Tehnologije i komponente napredne mreže

Peričić, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:369976

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

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

TEHNOLOGIJE I KOMPONENTE NAPREDNE MREŽE

Diplomski rad

Matej Peričić

Osijek, 2017.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 22.09.2017.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Matej Peričić
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-836, 09.10.2014.
OIB studenta:	80212479164
Mentor:	Izv. prof. dr.sc. Zvonimir Klaić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Krešimir Fekete
Član Povjerenstva:	Zorislav Kraus
Naslov diplomskog rada:	Tehnologije i komponente napredne mreže
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	22.09.2017.

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

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

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 01.10.2017.

Ime i prezime studenta:	Matej Peričić
Studij:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-836, 09.10.2014.
Ephorus podudaranje [%]:	7

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Tehnologije i komponente napredne mreže**

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

i sumentora

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

Potpis studenta:

1. UVOD 1
2. DANAŠNJA MREŽA U ODNOSU NA NAPREDNU MREŽU 2
3. PREDNOSTI I KORISTI PAMETNE MREŽE 5
3.1. Sigurnost 5
3.2. Standardizacija 6
3.3. Integracija 7
3.4. Prijelaz iz analognog u digitalni sustav 7
3.5. Koristi pametne mreže 8
4. TEHNOLOGIJE I KOMPONENTE PAMETNE MREŽE 9
4.1. Centralizirana i distribuirana proizvodnja 9
4.1.1. Solarni fotonaponski izvori 10
4.1.2. Solarna termalna energija 11
4.1.3. Energija vjetra 11
4.1.4. Bioplin i biomasa 12
4.1.5. Geotermalna energija 13
4.1.6. Energija valova te plime i oseke 13
4.2. Tehnologija skladištenja energije 14
4.2.1. Baterijski spremnici 15
4.2.2. Spremnici induktivne energije 15
4.2.3. Zamašnjaci 16
4.2.4. Komprimirani zrak 17
4.2.5. Crpno akumulacijska pohrana energije 17
4.2.6. Ultrakondenzatori 18
4.3. Električna vozila 19
4.4. Pametne trafostanice 20
4.5. Inteligentni elektronički uređaji (eng. *Intelligent Eelectronic Devices*) 20
4.6. Senzori 21
4.7. SCADA (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition*) 21
4.8. Udaljena terminalna jedinica (eng. *Remote Terminal Unit*) 21
4.9. Centralna stanica 22
4.10. Sustav za upravljanje energijom (eng. *Energy Management System*) 23
4.11. FACTS i HVDC 23
4.12. WAMPAC (eng. *Wide Area Monitoring, Protection And Control*) 24
4.13. Sustavi upravljanja distribucijom (eng. *Distribution Management Systems*) 26
4.14. Pametna brojila 28
4.15. Komunikacija u naprednoj mjernoj infrastrukturi 29
5. PLAN RAZVOJA SN MREŽE U NAREDNIH 20 GODINA – ELEKTRA VINKOVCI .

..... 33
5.1. Metodologija i kriteriji planiranja 34
5.2. Predviđanje opterećenja 36
5.3. Troškovi ulaganja i pregled tehničkih značajki 39
ZAKLJUČAK 43
LITERATURA 44
SUMMARY 47
ŽIVOTOPIS 48

1. UVOD

Zbog zastarjele infrastrukture današnje elektroenergetske mreže i dodatnih otežavajućih čimbenika kao što su rast populacije, klimatske promjene, problemi sa skladištenjem energije potrebno je stvoriti novu mrežnu infrastrukturu tj. pametnu mrežu (eng. *Smart Grid*). Pametna mreža bi trebala sadržavati sve dijelove trenutne elektroenergetske mreže, uz dodatak novih tehnologija.

U drugom poglavlju opisana je struktura današnje elektroenergetske mreže. Također, dana je i usporedba trenutne elektroenergetske mreže i pametne mreže.

U trećem poglavlju opisani su razlozi za pametnu mrežu i koristi implementacije, od sigurnosti, integracije pa sve do operativnih koristi za industriju i korisnike .

Četvrto poglavlje sadrži neke od tehnologija i komponenti pametne mreže, iako one još uvijek nisu jasno definirane.

Peto poglavlje daje pregleda razvoja SN distribucijske mreže za Elektru Vinkovci u narednih dvadeset godina.

