Kvaliteta električne energije u naprednim mrežama

Garić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:200:084281

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

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NAPREDNIM MREŽAMA

Diplomski rad

Mario Garić

Osijek, 2016.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek,

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Mario Garić
Studij, smjer:	Diplomski studij, Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina	D-635, 2009.
Mentor:	Doc.dr.sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	-
Predsjednik Povjerenstva:	
Član Povjerenstva:	
Naslov diplomskog rada:	Kvaliteta električne energije u naprednim mrežama
Primarna znanstvena grana rada:	
Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:	
Zadatak diplomskog rada:	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog	
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: Jasnoća pismenog izražavanja: Razina samostalnosti:

Potpis sumentora:	Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

U Osijeku, godine Potpis predsjednika Odbora:

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek,

Ime i prezime studenta:	Mario Garić
Studij :	Diplomski studij elektroenergetike
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-635, 2012.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**:**
Kvaliteta električne energije u naprednim mrežama

izrađen pod vodstvom mentora

Doc.dr.sc.Zvonimira Klaića

i sumentora

mojvlastiti 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, ašto je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE 2
2.1. Nadziranje kvalitete električne energije 4
2.2. Različiti problemi kvalitete električne energije 6
2.2.1. Novi uređaji na tržištu 6
2.2.2. Kolebanje napona napajanja 8
2.2.3. Nesimetrija napona 9
2.2.4. Naponski propadi 10
2.2.5. Flikeri 10
2.2.6. Tranzijentni prenaponi 11
2.3. Troškovi loše kvalitete električne energije 13
3. NAPREDNE MREŽE 15
3.1. Preduvjeti napredne mreže 16
3.2. Model napredne mreže 17
3.3. Pametna mjerila 21
3.3.1. Komunikacijske tehnologije 23
3.3.2. Poteškoće i izazovi 25
3.3.3. Primjena i prednosti 27
3.4. Procjena stanja u naprednim mrežama 28
3.4.1. Uloga metode procjene stanja u naprednim mrežama 29
3.5. Mikromreže i uloga potrošača 32
3.5.1. Fizički spremnici energije 33
3.5.2. Virtualni spremnici energije 33
3.5.3. Odbacivanje opterećenja (*engl. load shedding*) 33
3.5.4. Smanjenje proizvodnje 33
3.5.5. Pomicanje proizvodnje 33
4. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NAPREDNIM MREŽAMA 34
4.1. Reaktivni i proaktivni pristup 34
4.1.1. Reaktivni pristup 34
4.1.2. Proaktivni pristup 35
4.1.3. Primjena proaktivnog pristupa 37
4.2. Uvođenje električnih vozila 41
4.2.1. Električna vozila u naprednim mrežama 42
4.2.2. Rezultati simulacije punjenja električnih vozila 43

4.3. Uvođenje obnovljivih izvora 49
4.3.1. Predviđanje obnovljivih izvora energije u naprednim mrežama 50
4.4. Mjerenja kvalitete električne energije prilikom punjenja električnog vozila 51
ZAKLJUČAK 54
LITERATURA 55
SAŽETAK 57
ABSTRACT 58
ŽIVOTOPIS 59

1. UVOD

Kako je napredak i pokret ka novim i inovativnim rješenjima se može primjetiti u svim aspektima života. Bilo je samo pitanje vremena kada će električna mreža doživjeti inovaciju na području svoga rada. Naime, električna mreža koju poznajemo stvorena prije više od sto godina i kao takva nije predviđena za današnje i buduće potrebe. Iz dana u dan se nastoji smanjiti upotreba fosilnih goriva kako bi se smanjili utjecaji efekta staklenika i emisije CO_2 plinova, svijet se okreće alternativnim oblicima električne energije. Obnovljivi izvori energije sve su zastupljeniji na tržištu iz dana u dan. Jedan od dokaza dostupnosti električnih izvora energije su komercijalni solarni paneli koji su dostupni svima za instalaciju za privatne potrebe, te i samu prodaju proizvedene električne energije nazad u samu mrežu. Kako bi se rješili problemi proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije uvodi se novi koncept električne mreže koji je napredniji od onoga kojeg danas poznajemo. Električna mreža koja sama održava pouzdanost i stabilnost električne mreže u svakom trenutku dana bez velikog utjecaja čovjeka. Kako bi se takva mreža mogla realizirati potrebna je transformacija postojeće mreže koju poznajemo u intuitivnu i „pametnu“ mrežu sutrašnjice povezanu nizom naprednih mjerila, komunikacijskih tehnologija i kvalitetnom integracijom obnovljivih izvora energije.

2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na kvalitetu električne energije se u posljednjih nekoliko desetljeća posvećuje sve više pažnje. Pretežito zbog ekonomskih razloga, jer loša kvaliteta električne energije znači veće troškove kako za proizvođača tako i za potrošača. Stoga se radi na konstantnom poboljšavanju iste. Kao pojam, kvaliteta električne energije, ima više definicija, te ovisi velikom većinom o stajalištu s kojega se promatra.

Institut inženjera elektroenergetike i elektronike (*eng. IEEE*) prema svom standardu *IEEE1100* bi definirao pojam kvalitete električne energije kao „koncept napajanja i uzemljivanja elektronički osjetljive opreme u naravi koja je prikladna za opremu.“ [1]

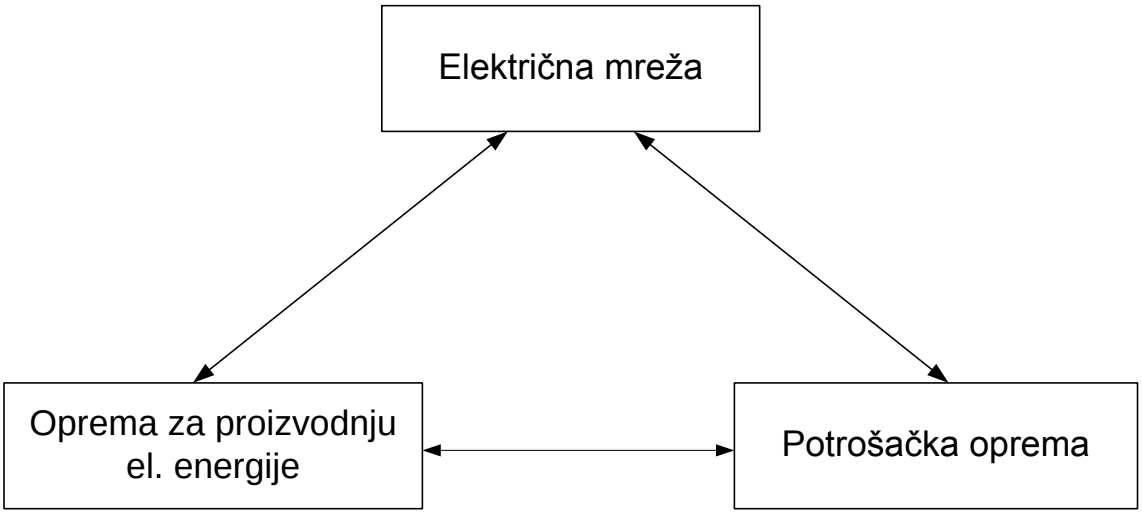
U ovom slučaju se postavlja pitanje, što je to elektronski osjetljiva oprema?

Kako ta oprema može biti sve što se napaja iz električnih izvora energije, problemi s istim mogu izazvati kvarove na spomenutoj opremi.

Druga definicija bi glasila „kvaliteta električne energije je set električnih ograničenja koja omogućava pravilan rad bez značajnih gubitaka ili smanjenja životnog vijeka opreme.“ [2]

Ukoliko se pridržavamo ove definicije svaki kvar koji bi ugrožavao opremu je znak loše kvalitete električne energije. Shodno tome, objasniti ćemo najčešće probleme koji se mogu dogoditi i utjecati na opremu.

Prikladna kvaliteta električne energije jamči potrebnu kompatibilnost između opreme i mreže. Stoga je to bitna stavka za uspješan i učinkovit rad postojećih, te svih budućih mreža. Kvaliteta električne energije pokriva dvije skupine poremećaja: varijacije i događaje. Dok su varijacije konstantno mjerene i procjenjivane, događaji su često nepredvidljive pojave i zahtjevaju određen događaj kako bi se mogli izmjeriti. Važne varijacije su: spore promjene napona, harmonici, flikeri i nesimetrija. Važni događaji su brze promjene napona, propadi i prekidi. Realna kvaliteta električne proizlazi iz međuinterakcije priključene opreme i mreže. [3]



Sl. 2.1. Glavni utjecatelji na kvalitetu električne energije[3]

Sva tri područja navedena na slici 2.1. će doživjeti značajne promjene u budućnosti. Što znači da će se problemi mjenjati s napretkom u budućim mrežama. U nastavku ćemo se osvrnuti na pojedine napretke u ova tri područja.

a) Oprema za proizvodnju

Očekuje se kontinuirani prodor mikroproizvodnje u niskonaponskim mrežama. U domaćinstvima će to biti pretežito jednofazna oprema zasnovana na samoupravljivim pretvaračima sa prebacivanjem frekvencija u rasponu od nekoliko kHz. Emisije u rasponu reda nižih harmonika se mogu zanemariti. Također, oprema u mikroproizvodnji će često biti spojena jednofazno. Ovo bi moglo dovesti do povećanja inverzne i nulte komponente napona u niskonaponskim mrežama. U slabijim distribucijskim mrežama, postojeća ograničenja bi se mogla premašiti vrlo brzo, te će biti potrebno razmotriti ograničenja za inverzne komponente napona. [3]

b) Potrošačka oprema

Promjena koju smo već doživjeli je prijelaz sa žarulja s žarnom niti na štedne žarulje. No, i to je samo međukorak prije nego li LED rasvjeta postane raširena Međutim, neki mrežni operatori strahuju od povećanja harmonika nižih redova, posebice harmonika petog reda iznad nivoa kompatibilnosti. Stoga se vodi rasprava o novim vrstama rasvjete s niskom snagom. Isto se odnosi i na ostale unaprijeđene ili nove vrste opreme. [3]

c) Distributivne mreže

Snaga kratkog spoja je važan faktor u upravljanju kvalitete električne energije. U budućim mrežama, s velikim prodorom proizvodnje doći će do značajnih promjena napajanja,prelaskom s

mrežnog na otočni pogon. Ovo bi moglo dovesti do značajne visoke promjenjivosti u snazi kratkog spoja u odnosu na danas. [3]

2.1. Nadziranje kvalitete električne energije

Unatoč tome što je sam koncept elektroenergetske mreže stariji od jednog stoljeća, napredak je vidljiv u mjernoj opremi koja se značajno razvila u posljednjih nekoliko godina. S tim unapređenjem mjerne opreme koja daje točnija i preciznija mjerenja, postavlja se nekoliko pitanja i problema na području mjerenja kvalitete električne energije. Neka od tih pitanja na koja bi trebali pronaći odgovor su:

- Kada vršiti mjerenja: Vrlo jednostavno je izvršiti istraživanje nakon kvara koji se dogodio negdje u mreži. Problem nastaje u predviđanju mogućih poteškoća.
- Gdje spojiti mjernu opremu: Ispravan odabir mjesta za instrumentaciju u energetskom sustavu je nužan kako bi se mogli donijeti ispravni zaključci.
- Koje instrumente koristiti: Odluka o izboru između ručne, prijenosne ili fiksirane opreme se mora donijeti u ovisnosti o vremenskom periodu u kojem instrument mora mjeriti, broju kanala i vrsti smetnji koja se mjeri
- Koje veličine se trebaju mjeriti: Ponekad se mora izvršiti generalno istraživanje, kako bi se mogli izmjeriti svi pokazatelji kvalitete električne energije. U ostalim slučajevima, traže se samo određeni parametri.
- Kako procesirati zabilježene podatke: Nakon mjerenja, moraju se analizirati podaci i događaji kako bi se mogli izvesti korisni zaključci. [4]

Rastuća očekivanja o kvaliteti usluge i smanjenje mogućnosti za poboljšanje mreže čine naprednu automatizaciju distribucije neophodnom za sljedeće velike korake mrežnih operatora u evoluciji prema naprednim mrežema. Upravljanje distribucijskim sustavom se pretežito temelji na prikupljavanju informacija o tokovima snaga pomoću integriranog sustava za nadziranje. Ovo omogućuje nadziranje uvjeta mreže u realnom vremenu za mrežne operatere. Također, omogućuje automatsku rekonfiguraciju mreže kako bi se optimirala učinkovitost dostave energije, te smanjilo djelovanje i trajanje prekida. Osnovni dio infrastrukture sustava za nadziranje zasnovan je na senzorima, pretvaračima, inteligentnim elektroničkim uređajima i mjerilima za prikupljanje informacija kroz distribucijski sustav.

Nekolicina mrežnih operatora je predložila kako bi napredna mreža budućnosti trebala imati:

1) Nadziranje mreže u svrhu poboljšanja pouzdanosti
2) Opremu za nadziranje u svrhu poboljšanja održavanja
3) Nadziranje kako bi se poboljšala kvaliteta električne energije

Kako bi se ostvarili ovi ciljevi, za trenutni distributivni sustav treba prikupiti što više informacija o mreži, opremi i faktorima kao što su kvaliteta električne energije i pouzdanost kako bi se unaprijedio distribucijski sustav i sveukupna učinkovitost. Napredna mreža će sadržavati automatizirane sustave napredne distribucije, a među najbitnijima su:

1) Upravljanje naponom i jalovom snagom
2) Lociranje kvara
3) Rekonfiguracija mreže ili samooporavak (*eng. self-heal*) [3]

Mrežni operatori s ambicioznim programom za energetsku učinkovitost su se usredotočili na dvije stavke:

1) Ugradnja kondenzatorskih baterija
2) Upravljanje naponom[3]

Još jedan od važnih ciljeva je smanjivanje trajanja prekida. Sustavi za upravljanje naponom i jalovom snagom (*eng. Vol and Var Control Systems, VVC*) zahtjevaju trajno praćenje amplitude napona (prosječno od 1 do 5 minuta) na kraju distribucijskog izvoda i ugradnju preklopnih kondenzatorskih baterija. Uz to, praćenje dopušta otkrivanje smetnji u kvaliteti električne energije kao što su podnaponi i prenaponi duljeg trajanja, neravnoteže napona i struje.[3]

U suštini, naponski regulacijski sustav na trafostanici se zamjenjuje inteligentnim sustavom koji koristi mjerenja kako bi održao amplitudu napona u dopuštenim granicama za sve potrošače. *VVC* sustav također analizira potrebe za jalovom snagom u mreži i određuje uklapanje kondenzatorskih baterija po potrebi. [3]

Isto tako bi trebali uzeti u obzir zajednički utjecaj *VVC* sustava i padova napona na mrežu. Rezultati istraživanja su pokazali kako se utjecaj može smjestiti u dvije skupine:

1) Očekuje se povećanje broja manjih padova napona. Zbog *VVC* sustava dolazi do smanjenja napona od 2 do 4%. S time padovi napona uzrokovani kvarom (padovi od 6 do 10% koji inače nisu propadi napona) postaje padovi od 10 do 12% te se na njih gleda kao na propade napona.

2) Neispravna oprema: zajednički doprinos *VVC* sustava i poremećaj koji dovodi do remanentnih iznosa napona ispod kritične točke, a to je oko 70% nominalne vrijednosti napona za većinu uređaja. [3]

Određivanje mjesta kvara se temelji na metodi lociranja naponskih propada koja koristi valne signale iz mjerenja kvalitete električne energije u distribuciji zajedno s napajanjem ili na metodi struje kvara zasnovane na mjerenjima struje kvara na podstanici.Točno lociranje kvara bi dovelo do značajnog smanjenja trajanja prekida, posebice dugih. Informacije prikupljene od strane sustava za lociranje kvarova setakođer mogu koristiti za bolje razumijevanje mreže.

Treća primjena je rekonfiguracija mreže odnosno samooporavak. Zasniva se na lokalnim informacijama ili na odlukama upravljačkog centra energetskog sustava, koji upravlja na daljinu opremom koja služi rekonfiguraciju mreže.

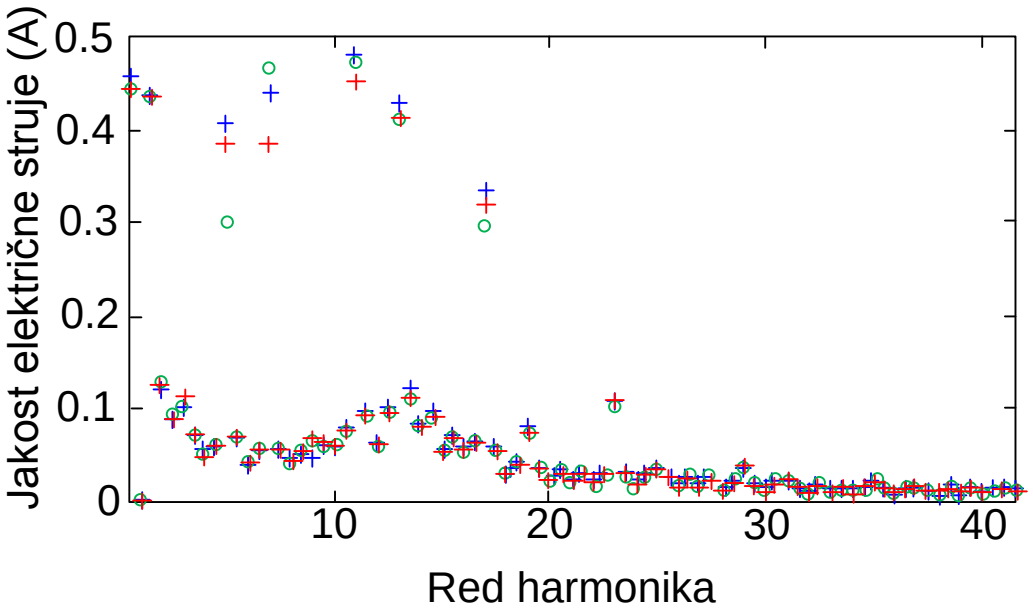
2.2. Različiti problemi kvalitete električne energije

Ova evolucija postojećih mreža će se suočavati s novim izazovima vezanim za poteškoće s kvalitetom električne energije. Vezano za distribuiranu proizvodnju, utjecaj na kvalitetu električne energije će se manifestirati kroz: [5]

1. Kolebanje napona
2. Povećanu nesimetriju
3. Flikere
4. Naponske propade
5. Tranzijentne prenapone
6. Upotrebu novih uređaja

2.2.1. Novi uređaji na tržištu

Pojavom naprednih mreža možemo očekivati rast proizvodnje na niskonaponskim razinama (distribuirana proizvodnja) i novih tipova potrošnje, kao što su na primjer; stanice za punjenje električnih vozila, visokobrzinske željeznice i slično. Neki od ovih novih potrošača će stvarati smetnje u mreži, kao što je naprimjer emisija harmonika. Određena istraživanja su pokazala kako dosadašnji potrošači (računala, TV uređaji, lampe i sl.) emitiraju skoro samo na nižim neparnim harmonicima, no postoji mogućnost kako će noviji potrošači, uključujući određene vrste distribucijskih generatora emitirati u širokopojasnom spektru. Primjer je prikazan na slici 2.2., gdje je prikazan spektar emisija skupine od tri vjetroturbine, gdje je 1A oko 1% nazivne struje.



Sl. 2. 2. Spektar jakosti struje za tri vjetroturbine; 95% vrijednosti harmonika i međuharmonijskih podskupina [3]

Emisija je niska u cijelom spektru, a najviša je oko 0,5% nazivne struje. Zajedno sa širokopojasnim spektrom preko širokog raspona frekvencija su također emitirani od strane energetski učinkovitih pogona, mikrogeneratora, fotonaponskih instalacija.

Napredne mreže će u velikoj mjeri ovisiti o mogućnosti komunikacije s uređajima, potrošačima, distribucijskim generatorima i mrežnim operaterima. Mnoge vrste komunikacijskih veza su moguće. Komunikacija putem dalekovoda je najočitiji izbor, ali i to može izazvati dodatne smetnje u sustavu, rezultirajući smanjenjem kvalitete električne energije. Smetnje su također ovisne i o izboru frekvencije, pa ovisno o odabiru frekvencije može doći do smetnje u odašiljanju radio signala. [3]

Raspodjela ograničenja emisija

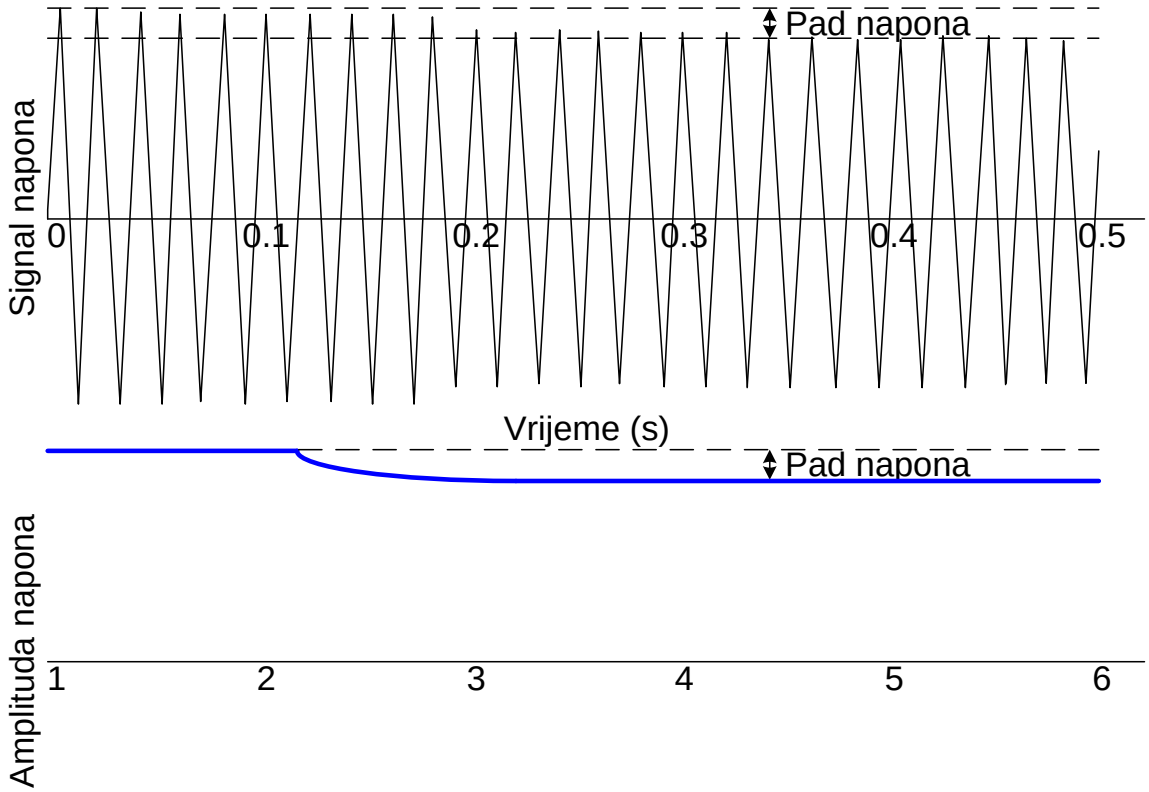
Priključenjem novog korisnika na mrežu potrebno je procijeniti količinu emisije koja bi bila prihvatljiva i ne bi rezultirala neprihvatljivim iznosima napona ili smetnjama za druge korisnike. Svakom novom korisniku se dodjeljuje određeno ograničenje uz poznat konačan broj potrošača u budućnosti, au naprednim mrežama i iznos potrošnje ukoliko je izjednačen sa sličnim porastom u proizvodnji. Kontinuiran porast proizvodnje i potrošnje bi mogao dovesti do nedozvoljeno velike smetnje u harmonicima napona, kao i broja uklopa. [3]

2.2.2. Kolebanje napona napajanja

Pod kolebanja napona napajanja svrstavamo promjene u razini napona napajanja u normalnim uvjetima rada. Kolebanja su uzrokovana najčešće promjenom opterećenja i izvora napajanja u mreži.

