vrijednosti napona i struje, itd. Također, elektronska brojila omogućavaju i razdvajanje vremenskih perioda mjerenja, tarifna mjerenja, te stvaranje vremenskog dijagrama potrošnje električne energije, koja su veoma bitna za planiranje proizvodnje i isporuke električne energije, što utiče i na samu kvalitetu električne energije.

Sve te prednosti su ostvarene zbog načina izvedbe elektronskog brojila. U osnovi, svako elektronsko brojilo radi na principu pretvaranja izmjenjenog analognog signala u digitalni signal, koji se pomoću mikrokontrolera i logičkih uređaja, može obrađivati u vremenu. Mjerenje napona i struja mjernog sistema se najčešće u elektroenergetskom sistemu vrši preko strujnih i mjernih transformatora, radi smanjenja dimenzija brojila i zaštite uređaja (galvansko odvajanje), dok se u domaćinstvima mogu koristiti brojila koja imaju ugrađene voltimetre i ampermetre, radi direktnog priključenja u sistem [12].



Slika 4.4 Blok-šema elektronskog brojila

5. Primjena AMR/AMM sistema za detekciju komercijalnih gubitaka

5.1. Iskustva korištenja AMR/AMM sistema za otkrivanje komercijalnih gubitaka

Pored brojnih mogućnosti koje pružaju AMR/AMM sistemi, jedna od najvažnijih i najpotrebnijih za elektroenergetski sistem je otkrivanje komercijalnih gubitaka na nivou distributivne mreže. AMR/AMM sistemi se mogu primijeniti na čitavoj distributivnoj mreži, tačnije na svim naponskim nivoima srednjenaponske mreže. Sistemi se ugrađuju na svim spojnim mjestima za srednjenaponsku mrežu, krenuvši od transformatorskih stanica TS 110/10 (kV) ili 35/10 (kV), pa do transformatorskih stanica koje priključuju potrošače na distributivnu mrežu (tačnije TS 10/0,4 (kV)).

Prije integracije sistema pametnih mjerenja, bilo je teško odrediti transformatorske stanice koje su imale visoke gubitke električne energije, te je s time i sam proces pronalaženja i eliminacije komercijalnih gubitaka bio znatno mukotrpniji i zahtijevao je više vremena. No, AMR/AMM sistemi olakšavaju ovaj problem. Pronalazak komercijalnih gubitaka električne energije se bazira na mjerenju ukupne potrošnje svih potrošača, koji su priključeni na TS 10/0,4 (kV). U usporedbi isporučene električne energije potrošačima sa fakturisanom električnom energijom, dobiva se razlika električne energije koja predstavlja komercijalne gubitke (oduzimajući od te razlike i poznate tehničke gubitke, koji su objašnjeni u poglavlju 2). Na ovaj način se dobivaju podaci o transformatorskim stanicama sa izrazitim komercijalnim gubicima električne energije. Nakon otkrivanja tih transformatorskih stanica, pristupa se daljnjoj analizi niskonaponske mreže i otklanjanju gubitaka.

Uz lociranje transformatorskih stanica sa izrazitim gubicima električne energije, AMR/AMM sistemi su omogućili potrebne podatke za proračun tokova snaga na nivou srednjenaponske mreže. Pošto svaka distribucijska transformatorska stanica TS 10/0,4 (kV) u sebi sadrži brojilo ukupne potrošnje električne energije, u svakoj tački srednjenaponske mreže su poznati iznosi aktivne (P) i reaktivne (Q) snage, odnosno poznate su ulazne veličine za proračun tokova snaga. Proračun tokova snaga osigurava vrijednosti napona u svim čvorovima mreže i struja u svim granama mreže, pa se na temelju ovog proračuna mogu vršiti daljnje analize u cilju optimizacije postojeće distributivne mreže. Pošto proračun tokova snaga također rezultira bilansom gubitaka snage u elementima posmatrane distributivne mreže, uz poznat dijagram dnevnog opterećenja sistema koji se dobije iz AMR sistema, moguće je dobiti realan proračun tehničkih gubitaka, odnosno moguća je detaljna procjena tehničkih i komercijalnih gubitaka električne energije [8].