2. DANAŠNJA MREŽA U ODNOSU NA NAPREDNU MREŽU

Infrastruktura današnje mreže slabo se mijenjala otkako je izgrađena. Današnja je distribucijska mreža jako složena i nije spremna za potrebe 21. stoljeća. Loša je vidljivost sustava, ne postoji automatska analiza, mehaničke sklopke uzrokuju sporo vrijeme odziva itd. [1] Sve je to pridonijelo ispadima sustava. Dodatni otežavajući čimbenici su rast populacije i potražnje za energijom, globalne klimatske promjene, česti kvarovi opreme, problemi sa skladištenjem energije, ograničenje proizvodnih kapaciteta električne energije, jednosmjerna komunikacija, smanjenje korištenja fosilnih goriva i problemi sa elastičnošću mreže. [2]

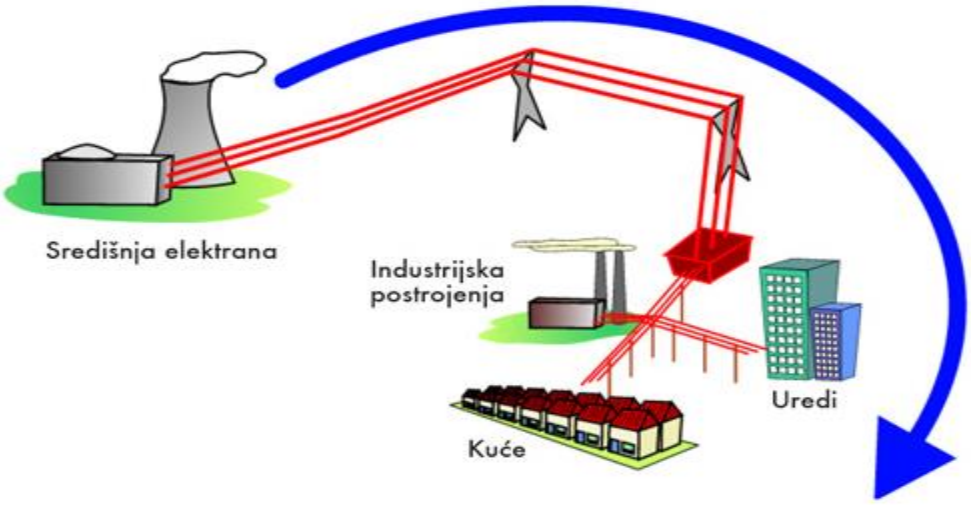
Kao rješenje tih problemima pojavio se novi koncept, sljedeća generacija elektroenergetske mreže, odnosno napredna mreža (u daljnjem tekstu pametna mreža). Napredne elektroenergetske mreže predstavljaju skup tehnologija koje omogućavaju bolju integraciju obnovljivih izvora u elektroenergetsku mrežu te uvode nove tehnologije i tehnološke inovacije koje omogućuju da klasična mreža funkcionira na nešto drugačiji, stabilniji i precizniji način nego sada. Nadalje, napredne pametne mreže mogu razviti nove usluge i servise kao što je primjerice elektrifikacija cestovnog transporta.[3] [4]

Obnovljivi izvori energije su glavna tehnologija za smanjenje potrošnje goriva i emisije stakleničkih plinova. Pametna mreža omogućuje novu strategiju mrežnog upravljanja, pruža učinkovitu mrežnu integraciju sa distribuiranom proizvodnjom i skladištenje energije za ravnotežu opterećenja distribuirane proizvodnje. Integracije obnovljivih izvora energije, smanjenje gubitaka u sustavu i povećanje pouzdanosti, učinkovitosti i sigurnosti opskrbe električnom energijom kupcima su neki od napredaka koje će pametna mreža omogućiti. Postojeća elektroenergetska mreža ima manjak komunikacijskih mogućnosti, dok je napredna mrežna infrastruktura puna senzora i naprednih komunikacijskih mogućnosti. Utjecaji kvarovi opreme, ograničenja kapaciteta i prirodnih nesreća tj. katastrofa, koji uzrokuju poremećaje i prekide napajanja, mogu se u velikoj mjeri izbjeći online nadzorom stanja elektroenergetskog sustava.