Standard *EN50160* definira kako bi 95% prosječnih vrijednosti 10-minutnih mjerenja tokom tjedna trebalo biti u rasponu od ±10% nominalne vrijednosti.

Mrežni operatori mogu smanjiti kolebanja napona napajanja pravilnim planiranjem i upravljanjem mrežom. Razine napona napajanja su različite za svaki čvor u mreži. Mjerenja se međutim vrše relativno jednostavno. Moderni uređaji za mjerenje kvalitete napona su obično u mogućnosti izmjeriti prosječne vrijednosti za napon tijekom prethodno određenog perioda vremena. Na slici 2.5. možemo vidjeti primjer kolebanja napona. U trenutku priključenja dodatnog opterećenja u mreži dolazi do pada napona napajanja. [5]

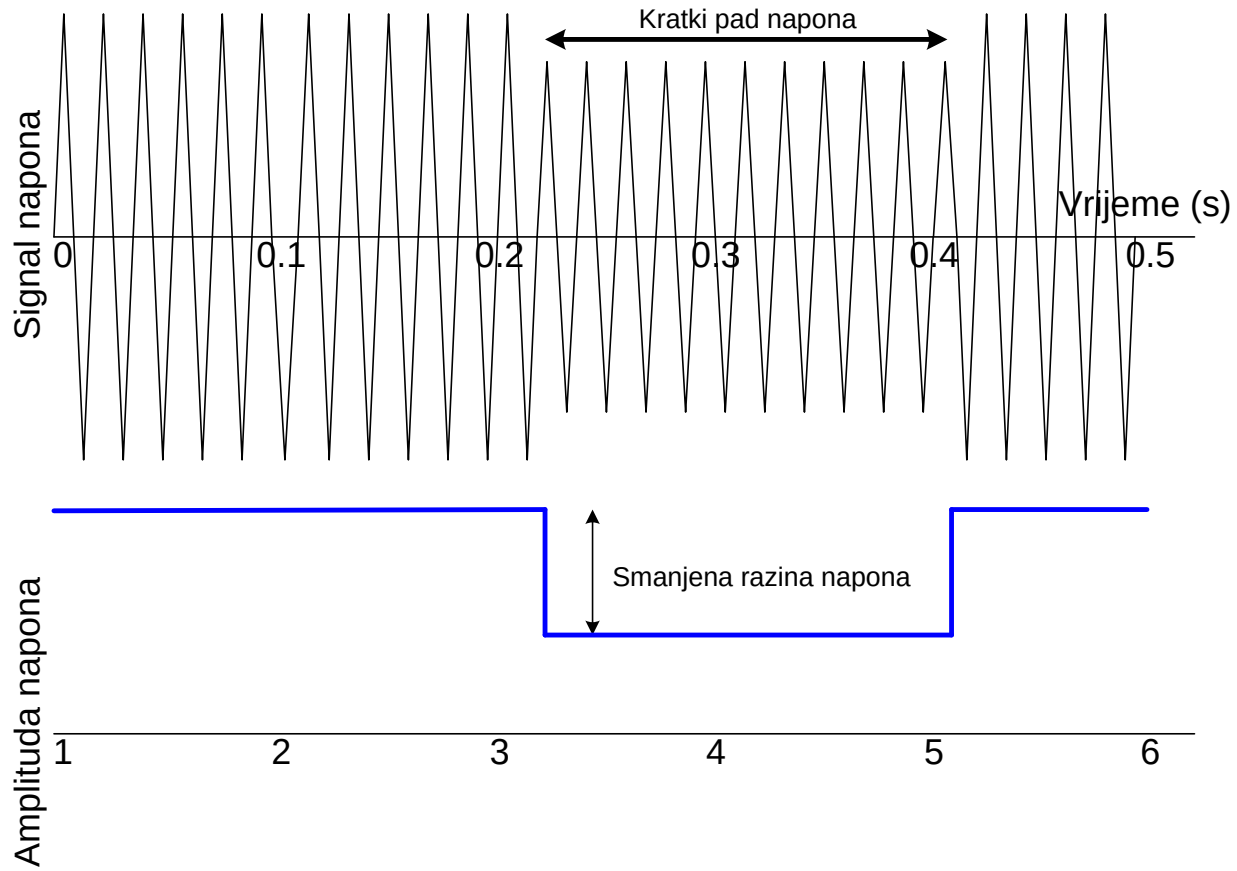


Sl. 2.3. Primjer kolebanja napona[5]

2.2.3. Nesimetrija napona

U teoriji simetričnih komponenti Fortesque je prikazao kako se bilo koji trofazni sustav može prikazati sumom triju skupina simetričnih uravnoteženih fazora. Prva skupina je istog faznog pomaka kao i fazni pomak sustava, druga skupina ima invertiran fazni pomak, dok se treća skupina sastoji od tri fazora u fazi. Normalna faza ima tri faze jednake amplitude fazno pomaknute za 120 stupnjeva. Bilo kakvo odstupanje, amplitudno ili fazno, jednog od tri signala će rezultirati inverznom komponentom faznog pomaka i/ili nultom komponentom faznog pomaka. Nesimetrija napona se može definirati kao odnos između faznog pomaka inverzne komponente i faznog pomaka direktne komponente, te je izražena u postocima. [5]

2.2.4. Naponski propadi



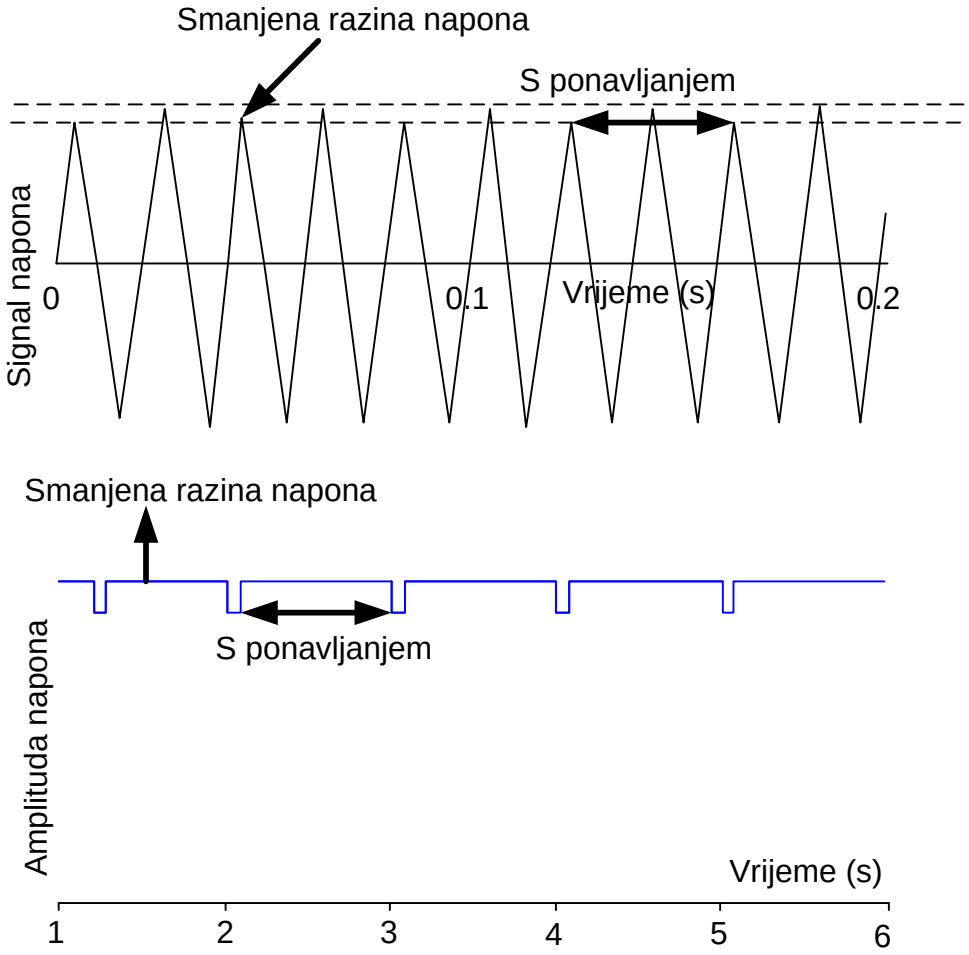
Sl. 2.4. Primjer naponskog propada [5]

Naponski propadi su slični kratkim prekidima, ali postoji jedna važna razlika. Kratki prekidi su okarakterizirani razinom napona približno nuli, to jest, manjom od 1% nominalne vrijednosti. O naponskim propadima govorimo kada se razina napona kreće između 1% i 90% nominalnog napona. Česti uzročnici naponskih propada su kvarovi u instalacijama potrošača ili u njihovim mrežama. Stoga za naponske propade mogu biti krivi i operateri mreže i potrošači. [5]

2.2.5. Flikeri

Flikeri su vizualni fenomeni koji uzrokuju promjenu u intenzitetu rasvjete i mogu biti naporne za ljude nakon određenog vremenskog perioda. Flikeri su prouzrokovani brzim promjenama napona i ovisni su o amplitudi, fluktuaciji i učestalosti ponavljanja.

Fliker se može prikazati indikatorima snage flikera P_{LT} i P_{ST}. Indikator P_{ST} se mjeri kroz period od 10 minuta i karakterizira vjerojatnost promjene napona koja će rezultirati vidnim flikerom. Indikator P_{ST} vrijednosti 1.0 predstavlja razinu kod koje će 50% ljudi primjetiti fliker u 60 vatnoj žarulji s žarnom niti. P_{LT} se računa na osnovu 12 uzastopnih P_{ST} vrijednosti.[5]



Sl. 2. 5. Primjer flikera [5]

Flikeri su najčešće prouzročeni električnom opremom spojenom na mrežu od strane potrošača. Međutim, dizajn mreže i djelovanje može smanjiti posljedice distorzije flikera. Tada se na flikere može gledati kao na greške mrežnog operatera i potrošača.

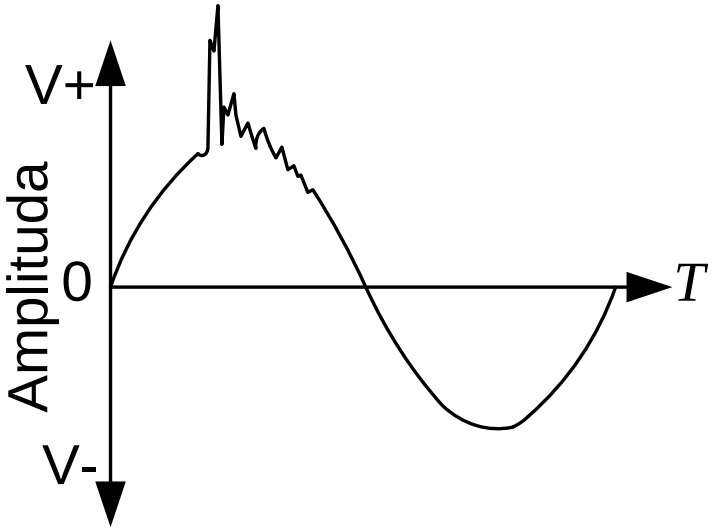
2.2.6. Tranzijentni prenaponi

Tranzijentne prenapone možemo definirati kao odziv mreže na iznenadnu promjenu u uvjetima mreže, namjerna ili slučajna, (radnja s preklopnicima ili kvar) ili poticaj na mrežu (udar groma). Prolaznost je prirodni dio procesa gdje se sustav miče iz stabilnog stanja u drugo stanje. Trajanje ovakvih prenapona je od nekoliko mikrosekundi do nekoliko milisekundi.

Možemo ih svrstati u dvije kategorije:

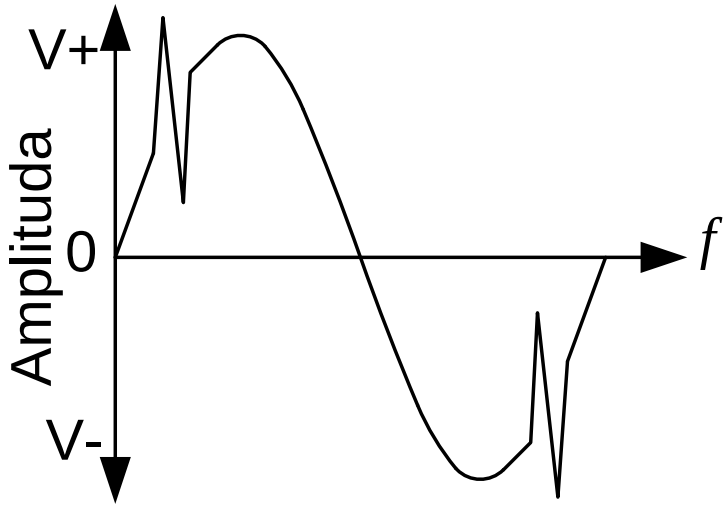
1) Impulzivne
2) Oscilatorne [6]

Na slici 2.6. je prikazan primjer impulzivnog tranzijentnog prenapona. Impulzivni tranzijentni prenaponi su nagle promjene napona te su definirane rastom napona i vremenom trajanja. Ovi tranzijentni naponi su najčešće uzrokovani udarima groma.



Sl. 2.6. Primjer impulzivnog tranzijentnog napona[6]

Na slici 2.7. prikazan je primjer oscilatornog tranzijentnog prenapona te su definirane amplitudom napona, prevladavajućom frekvencijom i vremenom trajanja. Najčešći uzrok ovih pojava su uklopi u mreži ili udari groma.



Sl. 2.7. Primjer oscilatornog tranzijentnog napona[6]

Kvaliteta električne energije se često može izjednačiti s kvalitetom napona, te se na osnovu ovih činjenica može zaključiti kako je došlo do povećanog značaja kvaliteta napona iz dva razloga:

a) Na razine kvalitete napona utječe povećana upotreba distribuirane proizvodnje i različiti elektronički uređaji (pretvarači, punjači, štedne žarulje)
b) Osjetljivi elektronički uređaji su izrazito pogođeni kvalitetom napona[3]

2.3. Troškovi loše kvalitete električne energije

Trošak loše kvalitete električne energije se može opisati kao događaj u električnoj mreži što u konačnici rezultira financijskim gubitkom. Neki od mogućih posljedica su:

- Neočekivani kvarovi napajanja
- Kvarovi ili neispravnost opreme
- Pregrijavanje opreme, čime se smanjuje životni vijek
- Oštećenje osjetljive opreme
- Smetnje u elektroničkim sustavima komunikacije
- Povećanje gubitaka u sustavu
- Potreba za povećanjem postrojenja kako bi sustav mogao podnijeti dodatna opterećenja, te dodatni troškovi rada tih postrojenja
- Troškovi zbog zagađenja mreže
- Zdravstveni problemi i smanjenja efikasnosti osoblja

Glavni zaslužnici za nizak napon i naponske propade loše kvalitete električne energije su:

- Reaktivna snaga, zbog nepotrebnog opterećenja sustava
- Harmonijsko zagađenje, zbog dodatnog opterećenja na mrežu i smanjene učinkovitosti sustava
- Nesimetrično opterećenje
- Brze promjene napona što dovodi do flikera [7]

Utjecaj na financije možemo sortirati u tri široke kategorije:

a) Izravni utjecaj – gubitak proizvodnje, vrijeme izvan pogona, resursi, ponovno postavljanje u pogon, polovično napravljeni proizvodi, šteta na opremi, izravni troškovi povezani sa zdravljem i sigurnošću zaposlenika, penali, utjecaj na okoliš
b) Neizravni utjecaj – troškovi organizacije uzrokovane kašnjenjem prihoda/profita, trošak obnavljanja brenda
c) Društveno-ekonomski utjecaj – ozljeda ili strah zaposlenika, smanjenje efikasnosti, evakuacija susjednih stambenih zgrada u slučaju industrijskog kvara.

U slučaju prestanka rada postrojenja zbog ovih čimbenika, dolazi do troškova, te iste možemo vidjeti u tablici 2.1. za različita postrojenja.

Sektor	Financijski gubici po incidentu
Proizvodnja poluvodiča (*)	3 800 000 €
Novčano poslovanje (*)	6 000 000 €/h
Računalni centri (*)	750 000 €
Telekomunikacije (*)	30 000 €/min
Industrija željeza (*)	350 000 €
Industrija stakla (*)	250 000 €
Platforme na moru	250 000 – 750 000 €/dan
Iskopavanje/amelioracija	50 000 – 250 000 €/dan

*Tab.2.1. *Rezultati istraživanja Europskog Copper instituta iz 2002. godine, ostalo su podaci ABB-a* [7]

3. NAPREDNE MREŽE

Andres Carvallo jedan od prvih začetnika koncepta naprednih mreža je 5. ožujka 2004. godine definirao naprednu mrežu :

„Napredna mreža je integracija električne mreže, komunikacijske mreže, software-a i hardware-a za nadgledanje, upravljanje i reguliranje proizvodnje, distribucije, pohranu i potrošnju električne energije. Napredna mreža budućnosti će biti distribuirana, interaktivna, samoizlječiva i komunicirati će sa svakim uređajem.“ [8]

Također, definirao je i napredniju mrežu:

„Naprednija mreža omogućava neprimjetnu integraciju nadzorne infrastrukture sa zgradama, domovima, električnim vozilima, distribuiranom proizvodnjom, pohranom energije, i pametnim uređajima za povećanje pouzdanosti mreže, energetske učinkovitosti, upotrebu obnovljivih izvora, istovremeno smanjujući kapital i operativne troškove. [8]

Zavod za energetska postrojenja (*eng. Department of Energy*) SAD-a je izdao priručnik gdje opisuje „pametniju mrežu“ i „pametnu mrežu“. „Pametnija mreža“ u tom slučaju je mreža koju je moguće realizirati u realnom svijetu, dok „pametna mreža“ predstavlja dugoročnije obećanje mreže prepoznatljive po svojoj inteligenciji, iako se smatra da smo desetljeće ili više od njezine realizacije. [9]

Diljem svijeta proizvođači i organizacije imaju svoje vizije kako bi napredna mreža trebala izgledati i što bi trebala implementirati. Neki od njih su: *EPRI* (Electric Power Research Institute), *DOE* (Department of Energy), *ABB, EU, EDF* (Electricite de France), Hydro Quebec's, *OECD* (Organisation for Economic Co-opetarion and Development), General Electric, *IESO* (Independent Electricity System Operator) i Ofgem.[10]

Na osnovu raznih izvještaja, uključujući i izvještaj Zavoda za energetska postrojenja SAD-a na temu naprednih mreža dolazimo do nekoliko zaključaka:

1) Povećan broj ispada mreže i predviđa se kontinuiran pad u pouzdanosti većih energetskih sustava
2) Povećanje neprihvatljivih utjecaja na okoliš
3) Povećanje rizika u planiranju, izgradnji i radu infrastrustrukture električne opreme:
    a) Nesigurnosti i ograničenja u nabavi goriva
    b) Rastuća važnost i volatilnost troškova i cijena sirovina i gotovih proizvoda
    c) Financijska nestabilnost

d) Globalni razvoj industrije i konkurentnost
e) Složeni novi uvjeti rada

4) Rastuća očekivanja potrošača u pogledu pouzdanosti, kvalitete i cijene usluge za električne potrošače.[11]

3.1. Preduvjeti napredne mreže

Ostvarenje naprednih mreža je moguće i u nekim primjerima se već i koristi. Mikromreže poput one na jugu Njemačke u malenom selu Wildpoldsreid, koje još 2014. godine proizvodilo 500% svoje proizvodnje, sve iz obnovljivih izvora energije, 4,983 kWp iz fotonapona, pet postrojenja na prirodne plinove, 11 vjetroturbina i sustava hidroelektrane. Samo selo broji oko 2600 stanovnika, te je realizacija sustava značajno jednostavnija na manjoj skali, međutim ovo je jedan od pokazatelja kako je moguće realizirati „pametan“ i samoodrživ sustav. [12]

Za realizaciju naprednih mreža biti će potrebno ostvariti ove preduvjete: [13]

1. Aktivno sudjeljovanje potrošača- U mreži današnjice potrošači su neinformirani i ne sudjeluju u energetskom sustavu

2. Besprijekorno smještanje mogućnosti cjelokupne proizvodnje i skladištenja

Mreža danas ima relativno malen broj elektrana koje proizvode velike količine enegije. Postoje brojne prepreke pri umrežavanju distribuiranih izvora energije (*eng. Distributed energy resources, DER*). Napredna mreža ima velik broj raznolike distribuirane proizvodnje i uređaja za pohranu, raspoređenih tako da komplementiraju velike elektrane. Više se pozornosti pridaje obnovljivim izvorima energije.