5.2. Primjena AMR/AMM sistema za lociranje komercijalnih gubitaka

AMR sistem je omogućio otkrivanje transformatorskih stanica sa izraženim gubicima, no takav sistem sam nije sposoban u smanjenju istih. Integriranjem AMM sistema uspostavljena je kontrola brojila krajnjeg kupca električne energije i omogućena je detaljna analiza niskonaponske mreže. Uz zamjenu postojećih brojila sa elektronskim, pored navedenih prednosti u prethodnom poglavlju, vrši se i izmještanje mjernog mjesta na javnu površinu. Na ovaj način se postiže izravno smanjivanje komercijalnih gubitaka električne energije, jer se eliminiše takozvana „siva zona“, koja se nalazi između brojila električne energije krajnjeg kupca i tačke priključenja na niskonaponsku mrežu, gdje se po običaju vrši ilegalno priključivanje na mrežu.

Efekti izmještanja mjernog mjesta i integracije AMM sistema zajedno sa AMR sistemom se najbolje postižu na zračnoj niskonaponskoj mreži. Tu se uglavnom radi o transformatorskim stanicama u ruralnim područjima (stubne transformatorske stanice nazivnih snaga reda 50, 100, 160 i 250 (kVA)), sa manjim brojem potrošača i jednostavnijom strukturom niskonaponske mreže u odnosu na niskonaponsku mrežu u urbanim područjima.

Proces pronalaženja i eliminacije komercijalnih gubitaka u kablovskim niskonaponskim mrežama, u urbanim područjima, je znatno teže i u tu svrhu ključnu ulogu imaju AMM sistemi. Za otkrivanje komercijalnih gubitaka u kablovskim niskonaponskim mrežama se koriste slijedeći postupci:

- Otkrivanje transformatorskih stanica sa izrazitim gubicima električne energije pomoću AMR sistema.
- Zamjena postojećih brojila u razmatranoj niskonaponskoj mreži sa novim elektronskim brojlama, preko kojih je moguća uspostava na AMM sistem (zahtjeva ugradnju koncentrata u transformatorsku stanicu).
- Grupisanje kupaca električne energije po izvodima iz transformatorske stanice TS 10/0,4 (kV).
- Mjerenje električne energije po izvodima iz transformatorske stanice.
- Poređenje izmjerenih vrijednosti električne energije po izvodima sa potrošnjom registriranom po brojlama u AMM sistemu.
- Otkrivanje niskonaponskih izvoda sa nadprosječnim gubicima.
- Zamjena postojećih razvodnih ormara i izmještanje mjernog mjesta krajnjeg kupca u nove priključno-mjerne razvodne ormare.

Ukoliko je konfiguracija mreže takva da su priključci vezani jedan za drugi, sa objekta na objekat, u tom slučaju se u razvodni ormar postavlja kontrolno brojilo i prati se potrošnja na tom dijelu mreže. Ako se u tom dijelu otkrije neovlaštena potrošnja, vrši se rekonstrukcija priključaka i njihovo izmještanje na javnu površinu.

Primjer upotrebe AMR/AMM sistema za otkrivanje komercijalnih gubitaka se može prikazati na osnovu ugradnje AMR/AMM sistema i rekonstrukcije niskonaponske mreže „Osoje 2“, koja pripada poslovnici „Elektro-Posušje“. U ovom slučaju, na osnovu kontinuiranog mjerenja izrazitih gubitaka električne energije pomoću AMR sistema. Ciljano traženje neovlaštene potrošnje električne energije nije davalo odgovarajuće rezultate, pa su sva mjerna mjesta izmještena iz objekta kupca na javnu površinu i izvršena je zamjena svih starih brojila novim elektronskim brojlama, koji su integrirani u AMM sistem. Radovi su izvršeni u novembru 2013. godine, a ukupno je izmješteno 61 mjerno mjesto.