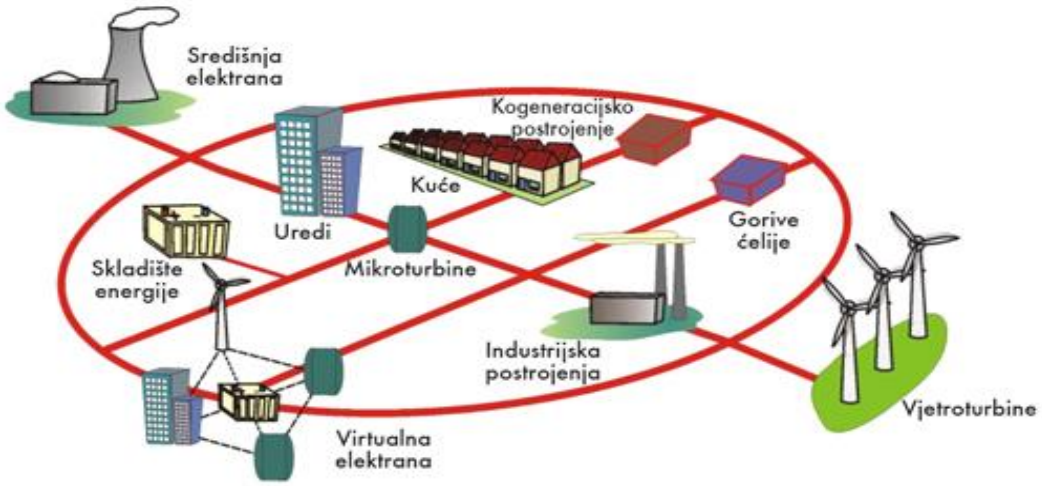
Dizajn današnje elektroenergetske mreže je takav da ona funkcionira kao vertikalna struktura koja se sastoji od proizvodnje, prijenosa i distribucije. Električnu snagu proizvodi mali broj velikih elektrana. Snaga se dalje prenosi putem prijenosnih vodova do područja sa niskim naponom i predaje krajnjim korisnicima. Tokovi snaga u današnjoj mreži su jednosmjerni od

visokonaponskog prijenosnog sustava prema korisnicima. Pametna mreža mora biti opremljena komunikacijskom podrškom i tehnikama mjerenja, u stvarnom vremenu, kako bi se poboljšala njena otpornost i predviđanje, kao i za zaštitu od unutarnjih i vanjskih prijetnji. Dizajn pametne mreže temelji se na razdvajanju i restrukturiranju elektroenergetskog sektora i optimiziranju njenih resursa. Nova će mreža biti sposobna:

- rukovati nepouzdanostima u predviđanju i prijenosima energije
- prilagođavati obnovljive izvore energije
- optimizirati prijenosne sposobnosti prijenosnih i distribucijskih mreža
- upravljati i rješavati nepredvidive događaje i nesigurnosti u radu



Sl. 2.1. Prikaz današnjeg elektroenergetskog sustava [5]



Sl. 2.2. Prikaz pametne mreže [5]

Tablica 2.1. Usporedba trenutne elektroenergetske mreže i pametne mreže

Komunikacija	Nema je ili je jednosmjerna; uglavnom nije u stvarnom vremenu	Dvosmjerna komunikacija u stvarnom vremenu
Sudjelovanje korisnika	Ograničeno	Opsežno
Mjerenje	Elektromehaničko	Digitalno (omogućuje stvaranje cijena u realnom vremenu)
Radovi	Ručno provjeravanje opreme i održavanje	Daljinsko praćenje, predviđanje, vremensko održavanje
Proizvodnja	Centralizirana	Centralizirana i distribuirana
Kontrola tokova snaga	Ograničena	Opsežna i automatizirana
Pouzdanost	Sklona kvarovima i prekidima;	Automatizirana, proaktivna zaštita; sprječavanje ispada prije nego se dogode
Obnova nakon poremećaja	Ručna	Mreža se sama obnavlja
Topologija sustava	Radijalna; tok snage je uglavnom jednosmjeran	Mrežasta; više puteva za tok snage

3. PREDNOSTI I KORISTI PAMETNE MREŽE

Pametna mreža je neophodna kako bi se omogućila održiva budućnost. Potrebna je obostrana vizija svih sudionika za potpuno moderniziranje ove mreže. Novi skup pravila i pretpostavki će se razviti u tri ključna područja a to su; sigurnost, standardizacija i integracija. U umreženoj ekonomiji sve mrežne komponente utječu jedna na drugu sa različitim razinama suprotnosti i ograničenja. Integracija pametne mreže je složen proces zbog starog dizajna koji odvaja dijelove elektroenergetskog sustava jednog od drugog.