3. Opskrba novih proizvoda i usluga, te otvaranje novim tržištima

Mreža danas ima ograničeno tržište koje još uvijek traži najbolji model rada. Još postoje poteškoće u integraciji raznih komponenata. Zagušenja prijenosa razdvajaju kupce i proizvođače. Napredna mreža ima zrelo tržište veleprodaje; koje je odlično integrirano diljem zemlje, te je integrirano s koordinatorima pouzdanosti. Minimalno zagušenje prijenosa i ograničenja.

4. Kvaliteta električne energije za digitalno tržište

Mreža danas je usredotočena na ispade mreže više nego na probleme s kvalitetom električne energije. Napredna mreža će pružiti spoj kvalitete električne energije koja će udovoljiti svim potrošačkim potrebama. Poteškoće s kvalitetom električnom energijom u naprednoj mreži će se odrediti i rješiti prije same manifestacije potencijalnih kvarova.

5. Predviđanje i odziv na poremećaje u sustavu (*eng. self-heal*)

Današnja mreža djeluje kako bi spriječila daljnju štetu. Fokus je na zaštiti dijelova od daljnjih kvarova sustava. Napredna mreža automatski određuje i djeluje na trenutne distribucijske probleme. Fokus je na prevenciji. Tako se smanjuje utjecaj na potrošača.

6. Otpornost na računalne napade i prirodne nepogode (*eng. cyber security*)

Trenutna mreža je podložna zlonamjernim računalnim napadima i prirodnim nepogodama dok bi napredna mreža bila otporna na napade i prirodne nepogode sa brzim mogućnosti oporavka. Usporedbu svojstava trenutne i napredne mreže možemo vidjeti u tablici 3.1. [14]

Trenutna mreža	Napredna mreža
Elektromehanička	Digitalna
Jednosmjerna komunikacija	Dvosmjerna komunikacija
Centralizirana proizvodnja	Distribuirana proizvodnja
Manji broj senzora	Sveukupna opremljenost senzorima
Ručno nadziranje	Automatsko nadziranje
Ručno popravljanje mreže	Automatsko popravljanje mreže
Kvarovi i ispadi mreže	Prilagodljiva i otočna
Ograničena upravljivost	Potpuna upravljivost
Mali izbor za potrošače	Veliki izbor za potrošače

Tab 3.1. Kratak pregled trenutne i napredne mreže[14]

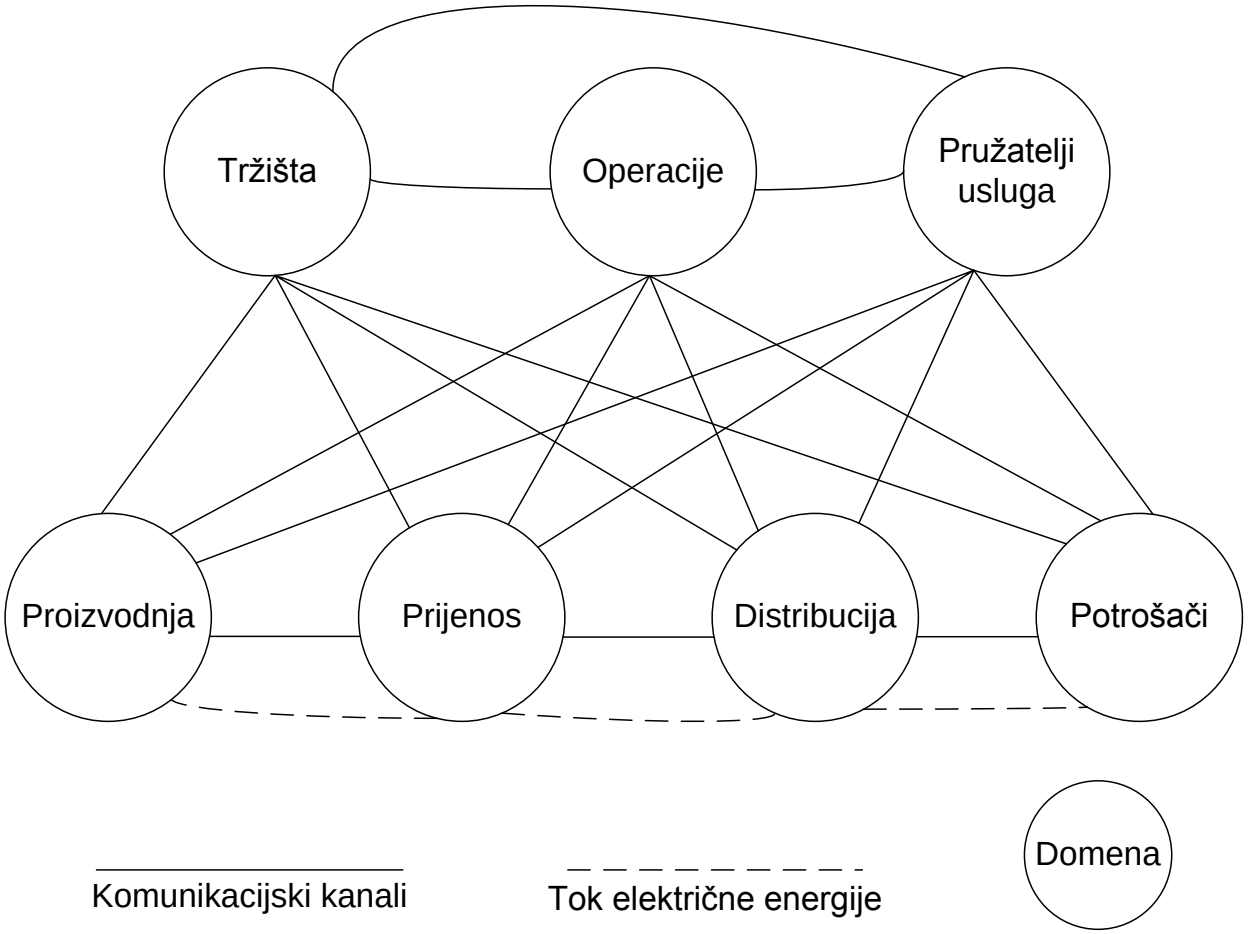
Kako bi se mogli ispuniti ovi zahtjevi, potrebna je evolucija postojećih mreža, što uključuje:

1. Visoku upotrebu obnovljivih izvora energije 20-35% do 2020.,
2. Dvosmjerno mjerenje,
3. Distribuirano skladištenje,
4. „Pametne“ mjerne instrumente koji pružaju informacije o korištenju, vremenu korištenja i dinamičko određivanje cijena skoro u stvarnom vremenu,
5. „Pametne“ uređaje koji komuniciraju sa mrežom, sustavima za upravljanje električne energije u domovima i indutrijskim postrojenjima povezanim s mrežom,
6. Povećanu upotrebu električnih vozila,
7. Umrežene senzore i automatizirano upravljanje mrežom.[13]

3.2. Model napredne mreže

Kako bi realizirali ovaj novi pogled na električnu mrežu, *NIST* (*engl. National Institute of Standards and Technology*) je predložio model (prikazan na slici 3.1.) koji bi služio kao

referenca za razne dijelove električnog sustava gdje bi bilo potrebno implementirati napredne mreže. U ovom modelu razlikujemo sedam različitih domena, u kojoj svaka predstavlja jednog ili više aktera napredne mreže. Akteri mogu biti: uređaji, sustavi, ili programi koji donose odluke i razmjenjuju informacije za izvršavanje radnji. [14]



Sl. 3.1. NIST-ov konceptualni model napredne mreže[14]

Domena	Akteri u domeni
Potrošači	Imaju mogućnosti proizvoditi, pohranjivati i upravljati upotrebom električne energije
Tržišta	Operatori i sudionici u tržištu električnom energije
Pružatelji usluga	Organizacije koje pružaju usluge potrošačima električne energije
Operateri	Upravitelji toka električne energije
Proizvodnja	Proizvođači većih količina električne energije, koji mogu pohranjivati energiju
Prijenos	Nosioci električne energije preko većih udaljenosti
Distribucija	Distributeri električne energije do i od potrošača

Tab. 3.2. Domene i akteri domena u NIST-ovom konceptualnom modelu napredne mreže[14]

Za razliku od *NIST*-ovog modela, u nastavku je predstavljen izazov i model koji je više orijentiran na tehničku stranu, te se napredna mreža sastoji od tri glavna sustava: „pametna“ infrastruktura, „pametno“ upravljanje i „pametni“ sustav zaštite.

1) Pametna infrastruktura

Sustav pametne infrastrukture podrazumijeva energetske, informacijske i komunikacijske sustave koje se koriste u naprednoj mreži koja podržava:

a) naprednu proizvodnju, dostavu i potrošnju električne energije,

b) napredno mjerenje, praćenje i upravljanje podacima,

c) napredne komunikacijske tehnologije.

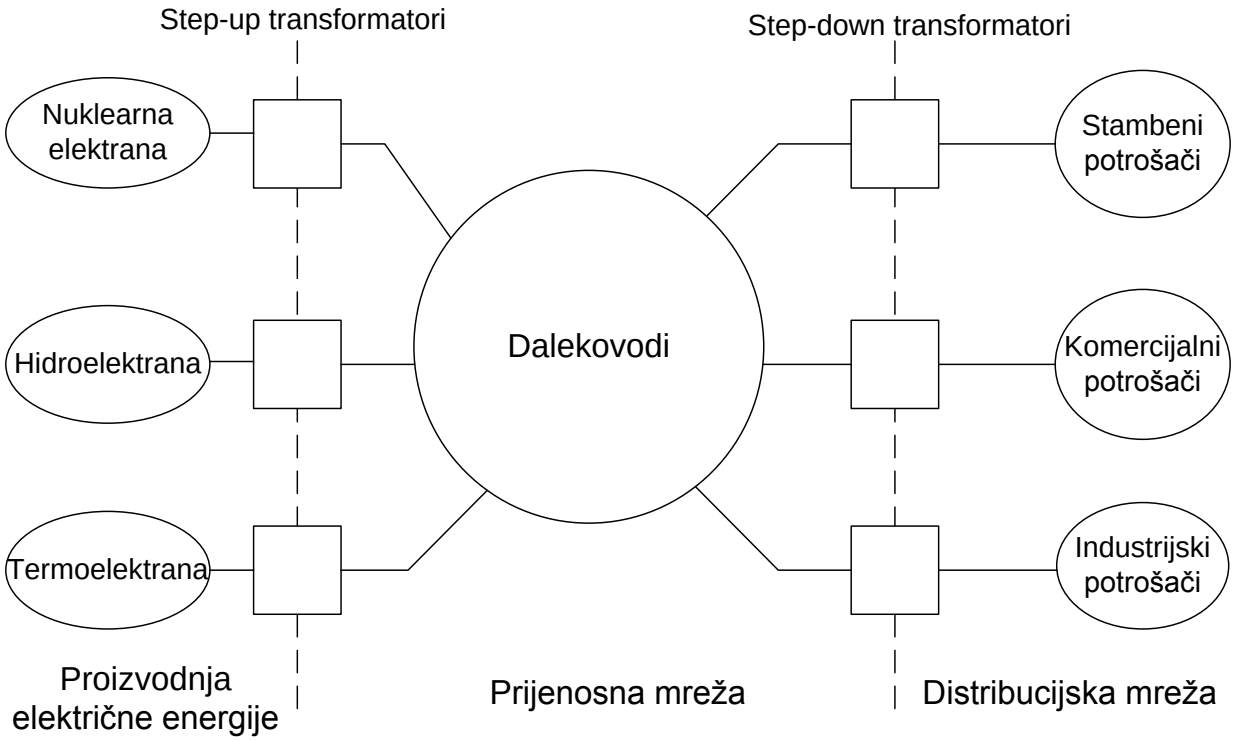
2) Pametno upravljanje

Podsustav napredne mreže koji pruža napredno upravljanje i upravljačke usluge

3) Pametni sustav zaštite

Podsustav napredne mreže koji pruža analizu pouzdanosti napredne mreže, zaštitu od kvara, sigurnost i usluge zaštite privatnosti. [14]

Na slici 3.2. je prikazan postupak od proizvodnje električne energije u elektranama i prijenos sve do krajnjih potrošača s akterima koji omogućavaju cjelokupni proces.



Sl. 3.2. Model tradicionalne mreže[14]

Kako bi električna energija bila dostupna krajnjim potrošačima u cjelokupni postupak uključeno je nekoliko aktera. Električna energija se proizvodi u elektranama, potom se prenosi pomoću dalekovoda sve do distribucijske mreže kako bi se proslijedila krajnjim potrošačima. Detaljniji opis dan je u nastavku.

1. Proizvodnja električne energije

Tradicionalna mreža je po prirodi jednosmjerna, a proizvodnja električne energije se odvija u elektrani, te se za svrhe prijenosa do potrošača podiže razina napona putem *step-up* transformatora. Potom se električna energija predaje u prijenosnu mrežu koja je usmjerena prema potrošačima. U podstanici se spušta razina napona na vrijednost distribucijske mreže, gdje se usmjerava prema potrošačima.

2. Distribuirana proizvodnja i mikromreže

Ključni primjer proizvodnje električne energije omogućena naprednim mrežama je distribuirana proizvodnja. Distribuirana proizvodnja podrazumijeva korištenje kapaciteta (u rasponu od 3kW do 10MW) kako bi poboljšali kvalitetu električne energije i pouzdanost. Primjer je mikromreža, koja je lokalizirana skupina generatora i opterećenja, koja može raditi neovisno od električne mreže te tako mogu napajati lokalne potrošače bez napajanja izvana.

Međutim, implementacija distribuiranih generatora nije u potpunosti toliko jednostavna. Potrebna je proizvodnja električne energije na velikoj razini iz obnovljivih izvora energije, a ona ovisi o mnogo faktora, te je kao takva podložna promjenama. Problem leži u razlici o dostupnosti obnovljivih izvora energije i uzorcima potražnje, što otežava učinkovitu upotrebu distribuirane proizvodnje. Također, dovodi se u pitanje ekonomska isplativost rada distribuirane proizvodnje, budući da su operativni troškovi veći od tradicionalnog načina proizvodnje električne energije u velikim elektranama. Ukoliko se razmatraju dobrobiti u pogledu kvalitete električne energije, potrebna su daljnja istraživanja kako uskladiti visoka ulaganja i pouzdane izvore napajanja distribuirane proizvodnje.

Trenutno stajalište je kako će se prijelaz na ovakav način napajanja i proizvodnje električne energije odvijati u tri faze:

1) Prilagodba distribuirane proizvodnje trenutnom elektroenergetskom sustavu
2) Uvođenje decentraliziranog sustava distribuirane proizvodnje u suradnji s centraliziranim sustavom proizvodnje
3) Opskrbljivanje većinskim dijelom iz distribuirane proizvodnje i ograničenim dijelom iz centralne proizvodnje
3. Prijenosna mreža

Na pametnu prijenosnu mrežu se može gledati kao na skup triju interaktivnih komponenti koji zajedno djeluju: pametni upravljački centri, pametna mreža prijenosa električne energije i pametne podstanice. Postupno će se implementirati „pametne“ karakteristike napredne mreže na postojećoj prijenosnoj infrastrukturi što će rezultirati otpornijom i održivijom mrežom.

4. Distribucijska mreža

Zadatak distribucijske mreže će biti učinkovitija dostava električne energije do potrošača. povećanim brojem distribuiranih proizvođača integriranih u naprednu mrežu povećati će se fleksibilnost sustava, no isto tako će se povećati složenost upravljanja tokovima snaga.[14]

3.3. Pametna mjerila

Jedan od čimbenika ka realizaciji naprednih i „pametnih“ mreža su i mjerila koja se koriste kako bi prikupljali relevantne podatke o proizvodnji sa strane operatera mreža i podatke o potrošnji sa strane krajnjih potrošača. Tradicionalna mjerila koja se trenutno koriste na našim prostorima prate samo potrošnju, te iznos računa znamo tek na početku novog mjeseca kada se fizički očita stanje brojila. Napredna mjerila nastoje promijeniti taj proces, kako bi krajnjim korisnicima mogli dati trenutno očitanje i trenutni iznos računa za tekući mjesec. Uvode se dvosmjerna mjerila koja bi očitavala informacije, ne samo o energiji koja se preda krajnjem

korisniku, već i energiji koja je predana od strane krajnjeg korisnika nazad u mrežu. U ovom slučaju nije samo napredak sa strane potrošača, već i sa strane proizvođača, kojemu se dostavlja stanje trenutne potrošnje komplementirano s dodatnim informacijama. Pametna mjerila mogu očitavati trenutnu potrošnju energije, fazni kut, frekvenciju, te sigurno prenijeti ove informacije. [15]

U ovom slučaju se sustav sastoji od:

a) Pametnih mjerila
b) Komunikacijske infrastrukture
c) Upravljačkih uređaja

Ovako bi se omogućila ne samo komunikacija i izvršavanje naredbi na daljinu, već i lokalno. Omogućilo bi se mjerenje i upravljanje svim kućanskim aparatima i uređajima na području krajnjeg korisnika.

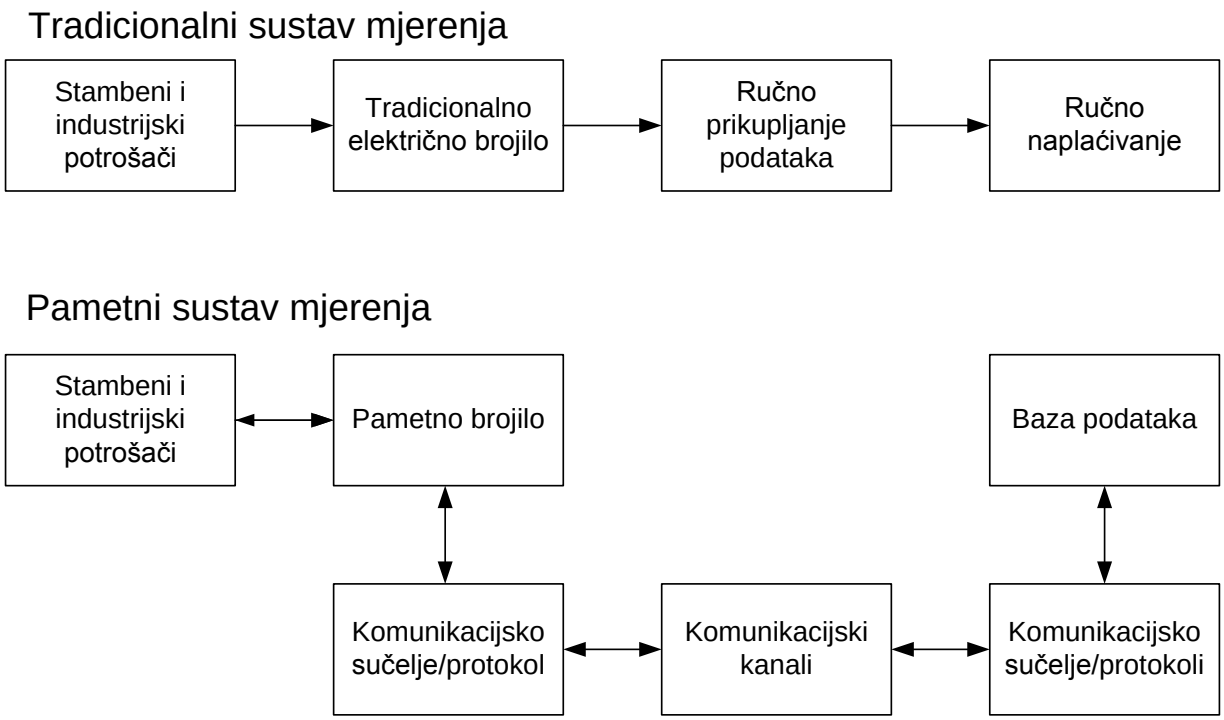
Također, pametna mjerila bi:

a) prikupljala podatke o potrošnji iz električne mreže
b) pružala podršku decentaliziranoj proizvodnji i spremnicima energije
c) vršila naplatu potrošnje

Kako je sam skup podataka prikupljan od strane pametnog mjerila značajno složeniji od tradicionalnih brojila, svako brojilo će imati svoj identifikator s vremenskim pečatom za podatke o potrošnji. Ono što će svakako olakšati posao distributerima električne energije je mogućnost pametnih brojila da:

a) Ograniče maksimalnu potrošnju električne energije
b) Ukidanje i ponovni priključak električne energije bilo kojem potrošaču na daljinu

Na slici 3.3. možemo vidjeti usporedbu tradicionalnog modela i modela pametnog brojila:



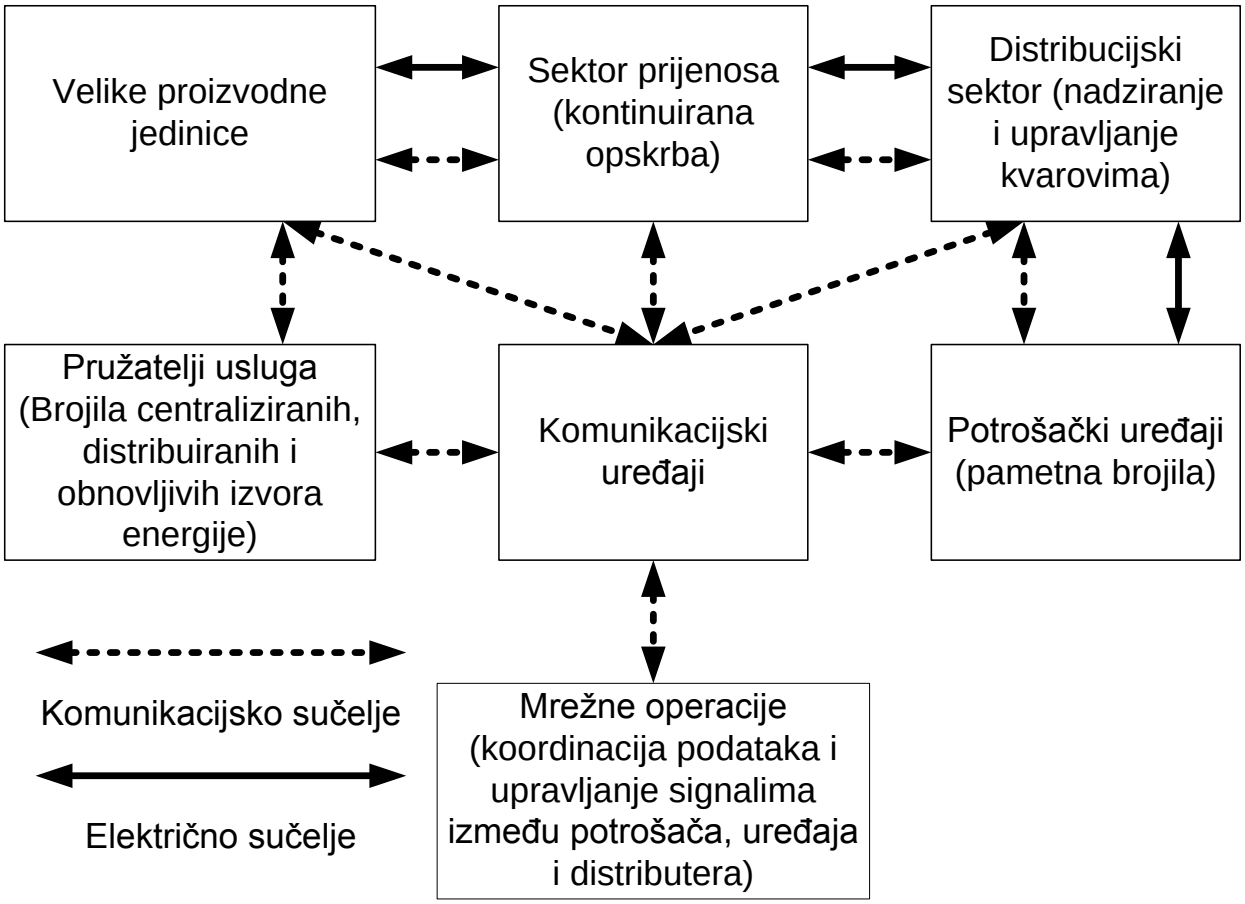
Sl. 3.3. Usporedba tradicionalnog i pametnog sustava mjerenja[15]

Ovakav sustav bi se sastojao od nekoliko upravljačkih uređaja, raznih senzora koji bi određivali parametre i uređaje kojima treba proslijediti te podatke i upravljačke signale. Možemo reći kako će u budućnosti pametna mjerila igrati značajnu ulogu u distribucijskim mrežama, prateći potrošnju i opterećenje mreže, te prikupljajući podatke o potrošnji svih potrošača na dnevnoj bazi. Na taj način omogućuje se efikasnija upotreba električne energije. Također, se mogu informirati potrošači o tome kako efikasnije koristiti kućanske aparate. Na ovaj način će biti moguće upravljati svjetlom, grijanjem, klimom i ostalim uređajima, kako bi se efikasnije koristila električna energija.Pomoću pametnih brojila moći će se napravitiraspored po kojemu će raditi uređaji. Distributeri električne energije će moći pratiti neovlašteno korištenje električne energije i vršiti točniju naplatu iskorištene električne energije. [15]

3.3.1. Komunikacijske tehnologije

Kako je sam zadatak prikupljanja ove količine podataka složen i zahtjevan proces, velik se značaj stavlja na sigurnost podataka. Osim sigurnosti podataka još jedna od velikih značajki ovih informacija je njihova potpunost. U ovim paketima informacija trebali bismo imati sve informacije o potrošnji električne energije i stanju mreže. Na slici 3.4. je predstavljen model kojim bi se mogli ostvariti svi ovi zahtjevi i načinu komunikacije između svih elemenata. Sektor prijenosa osigurava prikladan prijenos proizvedene električne energije, upravljački sustavi u distribucijskom sektoru osiguravaju praćenje i upravljanje kvarovima, a komunikacijski uređaji

kao što su protokoli gateway-a, pikupljači podataka (*eng. data collectors*), ponavljači (*eng. repeaters*) i mrežne operacije koordiniraju podatke i upravljačke signale između svih uređaja u komunikacijskoj mreži. Već smo spomenuli kako pametna brojila ili uređaj imaju svoj jedinstveni identifikator kojim su određeni. Identifikatori su osigurani kroz kriptografske tehnike. Odabrana komunikacijska mreža mora podržavati rad pametnih mjerila, čak i u slučaju prekida napajanja i mora podržavati automatizaciju distribucije. Odabrana mreža i njezine komponenete moraju biti isplative i dostavljati podatke prema njihovom vremenu i slijedu.



Sl. 3.4. Komunikacijsko sučelje u pametnom mjernom sustavu[15]

Kako bi odabrali ispravnu tehnologiju ona mora zadovoljavati nekoliko kriterija. Neki od njih su ekonomska isplativost, dostatna udaljenost, prijenosna udaljenost, sigurnosne značajke, propusnost. Postoji nekoliko tehnologija danas dostupnih, no od tehnologija koje se implementiraju danas to su *GPRS* i *PLC* (*eng. Power Line Carrier*) zbog jednostavnosti održavanja i ekonomske isplativosti. *Bluetooth* tehnologija je moguće rješenje za komunikaciju upravljačkih signala i prijenos podataka o potrošnji energije, te mjerilo može prikupljati i slati podatke o potrošnji energije bežično u središnju baznu stanicu. *PLC* tehnologija koja koristi postojeću električnu mrežu i postojeće komunikacijske kanale je vrlo učinkovita za

automatizaciju podataka u primjenama pametnih mjerila. Što se tiče implementacije komunikacijskog sustava *GPRS*-a na specifičnom području, prvo je potrebno odrediti dostupnost i kvalitetu signala.[15]

3.3.2. Poteškoće i izazovi

Unatoč prednostima koje donose napredna mjerila, jedan od najvećih izazova je opravdanje za ulaganje nekoliko milijardi dolara za vođenje i održavanje distribucijske mreže nakon implementacije pametnih mjerila. Ovdje se javlja izazov i za distributere električne energije pošto zamjena klasičnih brojila s pametnim mjerilima spada pod njihovu domenu. Moguća je i odgoda implementacija pametnih mjerila zbog nedostatka prikladne infrastrukture za usklađivanje nove tehnologije s postojećima. Kako su pametna mjerila skup nekoliko mjernih uređaja, potpunu iskoristivost pametnih mjerila moguće je ostvariti tek kada su svi uređaji u distributivnoj i mjernoj mreži uključeni u komunikacijsku mrežu. Zadatak implementacije pametnih mjerila postaje još teži s povećanjem broja potrošača.[15]

Također, prijelaz na pametna brojila će biti suočen s negodovanjem ljudi iz sigurnosnih razloga. Integracijom pametnih brojila podaci o potrošnji se automatski šalju distributeru električne energije. Kako se ti podaci kontinuirano šalju, u slučaju napada na privatnost potrošača moguće je odrediti potrošačke navike. Kada je potrošač u domu i koji se uređaji koriste. Iz ovih razloga moguće je postojanje skupine potrošača koji neće htjeti prijeći na pametna brojila.

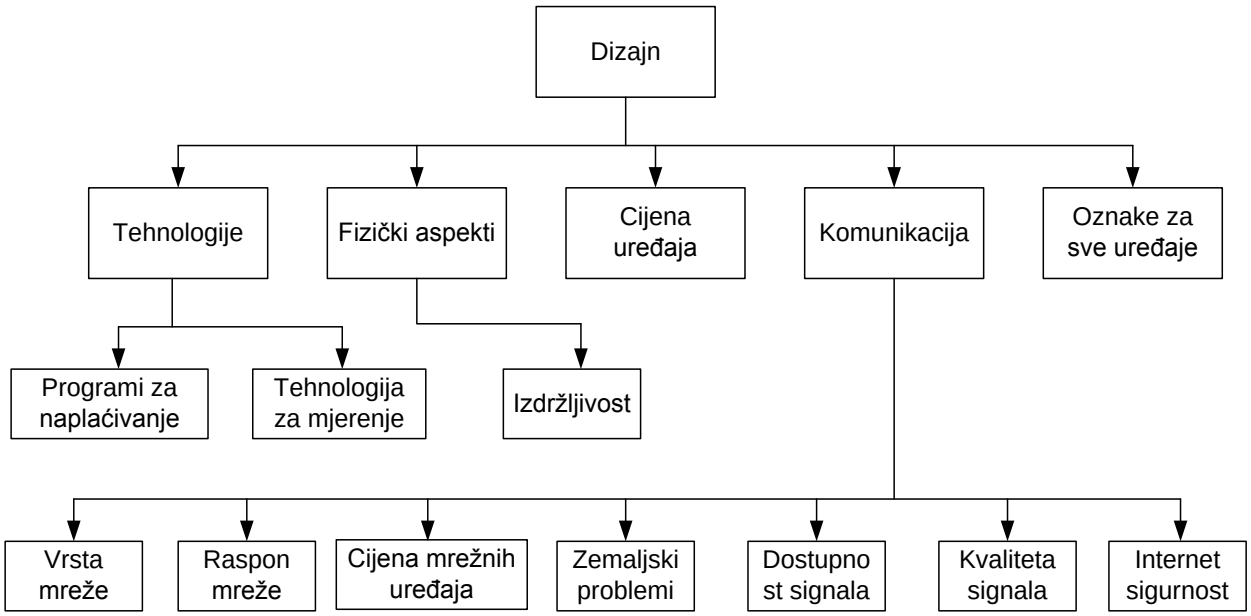
Javljaju se i tehnički problemi koji bi se mogli razmatrati prilikom odabira komunikacijske tehnologije. Protokol *DNP3* (*eng. Distributed Network Protocol*) je skup komunikacijskih protokola koji se između komponenata u sustavu za automatizaciju procesa.

Slanje podataka o potrošnji električne energije kroz javne komunikacijske mreže kao što je mobilna mreža uključuje sigurnosne rizike. Još jedan sigurnosni problem bi mogla biti slaba enkripcija i zaštita podataka, kvaliteta implementiranog *software*-a, rukovanje greškama, slabi protokoli i nepravilno upravljanje sesijama.

Budućnost „pametnog“ mjerenja ovisi o politici distribucijskih tvrtki i ustrojstva Vlade u pojedinim državama. Iako su potrošački *gateway*-i inteligentni i kompaktibilni s ostalim uređajima, skloni su fizičkim i *cyber* napadima. Kako su sama pametna brojila smještena na otvorenom u nesigurnom okruženju potrebno je osigurati prikladno kućište koje će biti sigurno.

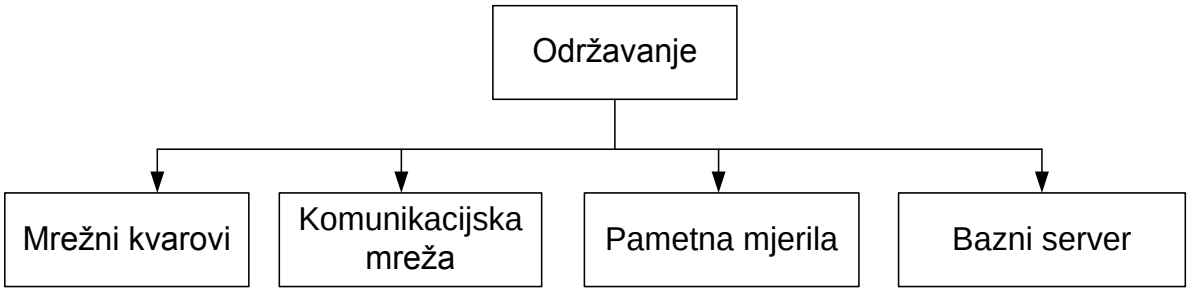
Nakon implementacije potrebne infrastrukture, sljedeća prepreka koja se javlja je održavanje svih komponenata mreže u slučaju kvarova. Ovo također uključuje poteškoće sa serverom koji pohranjuje podatke o potrošnji električne energije. Osim ovih poteškoća,

obrađivanje podataka može također predstavljati veliki problem. Pod taj problem spada prijenos veće količine podataka, koje varijable se moraju poslati, obim i količina podataka kojima potrošač i distributer mogu pristupiti, te parametri koji su potrebni kako bi predstavili vjerodostojnu potrošnju električne energije, modulacija podataka prije prijenosa i demodulacija podataka nakon prijenosa.[15] Na slici 3.5. prikazane su poteškoće u pojedinim segmentima koje se javljaju prilikom dizajniranja naprednog mjernog sustava.



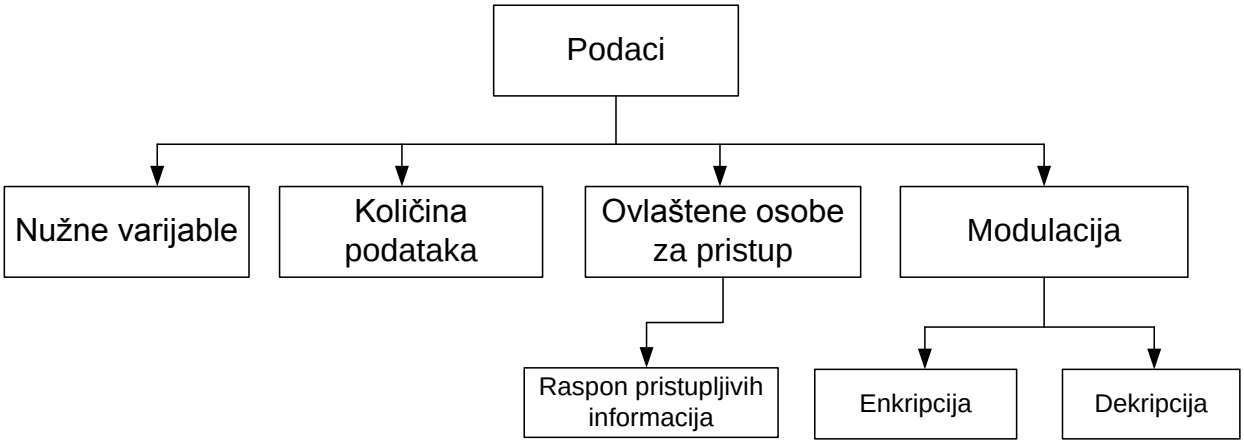
Sl. 3.5. Poteškoće dizajna pametnog mjernog sustava[15]

Na slici 3.6. su prikazani problemi održavanja pametnog mjernog sustava.



Sl. 3.6. Problemi održavanja pametnog mjernog sustava[15]

Na slici 3.7. su prikazani izazovi s obradom i prikupljanjem podataka u pametnom mjernom sustavu.



Sl. 3.7. Izazovi s prijenosom podataka u pametnom mjernom sustavu [15]

3.3.3. Primjena i prednosti

Očitavanje konvencionalnih brojila naporan je, kontinuiran i skupocjen posao. U ovom sustavu, potrebno je poslati osobu na teren gdje se vrši očitavanje svakog pojedinog brojila kako bi se izdao račun za potrošača. To se nastoji pojednostaviti uvođenjem pametnih brojila i prikladnim komunikacijskim mehanizmima. Povećana sigurnost energije i ušteda električne energije je razlog za instalacijom i prihvaćanjem pametnih mjerila. Pametna mjerila potiču potrošače za uštedom električne energije pomažući im kako bi održali potrošnju i trošak njihove potrošnje električne energije.

Geografski sustav informacija (*eng. Geographic Information System, GIS*) se može integrirati u pametna brojila kako bi se odredila točna lokacija mogućeg kvara. Brza identifikacija i ispravljanje kvara i ostalih poteškoća koje zahtjevaju pažnju distributera smanjuje sveukupno trajanje beznaponskog stanja.

Osim spomenutih prednosti neke od mogućnosti koje se javljaju su nove i dinamične tarife koje omogućuju pogodnosti za krajnjeg korisnika. Ovo bi omogućilo ravnanje krivulje potrošnje.

HAN (*eng. Home Area Network*) tehnologija ima mogućnost integracije uređaja za upravljanje teretom kako bi se omogućio bolji uvid u željeno opterećenje i opremu kako bi se moglo pristupiti sveukupnoj potrošnji električne energije i ostalim parametrima kvalitete električne energije. *HAN* tehnologija podržava i *plug-in* hibridna vozila (*eng. PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles*) i postrojenja za distribuiranu proizvodnju električne energije u komunikacijskoj mreži.

3.4. Procjena stanja u naprednim mrežama

Stanje u električnim mrežama se prati konstantno kako bi se osigurali normalni i sigurni uvjeti rada cjelokupnog sustava.

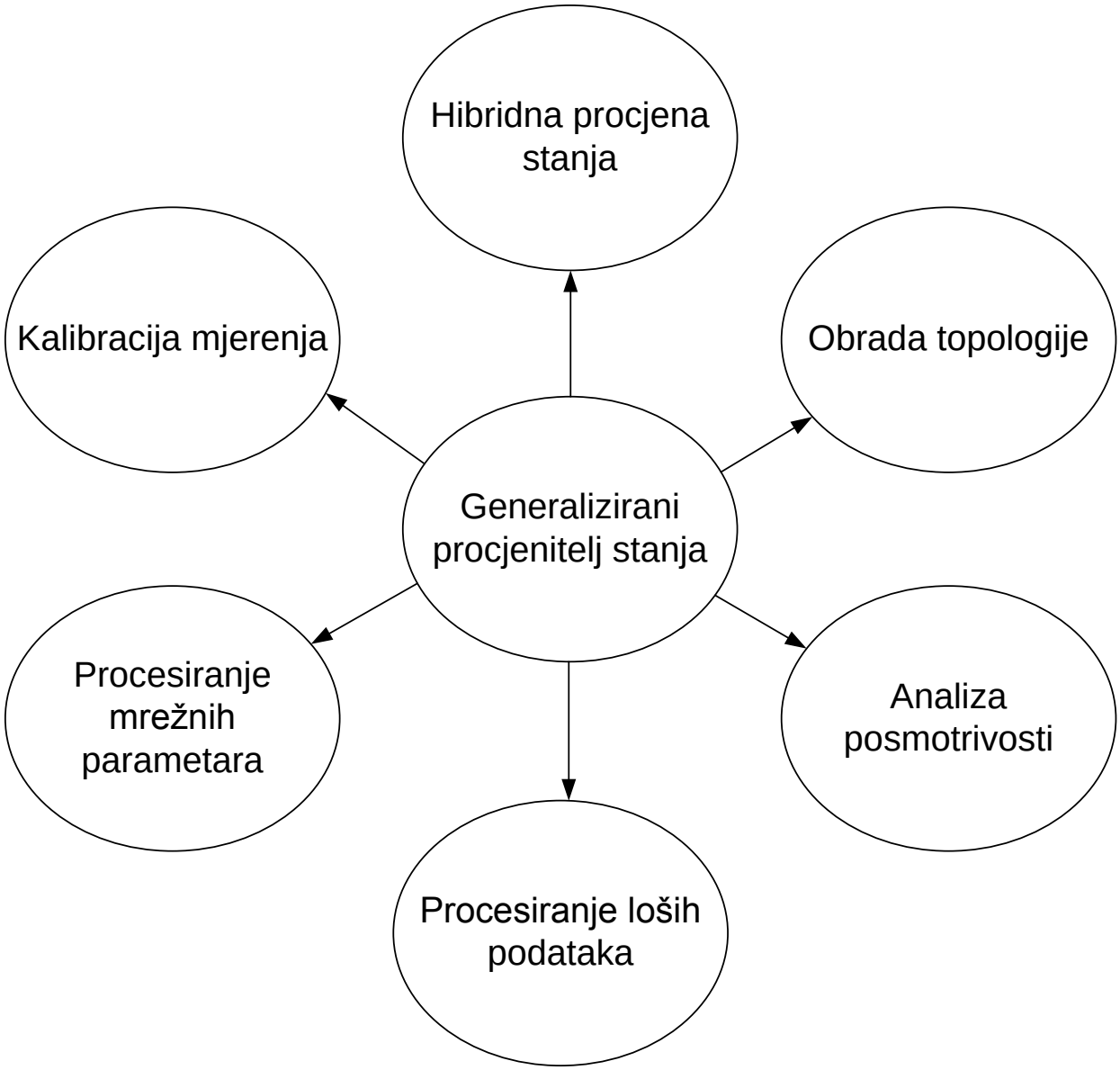
Razlikujemo tri stanja mreže:

- normalno stanje mreže
- stanje uzbune
- stanje oporavka[16]

Procjenjitelj stanja (*eng. State Estimator, SE*) koristi prikupljene podatke mjerenja čija vrsta i lokacija se određuje kako bi se pronašlo jedinstveno rješenje za stanja sustava. U zadnje vrijeme se sve više koriste jedinice za mjerenje fazora (*eng. Phasor Measurement Unit, PMU*) koje mjere fazore napona na sabirnicama ili struja u granama, koji se zatim prikupljaju zajedno s podacima *GPS*-a (*eng. Global Positioning System).* Koncept procjene stanja je prvi put predstavio Fred Schweppe u energetskim sustavima za procjenu amplitude napona i faznog kuta na svim sabirnicama sustava. Također jepredložio metodu ponderiranih najmanjih kvadrata kao procjenitelja koristeći Jakobijan mjerne matrice.

Kako bi dobili pouzdanu procjenu stanja, procjenitelj bi trebao biti u mogućnosti odrediti ukupan iznos mjernih pogrešaka.[16]

Na slici 3.8. su prikazane glavne uloge generaliziranog procjenitelja stanja.