Tabela 5.1 Osnovni podaci i pregled gubitaka električne energije u periodu od 2012. godine do 2015. godine za niskonaponsku mrežu Osoje 2

Naziv TS		Osoje 2				
Tip	Stupna TS (STS)	Godina	2012.	2013.	2014.	2015.
Nazivna snaga (kVA)	100	Fakturirano (kWh)	195709	201855	218021	205870
Vlasništvo	EPHZHB	Registrirano (kWh)	289193	288245	246019	215608
Obračun	AMR, SDO	Gubici (kWh)	93484	86390	27998	9738
Broj mjernih mjesta	61	Gubici (%)	32,33 (%)	29,97 (%)	11,38 (%)	4,52 (%)

Iz tabele 5.1. se može zaključiti da su za 2015. godinu komercijalni gubici potpuno smanjeni i praktički svedeni na tehničke gubitke mreže. U 2012. godini je zabilježena godina sa najviše gubitaka električne energije, u kojoj su gubici iznosili skoro trećinu isporučene električne energije. Oduzevši tehničke gubitke (može se uzeti da je to vrijednost 4,52 (%) koja je izmjerena za 2015. godinu) u svrhu ugrube procjene vrijednosti utrošene električne energije uslijed komercijalnih gubitaka, te prema relaciji (2.5.) i pretpostavljene prosječne cijene električne energije, dobiva se da je u 2012. godini izgubljeno električne energije u vrijednosti oko 11320 KM radi neregistrovane potrošnje električne energije.



Slika 5.1 Mjerenje u transformatorskoj stanici

Elektronska brojila (može se vidjeti sa slike 5.1) se postavljaju u transformatorsku stanicu za mjerenje utrošene električne energije po izvodima. Svakih 15 minuta bilježe vrijednosti električne energije i ostalih električnih veličina. Izmjerena vrijednost električne energije se koristi za proračun komercijalnih gubitaka, dok se ostale električne veličine (napon, struja, faktor snage, frekvencija, itd.) koriste u svrhu kontrole sigurnosti, te za dobivanje relevantnih podataka o posmatranom sistemu. Elektronska brojila su integrisana u AMM sistem (spojena na koncentrator), te izmjerene podatke prosljeđuju za obradu podataka i memorisanje izmjerenih vrijednosti. Mjerni instrument su vremenski sinhronizirani sa elektronskim brojilima i podešeni na mjerenje svakih 15 minuta, da bi se dobili potrebni podaci o ostalim električnim veličinama [8].

5.3. Proširenje upotrebe AMR/AMM sistema i preporuke

Iako su dobiveni rezultati upotrebe AMR/AMM sistema veoma dobri, potrebno je vršiti dalju analizu sistema i dalje istraživanje pametnih mreža. Prije implementacije AMR/AMM sistema na svim distributivnim i niskonaponskim mrežama, potrebno je izvršiti proračun na osnovu većeg broja potrošača, te razmotriti tehno-ekonomsku isplativost ugradnje sistema [4].

Primjer daljnje analize jeste da se na osnovu postojećih izvršenih mjerenja, veće grupe potrošača, koje su istih ili sličnih karakteristika, klasificiraju i simuliraju kao ugradnja sistema. Veoma je bitan finansijski faktor ugradnje sistema, jer za svaku elektroprivrednu kompaniju je bitno vrijeme kada će se određena investicija isplatiti. Naravno, ušteda i odstranjivanje komercijalnih gubitaka je eminentno, no potrebno je analizirati i postojeću distributivnu mrežu, te na osnovu dobivenih podataka o tome kada bi se ugradnja sistema isplatila, da li bi se ta investicija dovoljno brzo isplatila, pri tome da nema uticaja na planirano renoviranje i proširivanje sistema. Pri tome, preporučuje se analiza za svaku distributivnu mrežu zasebno, a naročito za jedan elektroenergetski sistem u državi. Razlog tome jeste što se mora uzeti u obzir i priroda korisnika električne energije, planiran razvoj u industrijskom sektoru, dalje odluke i regulative elektroenergetskog sistema, kao i razne druge odluke.