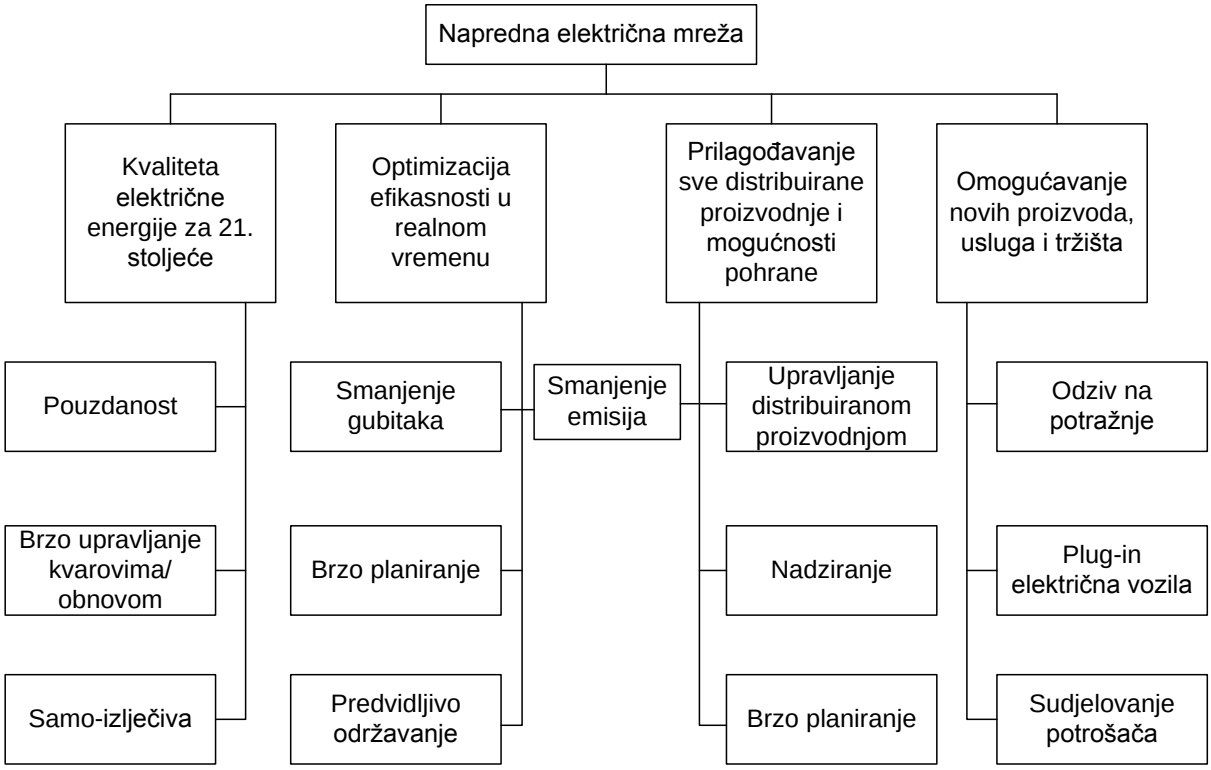
Sl. 3.8. Glavne funkcije generaliziranog procjenitelja stanja [16]

Koncept hibridne procjene stanja se razvio kako bi se integrirao *PMU (eng. Phasor Measurement Unit)*sustav s konvencionalnim mjernim tipovima zbog velikog broja tradicionalne opreme instalirane u energetskim sustavima. Skup ovakvih značajki u jednoj metodi procjene stanja je poznata kao generalizirana procjena stanja što možemo i vidjeti na slici 3.8..

3.4.1. Uloga metode procjene stanja u naprednim mrežama

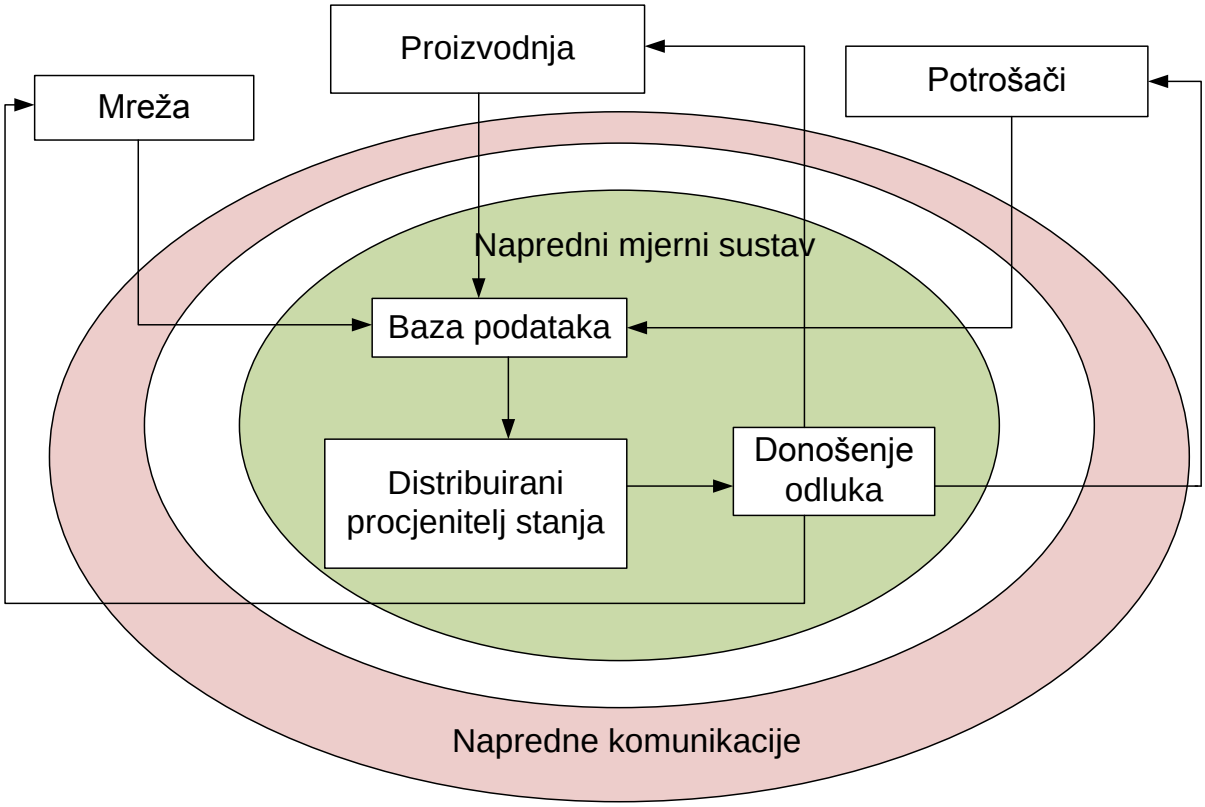
Kako smo već u nekoliko navrata naveli potrebni su nam visokoučinski proizvodi i usluge kako bi mogli ostvariti dostatnu kvalitetu električne energije za 21. stoljeće. Osim takvih proizvoda i usluga trebati ćemo još nekoliko tehnologija koje karakteriziraju napredne mreže. Kako bi se ostvarili ciljevi za ostvarenje naprednih mreža morat će se omogućiti neke funkcije kao što su vremenska optimizacija rada, kratki ispadi/upravljanje oporavkom, procjenjivanje pouzdanosti,

poboljšavanje kvalitete električne energije u stvarnom vremenu, odziv na potraživanje potrošača i upravljanje distribuiranim izvorima. Kako bi ovo bilo moguće, od izuzetne važnosti će biti integracija naprednog mjerenja i upravljačkih tehnologija u distributivnim mrežama. Stoga, će unaprijeđene metode procjene stanja biti korištene kao podrška raznim funkcijama povezane s odlikama u naprednim mrežama. Neki od razloga za implementaciju ovakve procjene stanja su predstavljene na slici 3.9. Kako će distributivne mreže prihvatiti većinu promjena u prijelazu na napredne mreže, upotreba metode procjene stanja distribucije je korisna i nužna u naprednom upravljačkom sustavu distribucije. Na slici 3.9. prikazana je sveukupna uloga ove metode procjene stanje distribucije u naprednim mrežama.[16]



Sl. 3.9. Razlozi upotrebe metodeprocjene stanja u naprednim mrežama[16]

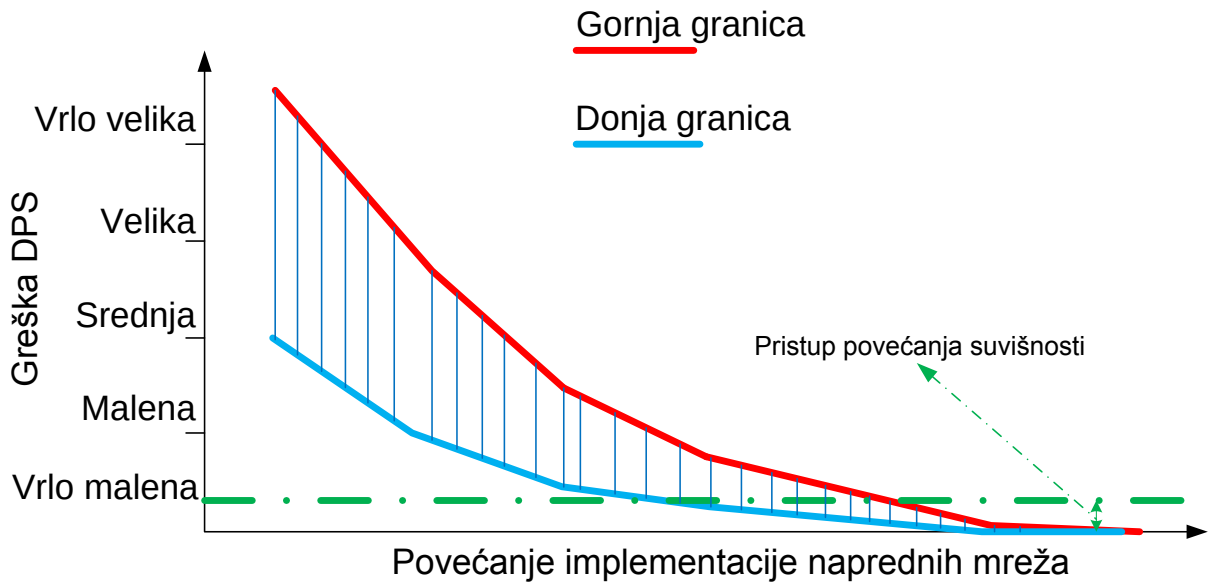
Osim pružanja stanja napredne mreže u stvarnom vremenu, metoda procjene stanja distribucije bi trebala biti u mogućnosti pružiti informacije o stanju mreže u neposrednoj budućnosti. Kalkulacija i određivanje budućih stanja, točno i brzo, kao i modeliranje opterećenja i procjena tereta su put ka višenamjenskom upravljanju mreže kako bi ostvarili važne ciljeve kao što su efikasnost, pouzdanost i optimizacija kvalitete. Metode procjene stanja distribucije mogu poslužiti kao podrška za ulaganja ili revitalizaciju odgode za planiranja, te za integraciju povećanog broja distribucijskih generatora.[16] Slika 3.10. daje pregled ulofe distribuiranog procjenitelja stanja u naprednim mrežama.



Sl. 3.10. Pregled uloge metode distribuiranog procjentelja stanja u naprednim mrežama[16]

Ova funkcija je ključna u mjestima gdje imamo rast prodora *plug-in* električnih uređaja u distribucijskoj mreži za promjenu u službi veličine kVA. Jedan od prijedloga je analiza električnih valnih oblika napajanja u stvarnom vremenu kako bi se predvidjeli kvarovi i procijenila stanja distribucijskih vodova i mrežnih aparata. U ovakvom slučaju, procjenitelj stanja distribucije može poboljšati strategiju prediktivnog održavanja kako bi spriječili kvarove mrežnih komponenti. Dvije razine procjenitelja stanja su; na razini tijela za uravnoteženja i na razini koordinatora pouzdanosti, a postoje danas u prijenosnim sustavima.

Kako bi se odredilo stanje mikromreže i aktivno upravljanje teretom, procijenitelj stanja podataka (*engl. Data State Estimator, DSE*) može imati specifičnu ulogu. Kako bi mogli dobiti najtočnije podatke i procjenu stanja mreže, potrebno je imati potpuni pregled mreže, točnost mjerenja i robustan algoritam procjene stanja. Ostvarivanje visoke točnosti procjene stanja u naprednim mrežama moguće je velikim prodorom *PMU* uređaja i tehnologijama za sustav širokopojasnog mjerenja. Na slici 3.11. možemo primjetiti trend opadanja greške procjene stanja distribucije sa povećanjem implementacije naprednih mreža. Možemo zaključiti kako mjerenja u stvarnom vremenu pružaju potpuni pregled distribucijske mreže, te na taj način se mogu lakše otkriti greška u budućim planiranjima.[16]



Sl. 3.11. Odnos greške procjenitelja stanja i razine implementacije naprednih mreža[16]

3.5. Mikromreže i uloga potrošača

Pojam „mikromreža“ predstavlja instalaciju potrošača koja sadrži proizvodnju i potrošnju, gdje postoji velika upravljivost izmjene snage između mikromreže i ostatka mreže. Mikromreže pružaju mogućnost pomicanja opterećenja i smanjenja vršnog opterećenja preko potrošačke strane. Potrošači u tom slučaju mogu koristiti električnu energiju iz vlastite proizvodnje ili čak istu prodavati nazad u mrežu tijekom vršnih perioda, te tako povećati energetsku učinkovitost i odgoditi ulaganja u prijenosne i distribucijske mreže. Kako bi mogli uvesti ovakav način djelovanja potrošača potrebno je uvesti „pametna“ mjerila, dvosmjernu komunikaciju i tako pružiti potrošačima i operaterima informacije potrebne za donošenje odluka. Sustav automatizacije tradicionalnog sustava zasnovan je na dizajnu i radnjama sustava od prije nekoliko desetljeća ili je teškoimplementirati takve u postojeće mreže. Osim implementacije ovih tehnologija u mrežu, napredni sustavi također imaju za zadatak implementaciju automatizacije sustava (uključujući prijenos, distribuciju, podstanice, individualna napajanja i individualne potrošače). Dodatni razlog implementacije naprednih sustava je unapređenje električne energije potrošačima. Kroz „pametna“ mjerila potrošači postaju aktivni. Dobivaju mogućnost praćenja vlastitog napona i snage, te mogu upravljati potrošnjom. Povratna informacija o potrošnji je jedan od ključnih alata za uštedu energije. [3]

Jedna od bitnijih stavki vezano za napredne mreže je usklađivanje proizvodnje i potrošnje. U tradicionalnim sustavima su proizvodnja i potrošnja neovisna jedna o drugoj, te se mreža mora

nositi s maksimalnim iznosom proizvodnje i maksimalnim iznosom potrošnje. Ovaj pristup određuje ograničenja na obje strane. Kako bi se ostvario ovaj cilj, komunikacijske tehnologije bi poticale promjene proizvodnju i potrošnje. Postoje različite metode dostupne za uravnoteženje proizvodnje i potrošnje dok istovremeno optimiziraju energetsku učinkovitost, pouzdanost i kvalitetu električne energije.

3.5.1. Fizički spremnici energije

U obliku akumulatora ili hidro pumpi. Ovakve vrste pohrane mogu biti u vlasništvu i upravljani od strane potrošača, u vlasništvu potrošača upravljani mrežnim operatorom, ili u vlasništvu i upravljani mrežnim operatorom.

3.5.2. Virtualni spremnici energije

Premještanjem potrošnje električne energije za neki drugi trenutak, te se tako privremeno "pohrani" električnu energiju. Često se spominje punjenje akumulatora automobila, ali se može koristiti za hlađenje i grijanje tereta. Ovaj pristup ne rezultira uštedom energije već učinkovitijom upotrebom proizvodnih jedinica i sustava energetskih transportnih kapaciteta.

3.5.3. Odbacivanje opterećenja (*engl. load shedding*)

Koristi se kad sve ostale metode ne djeluju. Ova metoda je danas dostupna, ali se rijetko kada koristi. U nekim slučajevima odbacivanje manjeg opterećenja može dovesti do uštede velikih ulaganja u sustavu. Na podfrekventno odbacivanje opterećenja koje se koristi u svim sustavima, može se gledati na ekstreman slučaj rezervnog kapaciteta u obliku rasterećivanja.

3.5.4. Smanjenje proizvodnje

Za obnovljive izvore energije kao što su Sunce ili vjetar, primarni izvori energije se obično pretvaraju u električnu energiju u trenutku kada su dostupni, ali ukoliko proizvodnja premaši potrošnju, moramo isključiti obnovljive izvore energije, ili smanjiti proizvodnju.

3.5.5. Pomicanje proizvodnje

Za izvore kao što su zemni plin ili hidroenergiju, primarni izvorni energije mogu se privremeno pohraniti, te se iskoristiti kasnije. Ovim načinom se primarni izvor energije može sačuvati i upotrijebiti kasnije. [3]

4. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NAPREDNIM MREŽAMA

Kvaliteta električne energije je od sve većega značaja uvođenjem „pametnih“ komponenata koje vode ka naprednim mrežama. Kao što je već navedeno postoji određena vizija što bi napredna mreža trebala obuhvaćati i izazovi koji se javljaju. Uvođenjem sve veće količine obnovljivih izvora moraju se donijeti određena tehnička rješenja, kako bi se osigurala pouzdanost i stabilnost elektroenergetske mreže. Uvođenjem pametnih brojila donose se značajne promjene u načinu otklanjanja kvarova u mreži, naplati potrošnje i nadziranju stanja mreže. Veliku ulogu imaju i električna vozila koja postaju sve češća alternativa tradicionalnim načinima transporta.

4.1. Reaktivni i proaktivni pristup

4.1.1. Reaktivni pristup

U slučajevima kvara ili ispada mreže operateri o tome prvotno saznaju putem povratne informacije potrošača koji stanje dojavljuju distributeru električne energije. Ovakav pristup nazivamo reaktivni pristup. Imamo veliki vremenski period od trenutka ispada mreže do trenutka same prijave kvara i popravka. Iz razloga što postoji mogućnost kako su potrošači tek kasnije primjetili smetnje u mreži koje su se morale prijaviti.

Procedura je sljedeća:

1) Nakon smanjenja jakosti žarulja i treperenja potrošač obavještava distributera o kvarovima opreme i mreže.
2) Distributer dispečira operatera kako bi se dobila mjerenja i odredila ozbiljnost fluktuacija napona
3) Kako poremećaji mogu biti kratke prirode, ukoliko mjerenja ne pokažu anomalije u mreži, mogu se postaviti mjerila parametara kvalitete električne energije na strani potrošača i/ili nekoliko dodatnih lokacija kako bi se pratile promjene u mreži. Tako se određeni vremenski period prate vrijednosti i određuju mogući kvarovi.
4) Potom se prikupljena mjerenja analiziraju kako bi se odredilo prelaze li mjerenja dozvoljene vrijednosti. Ova mjerenja su osnova za određivanje uzroka kvarova.

Ovaj pristup je stoga ovisan o dvije važne stavke, vrijednosti koje prelaze postavljena ograničenja i o obavijesti potrošača o mogućim kvarovima. Stoga je obavijest potrošača bitna, kako bi se odredili i otklonuli problemi u mreži. [17]

4.1.2. Proaktivni pristup

Za razliku od reaktivnog pristupa rješavanju problema, proaktivni pristup pomoću rastućih mogućnosti nadzora i mjerenja naprednih mreža omogućava identifikaciju kvara u isto vrijeme kada on nastupi, ako ne i prije nastupanja samog problema. Na taj način se potrošač ne koristi kao način identifikacije kvara, već se koriste znani standardi i regulacijske tarife kao smjernice pri rješavanju kvara.

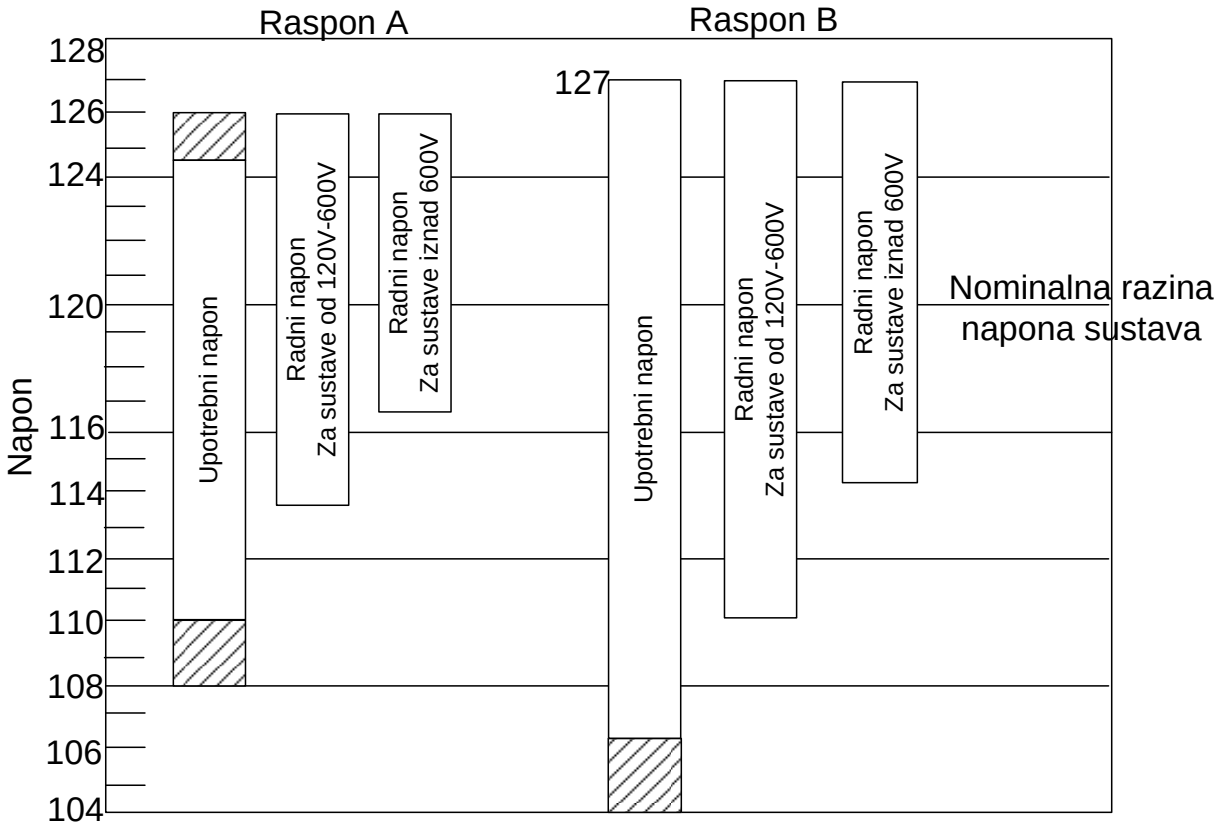
Kako su potrošači odstranjeni iz jednadžbe za detekciju kvarova u mreži, nije moguće odrediti da li se dogodio kvar na opremi ili ne. Tako se daje poticaj distributerima čime bi se smanjio i uklonio broj nedostataka sustava. U ovom slučaju proaktivni pristup se oslanja na ograničenja napona određenih standardom *ANSI Std.C84.1* i lokalnim regulatornim agencijama. *ANSI* standard je razvijen kako bi se zaštitila oprema od štetnih napona za potrošače i mrežnu opremu. *ANSI Std.C84.1* definira dva raspona napona u kojima je moguć normalan rad opreme. Ova ograničenja su vrlo stroga, te stoga je moguće odrediti više nedostataka sustava. [17]

Vrsta	Niski	Visoki
Upotrebljivi napon	*108 V	** 126 V
Radni napon	114 V	126 V
Radni napon >600 V	117 V	126 V

*Napajanje rasvjete je minimalno 110 V

** - 120 – 600 V, ograničenje sustava je 125 V

Tab. 4.1. ANSI standard C84.1 – prihvatljivi iznosi napona za raspon A[17]



Sl. 4. 1. ANSI C84.1 Rasponi napona[17]

Na osnovu ovog standarda, bilo kakvo prekoračenje ovih ograničenje predstavlja kvarove u sustavu neovisno o trajanju. Sustav za nadziranje napredne mreže bi trebao surađivati s programom koji bi automatski obavijestio osoblje kada se dogodi ovakav nedostatak napona. Potom se određuje je li događaj privremen ili je rezultat nedostataka sustava u čijem slučaju se nastavlja daljnja istraga, jer će se takvi nedostaci pojavljivati u budućnosti dok se ne izvrše popravci. Većina prigovora potrošača je rezultat dugoročnih problema napona, te nije uzrokovana privremenim događajima.

$$t_e = \sum_{i=1}^{n} t_i \qquad (4\text{-}1)$$

Gdje je:

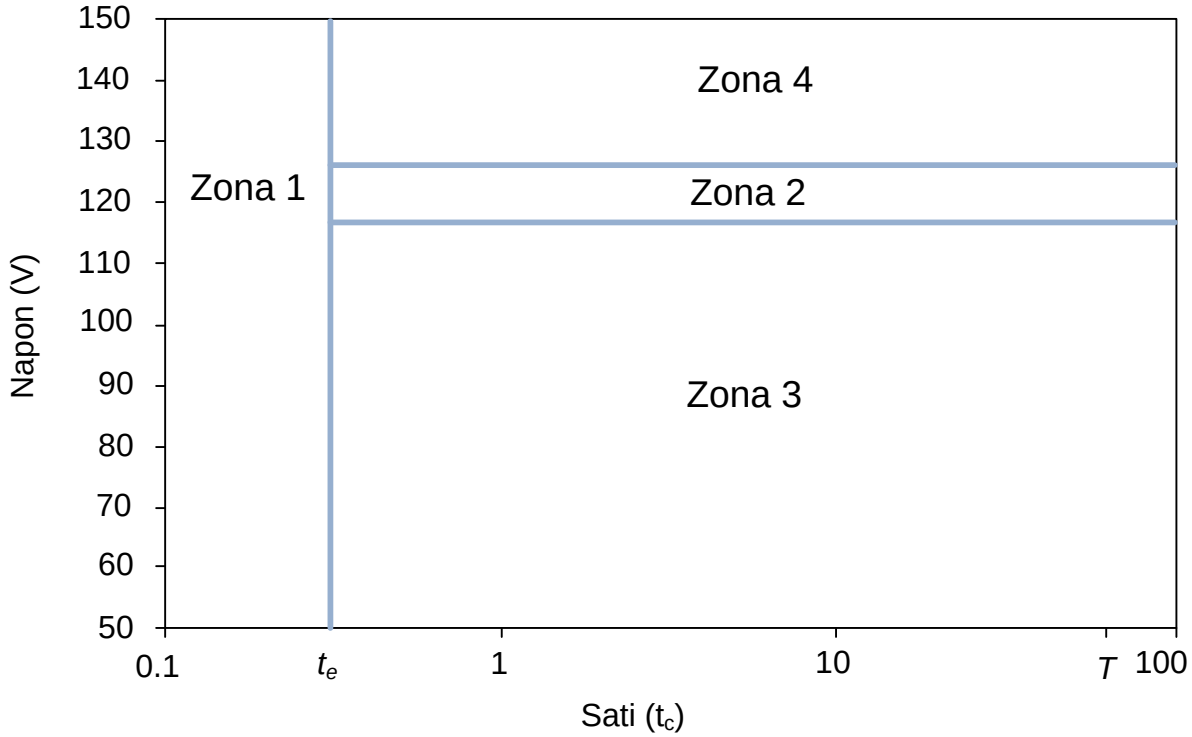
t_e – cjelokupni vremenski period iznad ili ispod dozvoljenih ograničenja za vremenski period T

t_i – vremensko trajanje i-tog događaja u vremenskom periodu T

n – ukupni broj različitih događaja gdje su prekoračena ograničenja napona

T – trajanje istraživanja; uobičajeno dan, tjedan ili mjesec

Kako bi se matematički odredili koji kvarovi spadaju u kategoriju privremenih, a koji u kategoriju trajnih kvarova, koristi se navedena jednadžba, koja je grafički predstavljena na slici 4.2..[17]



Sl. 4. 2. Prikaz različitih zona istraživanja za događaje, zasnovane na sveukupnom vremenu ispod ili iznad dozvoljenih[17]

Na slici 4.2. razlikujemo 4 zone, ograničenja za prenapone i podnapone, te vrijeme t_e. U zonu 1 spadaju svi događaji čije je sveukupno vrijeme trajanja kraće od t_e, te se smatraju privremenim događajima. U slučajevima osjetljivijih potrošača, bolnice i industrijski potrošači, vrijeme t_e, se mora drugačije definirati. Događaji koji spadaju u zonu 2 su prihvatljivi te ne utječu na ispravan rad. Zona 3 i 4 predstavljaju podnapone i prenapone, te događaji koji se nalaze u ove dvije zone smatraju se nedostacima sustava te se daljnje istražuju. Vremenski interval može trajati od dana, tjedna, do mjeseca.

4.1.3. Primjena proaktivnog pristupa

Proaktivni pristup je primjenjen na naprednu mrežu u Boulderu, Colorado i upravljan od strane *Xcel Energy*-a. U trenutku analize, napredna mreža se sastojala od 26 strujnih krugova opskrbljivanih sa 4 podstanice. Mreža je opskrbljivala više od 25 000 korisnika s pametnim brojilima i 5000 naponskih senzora instaliranih na distribucijskim transformatorima, koji su davali trenutne vrijednosti napona i potrošnje. Program koji je

interpretirao podatke dostavljene od strane distributivnih transformatora i pametnih brojila razvila je tvrtka *Current Group* pod nazivom *OpenGrid Distribution* (*OGD*). Nakon određivanja problema s naponom, osoblje je upućeno na provjeru kako bi se potvrdili problemi i kako bi se izvršila procjena jesu li potrebni popravci.

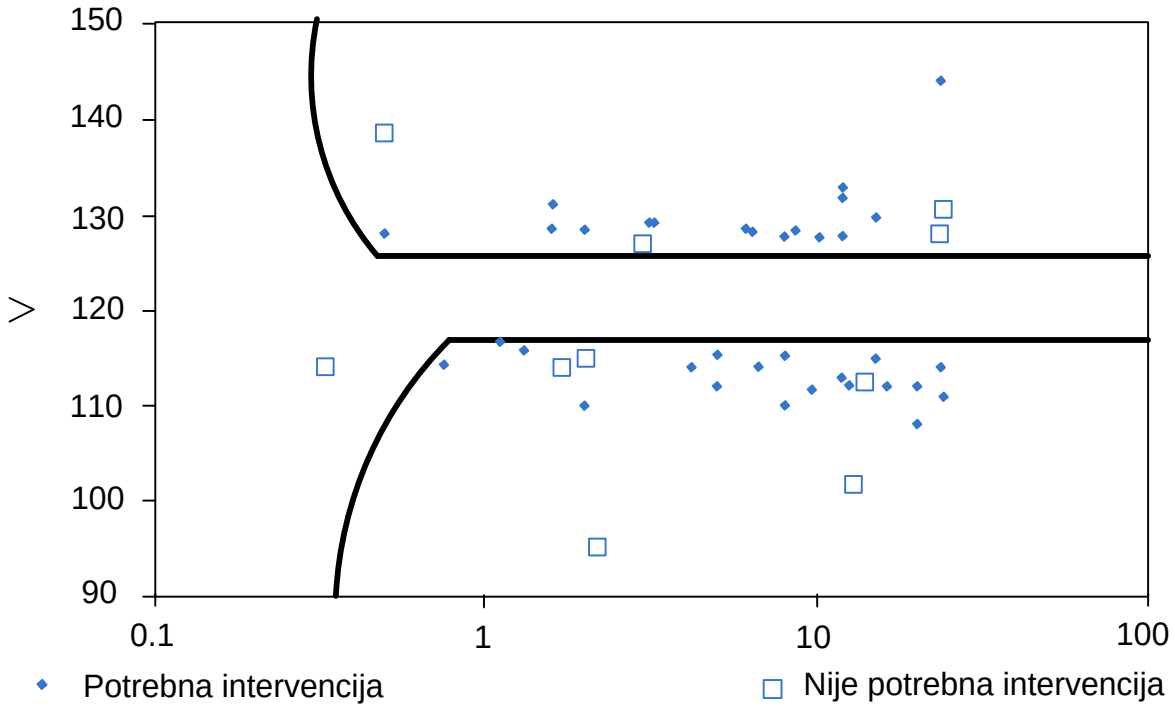
Ograničenja koja se koriste su iz *ANSIStd. C84.1*. Sveukupno trajanje nadziranja te podešeno je na 30min(0.5h). Period nadziranja *T* je 96 sati. Kao što je već navedeno, pratili su se kvarovi koji spadaju u zone 3 i 4.

Što je rezultiralo kvarovima:

- Nizak napon zbog preopterećenih transformatora
- Visok i nizak kontinuiran napon zbog neučvršćenog neutralnog priključka
- Izmjeničan visok i nizak napon zbog neučvršćenog priključka voda
- Nizak napon kao rezultat rekonfiguracije sustava zbog ispada sustava i nove konstrukcije sustava
- Visoki i niski naponi zbog oštećenih namota distribucijskog transformatora

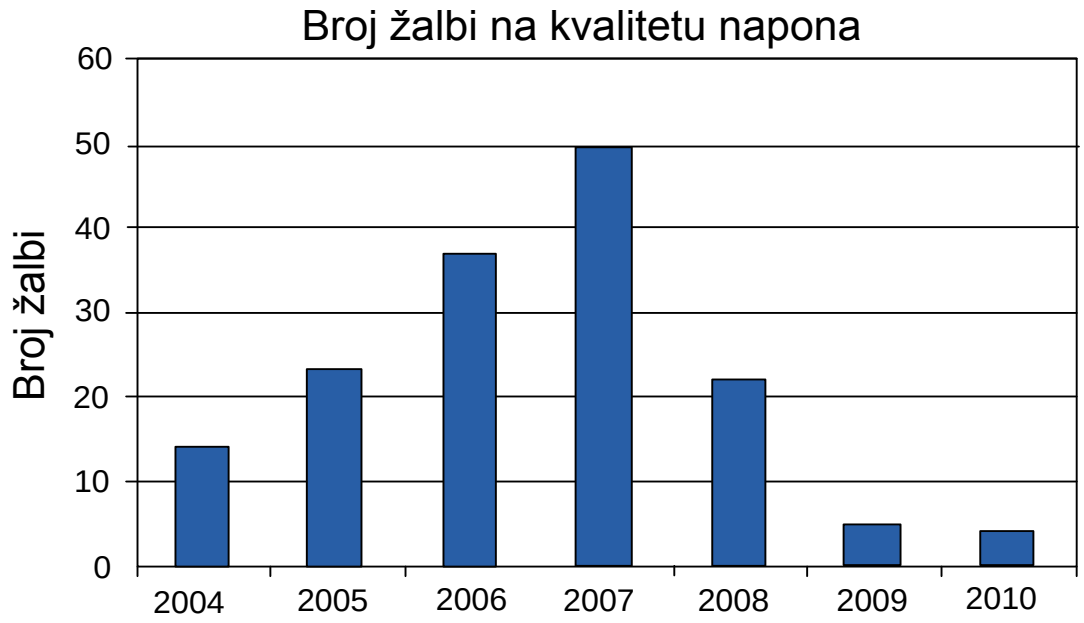
Kvarovi kao što su preopterećeni transformatori, neučvršćeni priključci i oštećeni transformatori su kvarovi koji se ne popravljaju sami, već će vremenom postajati sve gori, stoga distributeri moraju preventivno djelovati kako bi se smanjili troškovi popravaka i utjecaj na potrošača. Ovakve analize koristeći zone, točno otkrivaju kvarove i probleme koji bi kasnije utjecali na potrošače. [17]

Na slici 4.3. prikazana su 45 odstupanja od napona u periodu od kolovoza 2008. do prosinca 2010. Prikazan je problem napona koji je identificiran, gdje je smješten na grafu, te jesu li potrebni popravci ili je kvar sam po sebi privremen i nije zahtjevao popravke. Na osnovu ovih kvarova određen je točniji koncept identifikacije kvarova koji je također prikazan na slici 4.3..



Sl. 4. 3. Prikaz nedostataka napona identificiranih tijekom perioda od 28 mjeseci[17]

Na slici 4.4. možemo vidjeti prigovore na kvalitetu napona u periodu od 2004. do 2010. godine. Prije implementacije napredne mreže (2009. godine), u prosjeku je zabilježeno 20 žalbi na kvalitetu napona, s najvećim brojem prigovora 2007. godine od 50 prigovora. Nakon implementacije napredne mreže zabilježeno je 7 i 5 prigovora. Potrebno je naglasiti kako uzroci prigovora nakon implementacije naprednih mreža nisu nedostaci napona, već kvarovi potrošačke opreme. Zbog ovakvih prigovora postoji velika vjerojatnost kako ovakvi prigovori nikada neće pasti na nulu.[17]



Sl. 4. 4. Broj žalbi na kvalitetu napona u periodu od 2004.-te do 2010.-te u naprednoj mreži[17]

U tablici 4.2 su zbrojeni prigovori i proaktivna istraživanja kako bi se odredio postotak istraživanja odrađenih unutar područja napredne mreže u odnosu na prigovora van područja napredne mreže. U periodu od 2006. do 2010. godine, postotak istraživanja, reaktivnih i proaktivnih, variraju od 8,72% do 5,08%. Iako se broj istraživanja nije smanjio u ovom periodu, smanjila se cijena istraživanja s proaktivnim pristupom.

Godina	2006	2007	2008	2009	2010
Ukupno žalbi	613	609	413	404	394
Žalbi na području napredne mreže	37	50	22	5	7
Postotak žalbi na području napredne mreže	6.04 %	8.21 %	5. 33 %	1.24 %	1.78%
Proaktivno otkrivene poteškoće otkrivene na području napredne mreže	0	0	14	18	13
Postotak žalbi i proaktivnih problema otkrivenih proaktivnom metodom u naprednoj mreži	6.04 %	8.21 %	8.27 %	5.69 %	5.08 %

Tab. 4.2. Petogodišnji skup broja žalbi na naponske prilike u električnoj mreži[17]

Usporedbu troškova možemo vidjeti u tablici 4.3. Razlog ovome je cijena istraživanja na daljinu u usporedbi s istraživanjima koja se vrše kroz reaktivni pristup, koja zahtjevaju radnika na terenu i/ili istražitelje kvalitete električne energije.

Vrsta istraživanja	Broj istraživanja	Prosječni trošak po istraživanju	Sveukupni trošak
REAKTIVNO			
Slanje tehničara na teren	16	120 $	1,920$
Inženjer za nadziranje kvalitet električne energije	45	520 $	23,400 $
		Sveukupno:	**25,320 $**
PROAKTIVNO			
Slanje tehničara na teren	38	120 $	4,560 $
Inženjer za nadziranje kvalitet električne energije	45	14 $	630 $
		Sveukupno:	**5,190 $**
USPOREDBA			
Reaktivni troškovi			25, 320 $
Proaktivni troškovi			5, 190 $
RAZLIKA U CIJENI			**20, 130 $**

Tab. 4.3. Prikaz troškova dva različita pristupa i njihova razlika u izvršavanju[17]

U odnosu na reaktivni pristup gdje se kvaliteta električne energije nadzire kroz tjedan dana, proaktivni pristup omogućava analizu kroz 1-2 sata, što značajno smanjuje troškove analize. Čak i s većim brojem radnika poslanih na teren kako bi se potvrdilo stanje na mjestu kvara, troškovi su i dalje značajno manji u odnosu na reaktivni pristup. Na osnovu ovog istraživanja možemo zaključiti kako je proaktivni pristup skoro 80% financijski isplativiji u pogledu istraživanja i određivanja kvarova.[17]

4.2. Uvođenje električnih vozila

Kao i s mnogim aspektima upotrebe fosilnih goriva, transformaciju prolazi i automobilska industrija. Pretežito zbog ekonomskih razloga i same cijene fosilnih goriva, radi se na pronalasku drugih rješenja za transport. Kako je na snazi još uvijek Kyoto protokol, alternativnim rješenjima bi se smanjila emisija CO_2 i stakleničkih plinova, te smanjenje globalnog zatopljenja. [18]

Iz međunarodnoga energetskog izvještaja Ministarstva za energetiku SAD-a, potrošnja tekućih goriva u prometnom sektoru porasti će do 56% raspoloživih tekućih goriva do 2030. godine. [19] Stoga je logičan zaključak, promjena u prometnom sektoru, u smislu električnih vozila. Klasična vozila sa motorima s unutrašnjim izgaranjem bi se zamijenila povećanom upotrebom električnih vozila, Plug-in hibridnih električnih vozila (eng. Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV), te električnih vozila s gorivnim ćelijama (eng. Fuel-Cell Electric Vehicles, FCEV). Dvosmjeran tok energije će se omogućiti uvođenjem segmenta naprednih mreža. Kako se obnovljivi izvori

energije uvode u električnu mrežu svakim danom sve više, uvode se problemi s integracijom ovih izvora električne energije. Iz tog razloga će upotreba baterija električnih i hibridnih vozila značajno utjecati na ublažavanje prirodne intermitentnosti obnovljivih izvora energije i na taj način se osigurava stabilnost napona i frekvencije. Kako je baterija električnih vozila potrošač u trenutku priključka na mrežu, tako utječe na samu kvalitetu električne energije u mreži i pridonosi smanjenju kvalitete električne energije.[18]

4.2.1. Električna vozila u naprednim mrežama

U nastavku je osvrt na utjecaj punjenja električnih vozila na kvalitetu električne energije u pogledu *THD*-a. Istraživanje se vrši praćenjem utrošene električne energije i pada napona za velik broj kućanstava, gdje svako kućanstvo ima jedno električno vozilo. Promatraju se dvije vrste punjača električnih vozila, s tradicionalnim i „pametnim“ punjačem sa sinusoidalnom potrošnjom električne energije i jediničnim faktorom snage.

Zbog mogućnosti skladištenja električne energije električna vozila su izvor mnogih novih mogućnosti u pogledu interakcije s mrežom. Kako bi se takva interakcija mogla omogućiti potrebno je ustanoviti određene preduvjete i kriterije.[18]

1) **Vehicle-to-Grid (Vozilo isporučuje energiju mreži)**

Baterije električnih vozila su izvor novih rješenja za kvalitetu električne energije. Na način u slučaju potrebe električne mreže operater može zatražiti električnu energiju od baterija električnih vozila.

2) **Kvaliteta električne energije**

Ono što utječe značajno na kvalitetu električne energije je nelinearna potrošnja određenih potrošača. Zbog takvih potrošača se javljaju problemi kao što su harmonici, elektromagnetske smetnje, međuharmonici, flikeri, prekidi i slično. Kako bi se ovakve smetnje korigirale ugrađuju se aktivni filtri snage kao što su: paralelni, serijski i mješoviti aktivni filtri snage.

3) **Proces punjenja baterija**

Kako je već navedeno baterije električnih vozila mogu uzimati električnu energiju iz mreže, te mogu pohranjenu električnu energiju vratiti nazad u mrežu. Ovisno o vremenskoj raspodjeli ovih procesa razlikujemo dva profila: usklađene i neusklađene procese.

U slučaju usklađenog profila baterije električnih vozila se pune i prazne u ovisnosti o stanju električne mreže i potrebama vlasnika vozila. Najčešće se razmatra cijena električne energije na tržištu, te razina baterije u vozilima.