6. Zaključak

Implementacijom tehnologije pametnih mreža postižu se brojne pogodnosti za distributivne kompanije. Najvažnije od tih su:

- Daljinsko očitavanje brojila.
- Daljinsko isključenje brojila.
- Kreiranje dijagrama opterećenja (dnevni, mjesečni, godišnji).
- Kontrola vršnog opterećenja.
- Detekcija komercijalnih gubitaka električne energije.
- Smanjivanje operativnih troškova očitavanja.
- Analize strujno-naponskih prilika na transformatorskim stanicama.
- Itd

Jedna od najvećih prednosti je upravo detekcija komercijalnih gubitaka električne energije. Komercijalni gubici električne energije za elektroenergetski sistem stvaraju velike probleme, kako uslijed finansijske nepogode, tako i poteškoća za sistem (dodatno opterećivanje distributivne mreže, eventualna opterećenja opreme, pravno-regulativni postupci, itd.), te su prije implementacije AMR/AMM sistema bili veoma nepogodni za otkrivanje. Uz pomoć kombinacije AMR i AMM sistema (implementacijom pametne mreže) se mogu postići efektivna smanjenja ovakve vrste gubitaka električne energije. Iz prethodnih poglavlja, može se zaključiti da se uslijed komercijalnih gubitaka električne energije gube ogromna finansijska sredstva, što se implementacijom ovog sistema može smanjiti i ta se sredstva mogu iskoristiti za rekonstrukciju, investiciju i proširivanje sistema. Naravno, potrebna je i značajna investicija za nabavku i integriranje AMR/AMM sistema u distributivne mreže. Sa dostupnim podacima se može zaključiti da bi se ubrzo implementacija sistema isplatila i da bi distributivne kompanije postigle znatno veću efikasnost u odnosu na trenutno stanje elektroenergetskog sistema.

7. Literatura

- [1] <http://insideenergy.org/2015/11/06/lost-in-transmission-how-much-electricity-disappears-between-a-power-plant-and-your-plug/>
- [2] Složena organizacija udruženog rada za proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije – Elektroprivreda Bosne i Hercegovine: "Gubici električne energije i snage u distributivnim mrežama", Sarajevo, 1980.
- [3] Tatjana Konjić, Mensur Hajro, Robert Križan, Rusmir Mahmutćehajić, Salih Sadović: "Bosanskohercegovačka elektrotehnika", Bosanskohercegovački komitet Međunarodnog vijeća za velike električne sisteme CIGRE, Godište 6, Januar/Decembar, Sarajevo, 2012.
- [4] J. Nagi: "An Intelligent System For Detection Of Non-Technical Losses In Tenaga Nasional Behrad (TNB) Malaysia Low Voltage Distribution Network", Tenaga, 2009.
- [5] S. Khobragade, D. Meshram: "Commercial Loss Reduction Techniques in Distribution Sector - An Initiative by MSEDCL
- [6] Iskraemeco, AMR – sistem daljinskog očitavanja brojila, katalogska dokumentacija, 2016.
- [7] ISGT Europe: "Advanced Metering Infrastructure Functionalities For Electric Mobility", 2010.
- [8] Marin Bakula, Mate Gudelj, Ivan Ramljak, Nikola Kulušić: "Upotreba AMR/AMM sistema u otkrivanju komercijalni gubitaka električne energije", Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Osijek, 2016.
- [9] D. Domazet: "Digitalno brojilo električne energije", Zagreb, 1998.
- [10] I. Ivšinović: "Kvaliteta električne energije", Zagreb, 2003.
- [11] HEP, "Tehnički uvjeti za ograničavala strujnog opterećenja".
- [12] A. Muhamedagić: "Elektronska brojila električne energije", Sarajevo, 2015.