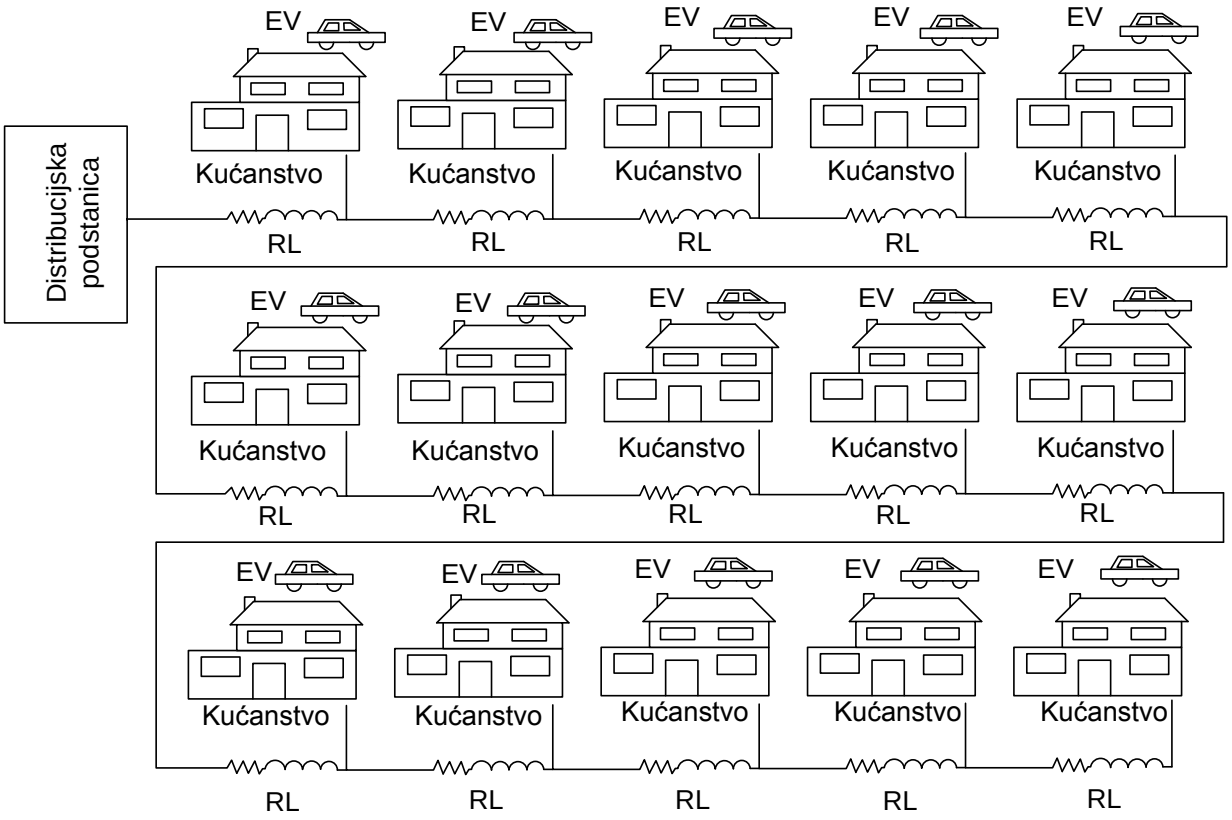
Potrošač može priključiti vozilo, te odmah započeti s procesom punjenja baterija ili ukoliko želi postaviti vremenski period kada će se puniti baterija električnog vozila. Problemi koji dolaze s ovim profilom su punjenje velike količine električnih vozila za vrijeme vršnih opterećenja.

4) Svojstva punjača baterija

U procesu punjenja baterija električnih vozila razlikujemo nekoliko punjača: *on-board, off-board*, provodan, te induktivan. U slučaju *on-board* punjača, punjač se nalazi unutar vozila, te potrošač pristupa samo ulazu punjača. Punjenje na ovaj način koristi izmjenični napon i sporije je u odnosu na ostale metode punjenja. Potpuna suprotnost *on-board* punjačima su *off-board* punjači koji osim što se nalaze odvojeno od električnog vozila, pune vozilo istosmjernim naponom što je brže moguće. Unatoč svemu i razlikama u punjenju električnih vozila, prilikom interakcije električnih vozila s električnom mrežom vrijednosti moraju biti u skladu s prethodno reguliranim normama.[18]

4.2.2. Rezultati simulacije punjenja električnih vozila

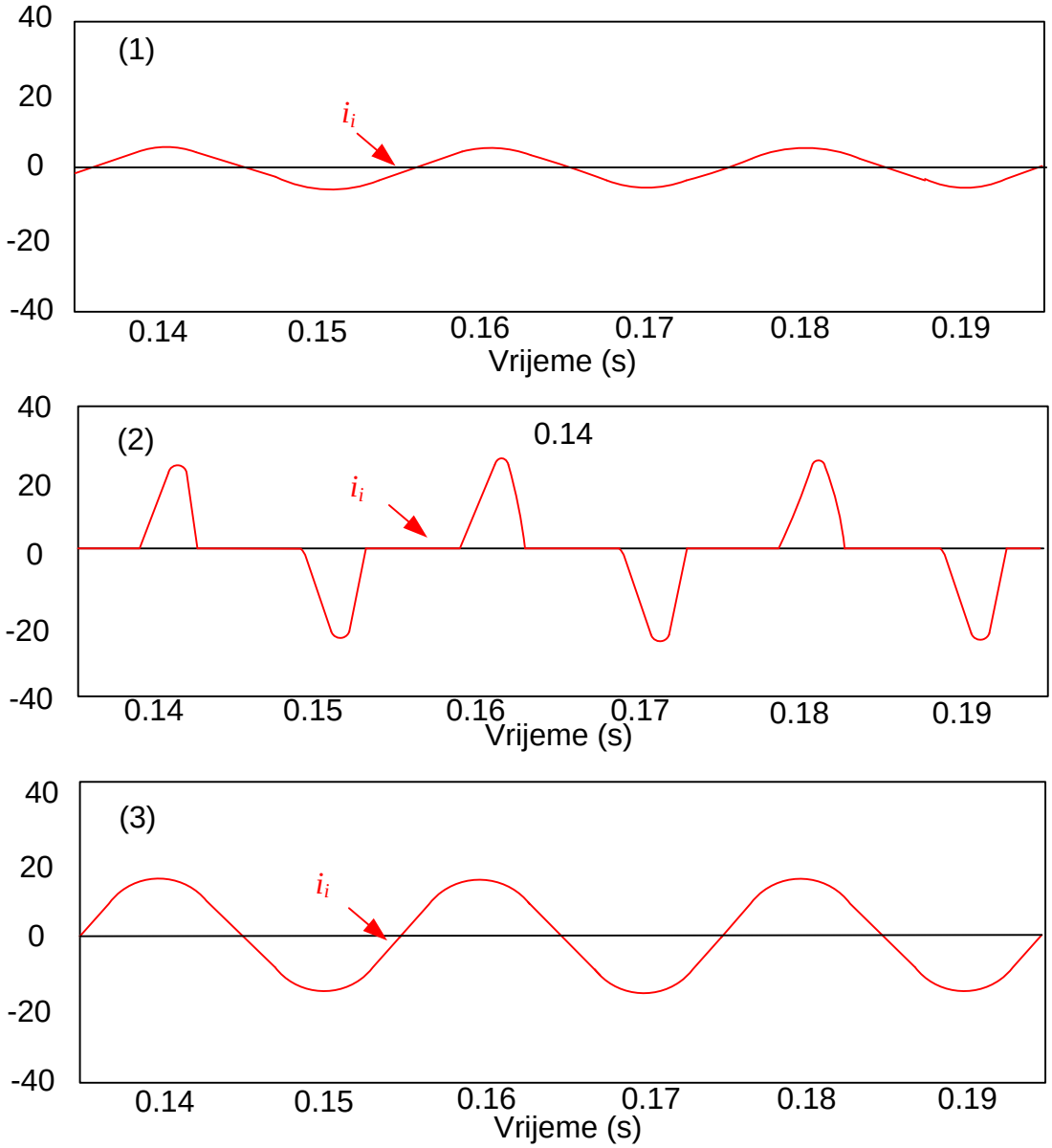
Kako je već navedeno, simulacija punjenja električnih vozila će se vršiti s klasičnim punjačem i s „pametnim“ punjačem. Ogledni primjer na kojemu se vrši simulacija je podstanica koja opskrbljuje 15 kućanstava s električnim vozilima.



Sl. 4.5.Metodologija simulacije: 15 kućanstava s električnim vozilima[18]

Kako već postoje određeni potrošači u mreži, isti su navedeni u tablici, te je dana ogledna shema po kojoj će se vršiti simulacija. Razmotrena su tri pojedinačna slučaja: jedno kućanstvo, cijelo susjedstvo samo s električnim vozilima, cijelo susjedstvo sa svim potrošačima. U sklopu svakog slučaja, mjerenja se provode s klasičnim i „pametnim“ punjačima kako bi se ustanovio utjecaj „pametnih“ punjača na kvalitetu eletričnu energije.

Na slici 4.6. možemo primjetiti oblike valnog oblika jakosti električne struje za tri slučaja. Najveći poremećaj imamo u slučaju električnog vozila bez „pametnog“ punjača, dok je za iste uvjete s „pametnim“ punjačem valni oblik značajno ispravniji. Razlika između ove dvije vrste punjača je njihova funkcionalnost u pogledu potrošnji sinusoidalnih valnih oblika jakosti električne struje. Dok klasični punjači ne posjeduju ovu funkcionalnost, kod „pametnih“ punjača je ona prisutna, te značajno utječe na karakteristiku valnih oblika i *THD* faktor.



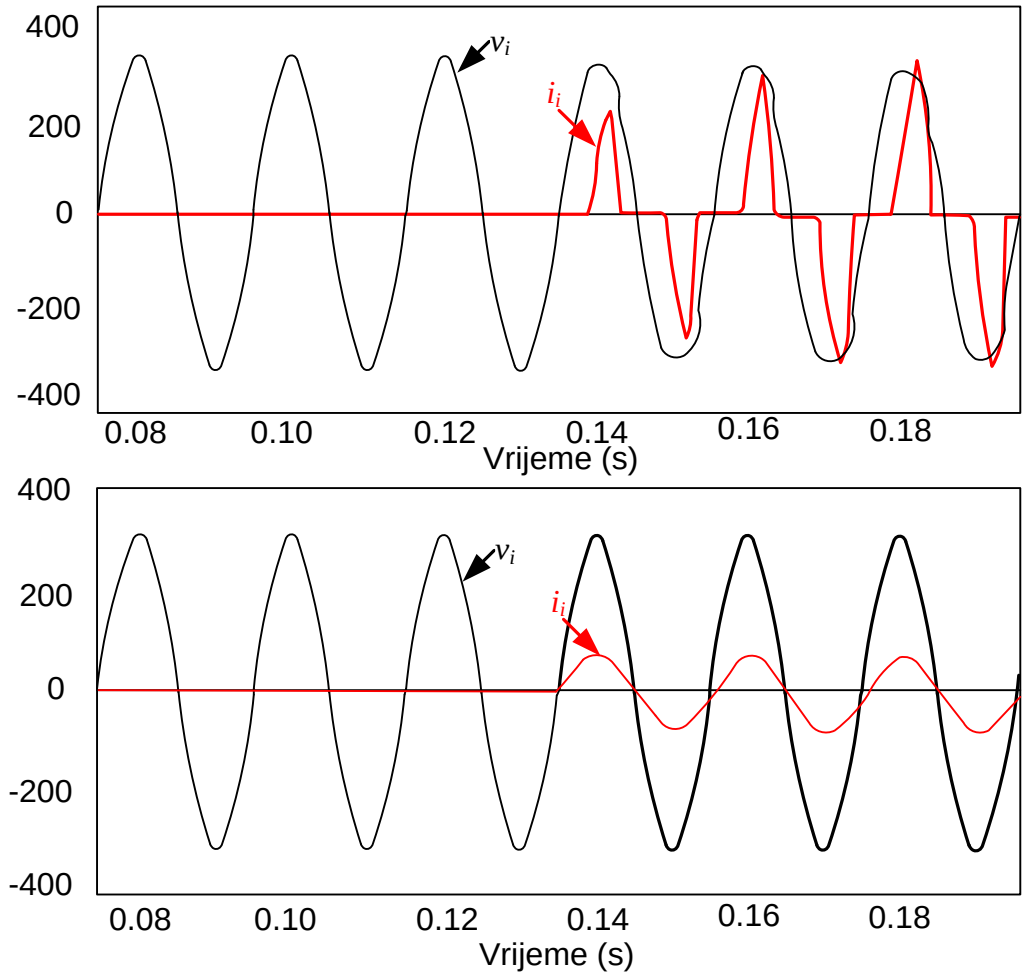
Sl. 4. 6. Potrošnja jakosti električne struje za jedno kućanstvo sa svim priključenim teretima; (1) kućanstvo bez EV, (2) kućanstvo s klasičnim punjačem, (3) kućanstvo s pametnim punjačem[18]

U tablici 4.4. se mogu vidjeti numeričke vrijednosti *THD*-a i jakosti električne struje. U slučaju gdje je prisutan „pametni“ punjač vrijednost *THD*-a je 60% manja u odnosu na slučaj bez električnog vozila, dok u slučaju klasičnog punjača vrijednost *THD*-a je 96% veća od vrijednosti „pametnog“ punjača. Stoga, na osnovu ovih mjerenja se može zaključiti dobrobit u pogledu kvalitete električne energije upotrebom „pametnih“ punjača.[18]

	Jakost električne struje (i_i)		
	(1)	(2)	(3)
THD (%U_N)	7.67	87.3	2.86
RMS	3.50 (A)	10.7 (A)	10.5 (A)

Tab. 4.4. THD i RMS vrijednosti struje [18]

Na slici 4.7. prikazan je valni oblik jakosti električne struje zadnje kuće susjedstva s klasičnim punjačem (1) i s „pametnim“ punjačem (2). Kao što je i u prethodnom slučaju vidljivo, upotreba klasičnog punjača uzrokuju poremećaje u valnom obliku jakosti električne struje.



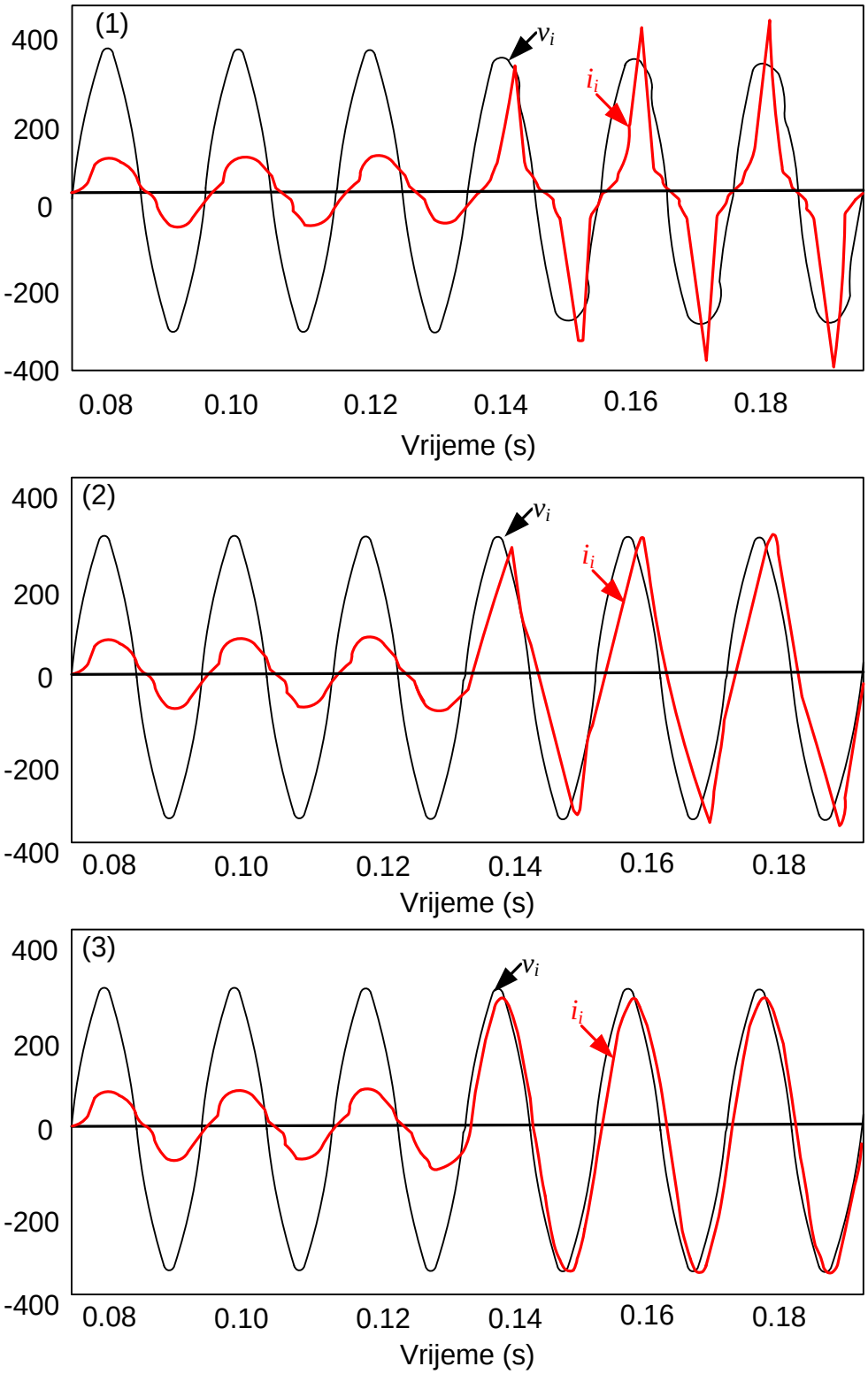
Sl. 4. 7. Potrošnja jakosti električne struje u zadnjem kućanstvu sa svim priključenim teretima; (1) kućanstvo s klasičnim punjačem, (2) kućanstvo s pametnim punjačem [18]

Značajno smanjenje *THD*-a je vidljivo u tablici 4.5. upotrebom „pametnog“ punjača. U slučaju većeg broja kućanstava, zadnje kućanstvo će biti pogođeno više nego u ovom slučaju, što u konačnici predstavlja mogućnost većih ozbiljnih problema po kvalitetu električne energije.

	(1)		(2)	
	Napon (v_i)	Struja (i_i)	Napon (v_i)	Struja (i_i)
THD (%U_N)	7.28	75.2	3.30	0.95
RMS	228 (V)	90.2 (A)	229 (V)	111 (A)

Tab. 4.5. THD i RMS vrijednosti napona i struje za sliku 4.7. [18]

Na slici 4.8. prikazan je treći slučaj, cijelog susjedstva u tri različite varijente. Na prvom grafu je prikazano susjedstvo s klasičnim punjačima, na drugom grafu je prikazano susjedstvo s 60% „pametnih“ punjača, te treći slučaj s 100% „pametnih“ punjača.[18]



Sl. 4. 8. Napon i struja sa svim opterećenjima; (1) sva kućanstva s klasičnim punjačima, (2) sva kućanstvo sa 60% pametnih punjača, (3) sva kućanstva s pametnim punjačima[18]

U tablici 4.6. su prikazani rezultati mjerenja u ova tri slučaja. Također, kao i u prethodnim slučajevima, se može primjetiti smanjenje *THD*-a s povećanjem upotrebe „pametnih“ punjača u kućanstvima.Iz ovih simulacija se može zaključiti kako implementacija električnih vozila

značajno utječe na *THD* faktor u električnoj mreži. Upotrebom „pametnih“ punjača za punjenje baterija električnih vozila, značajno se smanjuje *THD* faktor kako je navedeno u tablicama. [18]

	Prije		**Poslije**	
	Napon (v_i)	Struja (i_i)	Napon (v_i)	Struja (i_i)
	(1)			
THD (%U_N)	0.40	7.66	2.87	51.6
RMS	230 (V)	52.3 (A)	228 (V)	168 (A)
	(2)			
THD (%U_N)	0.40	7.66	1.62	19.5
RMS	230 (V)	52.3 (A)	229 (V)	188 (A)
	(3)			
THD (%U_N)	0.40	7.66	1.06	1.82
RMS	230 (V)	52.3 (A)	229 (V)	207 (A)

Tab. 4.6. THD i RMS vrijednosti napona i struje za sliku 4.8. [18]

4.3. Uvođenje obnovljivih izvora

Konvencionalne metode proizvodnje električne energije su upravljane na način da opskrbljuju potrebe energetskog sustava bez poteškoća i vrlo lako je odrediti plan rada i proizvodnja električne energije. Dok je proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije, najčešće vjetroelektrana i solarnih elektrana, podložna odstupanjima i samim time se uvodi element nepouzdanosti i nesigurnosti u pogledu kvalitete električne energije. Izuzetno za slučajeve upotrebe vjetroelektrana, fotonapona i protočnih hidroelektrana koji nemaju spremnike energije. Sa sve većim prodorom obnovljivih izvora energije na tržište postavljaju se pitanja vezana za pouzdanost koja će se riješiti naprednim tehnologijama nadziranja, koje će biti nužne za održavanje pouzdanosti sustava. Na ovaj način se omogućuje učinkovitija upotreba prijenosa, odziva na potražnju i inteligentnu pohranu energije, što je moguće implementacijom naprednih mreža.

Primjerice, napredna mreža će omogućiti smanjenje opterećenja, no to bi moglo uzrokovati nezadovoljstvo potrošača, jer im je u interesu jamstvo o maksimalnom broju ispada mreže i broju prekida. Moguća je upotreba baterija za bolji rad manjih područja elektroenergetskog sustava kako bi se smanjilo opterećenje prijenosa tijekom zagušenih perioda. Napajanje može doći i od sustava uređenog kako bi električna vozila predavala enegiju mreži, što je opet podložno dogovoru koliko često bi se baterije koristile u takve svrhe. Veliki naglasak se stavlja na planiranje i točne podatke o potrebnom stupnju fleksibilnosti. Uvođenjem velike količine

električne energije iz obnovljivih izvora neplanirano to bi moglo dominirati zahtjeve fleksibilnosti. Stoga je od izuzetne važnosti potrebno detaljno procijeniti izvore obnovljivih izvora energije kada se postavlja napredna mreža. Svakako je prije implementacije obnovljivih izvora energije potrebno proučiti dostupnost i promjenjivost istih, te istražiti utjecaje na električni sustav. U ovom slučaju kako bismo mogli projektirati i predviđati uzorke za budućnost potrebne su informacije o radu elektrana iz proteklih godina. Kako su postavljene elektrane relativno nove postoji oskudica informacija na osnovu koji bi se moglo vršiti predviđanje uzoraka u budućnosti. *IEEE* u radu „*Utility Wind Integration and Operating Impact State of the Art*“ koji nalaže:

''Tehnološki najnaprednija istraživanja posvećuju značajan trud prilikom obrade podataka o vjetru dobivenih od velikih meteoroloških modela...''[20]

Jedna od najvećih prednosti numeričkog modela prognoziranja vremenskih prilika kako bi se smanjila količina podataka ponovne analize je mogućnost dobivanja dugoročnih podataka. Moguće je ostvariti analizu varijabilnosti vremenskih prilika za period od 40 godina, s detaljima iz sata u sat, dostupnost vjetra i kapaciteta proizvodnje za pojedine lokacije. Iako ovaj model nije namjenjen za manje elektrane, izuzetno je precizan i točan za veća postrojenja ili povećanom koncetracijom manjih postrojenja. Ovo bi moglo omogućiti i razviti nove metode za optimizaciju napredne mreže.[20]

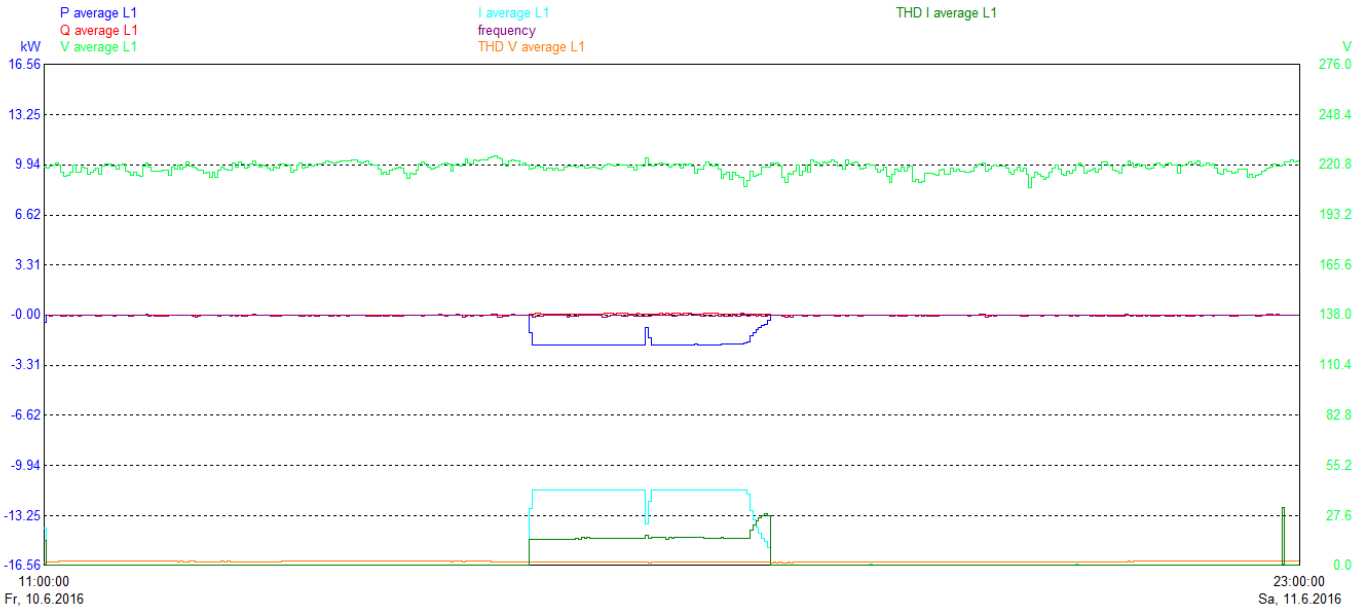
4.3.1. Predviđanje obnovljivih izvora energije u naprednim mrežama

U radu napredne mreže biti će važno imati točne prognoze dostupnih obnovljih izvora energije, jer u suprotnom se dodaje još jedna promjenjiva varijabla u već složen sustav koji treba održavati u ravnoteži. Kako nije moguće voditi ove izvore na tradicionalan način, mogući su problemi u radu konvencionalnih energetskih sustava. Stoga napredna mreža vrši poboljšanja konvencionalnog energetskog sustava kroz komunikacijske tehnologije i dostupnost informacija. Ono što je moguće učiniti s obnovljivim izvorima energije je prognoza dostupnosti, kako bi napredna mreža mogla raditi na poboljšanju učinkovitosti sustava. Kako se povećava upotreba obnovljivih izvora energija, neplanska proizvodnja električne energije će postati najveća varijabla u energetskom sustavu, što prognoziranje čini ključnom komponentom u naprednoj mreži. Zato što se odluke u naprednoj mreži donose dinamički na osnovi informacija o proizvodnji i potrošnji električne energije. Kako su meteorološke prognoze osnovica za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije, varijacije su neizbježne, bile to procjene u stvarnom vremenu, *minute-to-minute*, ili godišnje prognoze. Međutim, meteorološke prognoze koje imaju najviše utjecaja na pouzdanost sustava i operativne troškove su na razini

sata i dana. Ove dvije vremenske osnove su izravno povezane s pomoćnim uslugama, te se na osnovu ovih prognoza moraju zadovoljiti zahtjevi sustava i prodavača na tržištu. U naprednoj mreži će se puno ljudskih radnji i interakcija zamjeniti strojevima koji imaju brže vrijeme odziva i mogu obraditi veću količinu podataka. U konvencionalnom energetskom sustavu će se ove prognoze o obnovljivim izvorima energije smatrati presudnima kada se dosegne određena penetracija obnovljivih izvora energije u energetski sustav. U stvarnom vremenu potražnja i proizvodnja moraju biti uklađene. Konvencionalna proizvodnja ima visok stupanj upravljivosti, ali potrošnja i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije se prognoziraju; nije moguće efikasno koristiti konvencionalne elektrane kako bi se ostvarila ravnoteža. Potrebno je i odrediti nesigurnost prognoze kako bi odredile rezerve sustava u odnosu na zahtjeve pouzdanosti i upravljanja frekvencijom. Sposobnost napredne mreže za upravljanje ovim informacijamamože rezultirati značajnim napretkom u radu s obnovljivim izvorima energije.[20]

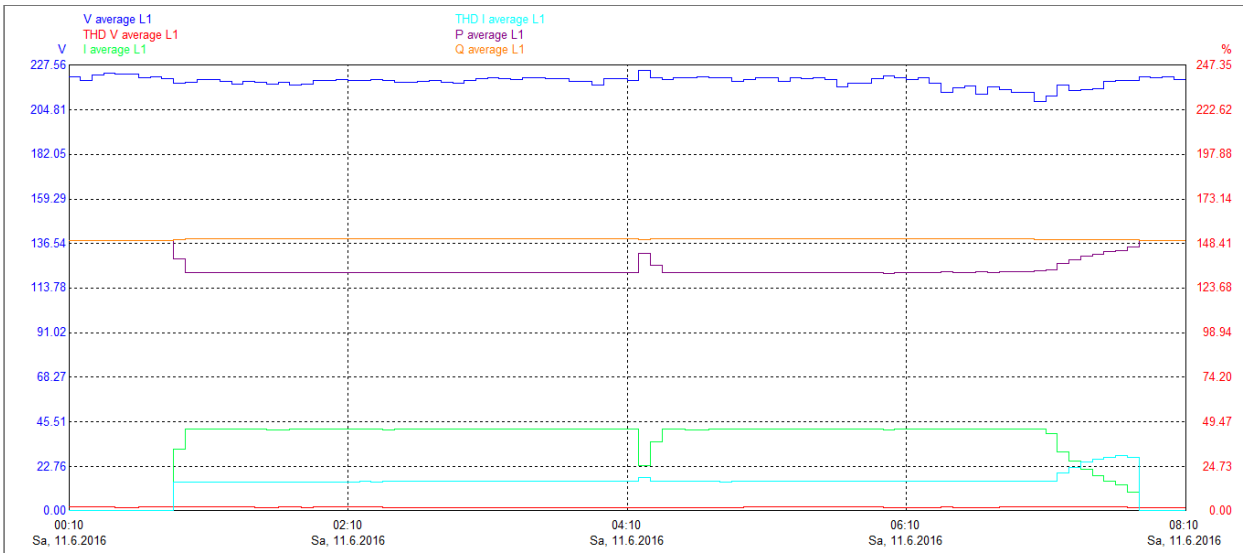
4.4. Mjerenja kvalitete električne energije prilikom punjenja električnog vozila

Do sada smo vidjeli kako različite metode mogu utjecati na ekonomski aspekt rješavanja poteškoća i kvarova u mreži. Također, smo vidjeli utjecaj različitih modela punjenja električnih vozila na stanje u mreži. U nastavku ćemo prikazati stanje mreže na području Osijeka kroz period od 72 sata. U prvih 36 sati promatrali smo stanje mreže s priključenim električnim vozilom. Na drugom grafu, prikazano je normalno stanje mreže bez priključenog električnog vozila. Na osnovu ovih mjerenja ćemo vršiti usporedbe i odrediti utjecaj priključenja električnog vozila.



Sl. 4.9. Prvih 36 sata mjerenja s priključenim električnim vozilom

Na slici 4.9. možemo primjetiti kako tijekom cjelokupnog perioda, frekvencija i napon mreže ostaju u granicama normale čak i sa priključenjem električnog vozila. Električno vozilo je priključeno u periodu od 1:00 do 8:00, gdje možemo primjetiti utjecaj na stanje mreže, što je za očekivati, jer je vozilo potrošač koje povlači 2kW iz mreže. U tom periodu možemo primjetiti i skok u ukupnom strujnom harmonijskom izobličenju, što bi mogla biti posljedica kalibracije samog punjača akumulatora. Pobliži pregled utjecaja električnog vozila na stanje mreže možemo vidjeti na slici 4.10.



Sl. 4.10. Detaljniji pregled veličina prilikom priključenja električnog vozila

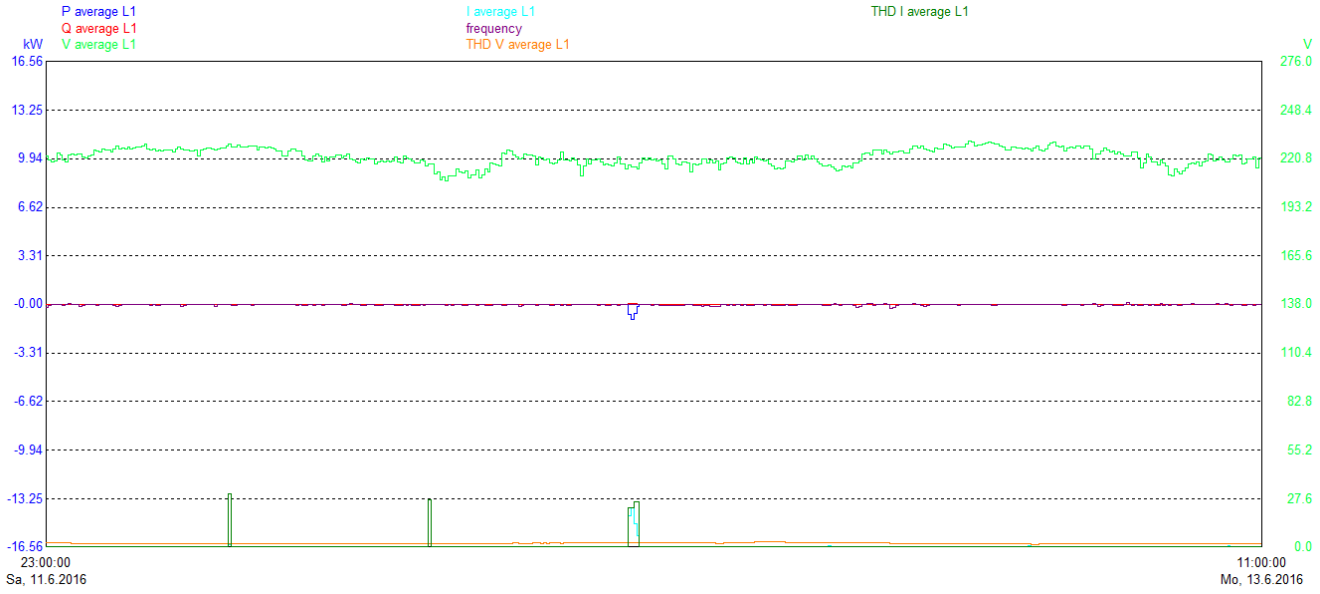
Tablica 4.7. prikazane su prosječne vrijednosti praćenih veličina tijekom punjenja električnog vozila i bez električnog vozila.

	S električnim vozilom	**Bez električnog vozila**
THD (%U_N)	2,04	2,11
THD (%I_N)	16,70	0
U (V)	220	214,34
I (A)	9,045	0
P (Q)	-1,975	0

Tablica 4.7. Prosječne vrijednosti veličina mjerenja

Na osnovu podataka iz tablice 4.7. možemo zaključiti kako priključivanjem električnog vozila na mrežu značajno utječemo na stanje u mreži. Utjecaj je posebice vidljiv kod iznosa struje, snage i *THD*-a struje. U slučaju priključenja većeg broja električnih vozila ove brojke bi značajno porasle, te bi ukoliko se ne izvrši optimizacija mreže došlo do značajnog utjecaja na postojeću mrežu.

Na slici 4.11. smo mjerili stanje mreže kroz period od 36 sati bez priključenja električnog vozila. Može se primjetiti kako je stanje mreže pretežito konstantno tijekom cjelokupnog perioda mjerenja, s ponekim skokovima *THD-a* prouzrokovani uređajima koji se koriste na dnevnoj bazi, što ne utječe na cjelokupno stanje mreže. U budućnosti se može raditi na kalibraciji i unapređenju punjača električnih vozila, te određivanjem režima punjenja električnih vozila može se značajno utjecati na kvalitetu električne energije i doprinjeti racionalnijem trošenju resursa.



Sl. 4.11. Mjerenje stanja mreže kroz preostali period od 36 sata bez priključka električnog vozila

ZAKLJUČAK

Potreba za električnom energijom za 21. stoljeće je očita u svim segmentima društva. Ekonomski gubici i neracionalna upotreba resursa su glavni pokretač za unapređenjem električne mreže što je prije to moguće. Premda je to dug put koji ima puno prepreka, što tehnoloških, a što ljudskih, novija mreža je nužna. Kako bi se smanjio broj ispada napajanja i kako bi se učinkovitije koristila električna energija i pri tome smanjili računi stanovništvu diljem svijeta, nužna je mreža za digitalno doba. Uvođenje naprednih brojila je prva prepreka koja se javlja kod šireg stanovništva zbog straha praćenja potrošnje s toliko detalja, no nužno kako bi se ustanovili određeni tarifni režimi. Ubrzanim rastom industrije ćemo s vremenom viđati sve više i više mikromreža na manjim lokalitetima kako bi se povećala pouzdanost i sigurnost mreže. Osim povećanog broja mikromreža, može se očekivati i povećanje električnih vozila, koji će igrati veliku ulogu u vršnim periodima potražnje električne energije kako bi smanjili opterećenje elektrana. Unatoč tome, električna vozila imaju određene probleme kada se uvodi veliki broj istih. Punjenje i opskrba električnih vozila može postati veliki problem za električnu mrežu ukoliko se ne ustanovi raspored napajanja električnih vozila, jer bi u vršnim periodima mogli dodatno izbaciti mrežu iz ravnoteže. Dodatna mjera koja se može uvesti od strane distributera električne energije je proaktivni pristup praćenja stanja mreže, kako bi se spriječili ispadi mreže prije no što se dogode. Ujedno time bi smanjili nezadovoljstvo potrošača i troškove prouzrokovane ispadom mreže. S ovoliko promjena na pomolu, prijelaz na "pametnu" energiju neće biti brz, no izuzetno je nužan da se kao takav dogodi.

LITERATURA

[1]*IEEE Emerald Book*, Powering and Grounding Electronic Equipment, IEEE Inc., Piscataway, NJ 08854, 2005.

[2]C. Sankaran, Power Quality, CRC PRESS LLC, Boca Raton, FL 33431, 2002.

[3]M.H.J. Bollen, J. Zhong, F. Zavoda, J. Meyer, A. McEachern, F.C. Lopez, Power Quality aspects of Smart Grids, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, Granada (Spain), str. 1-6 , Granada (Spain), 2010.

[4] A. Moreno-Muñoz, Power Quality Mitigation Technologies in a Distributed Environment, SPRINGER, 2007.

[5] V. Ajodhia, B. Franken, Regulation of Voltage Quality, Workpackage 4 and 5 from project Quality of Supply and Regulation, KEMA Consulting, Arnhem, 22. 2. 2007.

[6] Power Quality and Reliability Centre, Technical Note No. 8, Transient overvoltages on the electricity supply network - classification, causes and propagation, INTEGRAL ENERGY, travanj 2005.

[7] K. Schipman, F. Delincé, The importance of good power quality, ABB Power Quality Products, Belgium, prosinac 2015.

[8] A. Carvallo, J. Cooper, The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability, ARTECH HOUSE, Norwood, MA 02062, 2011.

[9]Department of Energy, United States (DOE), "The Smart Grid: An Introduction", Washington, DC., 2003.

[10] M. Shabanzadeh, M.P.Moghaddam, What is the Smart Grid?: Definitions, Perspectives and Ultimate Goals, *28th International Power System Conference*, Teheran(Iran), 2013.

[11]S. E. Collier, Ten Steps to a Smarter Grid, IEEE Industry Applications Magazine, br. 16, sv. 2, str. 62 – 68, travanj 2010.

[12] Wildpoldsried, Njemačka; http://inhabitat.com/german-village-produces-500-of-its-energy-from-renewable-sources/

[13] A. Janjić, Z.P. Stajić, I. Radović, Power Quality Issues in Smart Grid Environment – Serbian Case Studies, veljača 2016.

[14] X. Fang, S. Misra, G. Xue, D. Yang, IEEE Communications Surveys & Tutorials, br. 14, sv. 4, str. 944-980, 2012.

[15] S.S.S.R. Depuru, L. Wang, V. Devabhaktuni, Renewable and Sustainable Energy Reviews, br. 15, sv. 6, str. 2736-2742, kolovoz 2011.

[16] A. Keyhani, M. Marwali, Smart Power Grids 2011, SPRINGER Berlin, 2011.

[17] K.D. McBee, M.G. Simões, Utilizing a Smart Grid monitoring system to improve Voltage Quality of Customers, IEEE Transactions on Smart Gri, br. 3, sv. 2, str. 738-743, 2012.

[18] V. Monteiro, H. Gonçalves, J.L. Afonso Impact of Electric Vehicles on Power Quality in aSmart Grid Context

[19] Department of Energy, United States (DOE), International Energy Outlook, Washington DC., 2009.

[20] C.W. Potter, A. Archambault, K. Westrick, Building a Smarter Smart Grid Through Better Renewable Energy Information, Power Systems Conference and Exposition, Seattle, WA, 2009.

SAŽETAK

U ovom radu dan je uvid u to što je kvaliteta električne energije, te kvarove i događaje koje utječu na kvalitetu električne energije s kratkim osvrtom na ekonomske i ostale gubitke uslijed ispada mreže zbog loše kvalitete električne energije. Također je opisano postupno uvođenje naprednih mreža u svakodnevni život, od njihovog začetka do primjera kako uvesti napredne mreže s primjerom iz Njemačke. Opisana su mjerila koja su nužna kako bi mreža postala "pametna", te su sagledane prednosti i nedostaci. Glavna tema i naglasak se stavlja na kvalitetu električne energije u naprednim mrežama. Opisuju se različiti pristupi otkrivanju i otklanjanju kvarova u mreži, te utjecaj različitih pristupa na vremenske i financijske gubitke. Pri samom kraju vršena su mjerenja stanja mreže priključivanjem električnog vozila kako bi se ustanovilo koje su veličine utjecane priključivanjem električnog vozila.

Ključne riječi:

Napredne mreže, kvaliteta električne energije, električna vozila, pametna mjerila.

ABSTRACT

Power Quality in Smart Grids

In this paper, an insight is given as to what power quality is, as well as faults and events that influence the power quality with a short overview on economical and othes losses caused by grid failure because of poor power quality. A gradual implementation of smart grids into everyday life has been given. From their inception to an example in Germany. New meters, who are necessary for the network to become smart have been described, as well as their strengths and flaws. The main subject of this paper is the power quality in smart grids. Various approaches for detecting and dealing with faults in the grid and the influence of those approaches on time and economical aspects have been described. At the end measurements of the grid have been made when connecting an electric vehicle to see what parameters are affected by an electric vehicle.

Keywords:

Smart grids, power quality, electric vehicles, smart meters.

ŽIVOTOPIS

Mario Garić rođen je 8. veljače 1991. godine u Slavonskom Brodu. Iz Slavonskog Broda se seli u Stuttgart u Njemačkoj i završio prvi razred osnovne škole. Nakon osam godina života u Stuttgartu vraća se u Slavonski Brod gdje završava osnovno školsko obrazovanje.

Poslije završetka osnovne škole upisuje Tehničku školu u Slavonskom Brodu, zanimanje Tehničar za mehatroniku. Kroz srednjoškolsko obrazovanje sudjelovao je u mnogim općinskim i županijskim natjecanjima iz engleskog jezika i mehanike. Maturirao s odličnim uspjehom.

Nakon završene srednje škole upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku u akademskoj godini 2009./2010., smjer elektrotehnika. Nakon završetka preddiplomskog studija 2012. godine upisuje smjer elektroenerg etike na diplomskom studiju.

Mario Garić

Potpis: _____