3.1. Sigurnost

Rast pametne mreže zavisi od razvoja sigurnosne tehnologije. Kao temeljna infrastruktura, pametna mreža si ne može dopustiti da ostane nesigurna. Ekonomski učinak, kao i javno i osobno zdravlje, sigurnost i opće dobro ovisi o održavanju pametne mreže sigurnom i pouzdanom u elektroenergetskom sustavu. Izazov je osigurati da mreža ostane sigurna ali opet elastična, koja je sposobna pružiti pouzdanu i pristupačnu energiju čak i prilikom prelaska u novu vrstu infrastrukture.

Iako je industrija ostvarila značajan napredak u osiguravanju pametne mreže, također je prepoznala značajne izazove koji ostaju čak i prilikom razvijanja robusnijeg pristupa zasnovanog na standardima. Obrana od velikog broja prijetnji mora se razvijati kako se i same prijetnje budu prilagođavale i mijenjale prema obrani. Izazov koji stoji ispred industrije je osigurati da promicanje i napredovanje cyber sigurnosti postane integralni element mrežne transformacije. Sigurnost zasnovana na standardima mora biti osmišljena i implementirana u svakom aspektu pametne mreže, pri tome podržavajući vladina i regulatorna sigurnosna načela. [6]

Da bi pametna mreža bila sigurna, sigurnosni standardi moraju zadovoljiti četiri minimalna zahtjeva [6]:

1. *Granularnost na razini uređaja*. Sigurnosni standardi moraju osigurati identifikaciju i izolaciju ugroženih ili hakiranih uređaja kako bi se spriječilo širenje štete u mreži.

2. *Sigurnost na temelju standarda*. Sigurnosni standardi moraju se temeljiti na najboljim protokolima i zahtjevima za razvijanje bržih, jednostavnijih nadogradnji za proizvodnju održive sigurnosti.
3. *Višeslojna, višerazinska sigurnost*. Sigurnosni standardi moraju osigurati više zaštite u rubnim uređajima, ugrađenim aplikacijama, mrežnoj infrastrukturi, mrežnim operacijskim sustavima, podacima i sustavima elektroprivrede.
4. *Održiva sigurnost*. Sigurnosni standardi moraju održati ulaganja u sigurnosnu kontrolu, nadogradnje softvera i poboljšanje procesa te biti sposobni za rutinska automatska ažuriranja.

3.2. Standardizacija

U tehnološkom razdoblju temelj napretka je bio strateški fokus prema standardima, pri tome okupljajući predstavnike korporacija kako bi stvorili industrijski sporazum za dizajn, proizvodnju i operativne smjernice. Takva industrijska standardizacija brzo pomiče cijelu industrija kroz ciklus usvajanja proizvoda i smanjuje troškove proizvodnje budući da su postignute uštede na troškovima. Standardi su igrali ulogu na nacionalnoj razini u ranim danima električne energije. Kućanski aparati su imali koristi od industrijskih ugovora o zajedničkim električnim dizajnima i standardima za utičnice i prekidače. Globalne skupine kao što su NIST, ANSI, IEC i IEEE nastoje pokrenuti globalnu interoperabilnost standarda za pametnu mrežu. [6]

Međutim, iako je standardizacija stekla svoje mjesto u gotovo svim industrijama, dajući poticaj za masovno usvajanje i niže troškove, zagovornici vlasničkog pristupa promiču pogodnosti kao što su inovacija i kontrola kvalitete. Izgradnjom ekskluzivnosti u dizajn proizvoda i poslovne procese, vlasnički pristup stvara „amortizer“ između tvrtke i vanjskog svijeta koji omogućuje ne samo kontrolu, nego i tok prihoda za financiranje inovacije uz održavanje kvalitete.

Sprječavanje međudjelovanja je moguće ostvariti ako inovacija i kontrola kvalitete rezultiraju superiornim proizvodima i daju više vrijednosti kupcima za poticanje usvajanja takvog tržišta. Što se tiče pametne mreže, elektroenergetska industrija je ušla u doba standardizacije te se može se očekivati da će projekti pametnih mreža iskoristiti taj zamah.

3.3. Integracija

Električne organizacije su podijeljene u silose na temelju njihove funkcionalnosti (proizvodnja, prijenos, distribucija, mjerenje i maloprodajne usluge). Silosi rade zajedno kako bi osigurali pouzdanu opskrbu u ovom lancu ali ovakva struktura počinje raditi protiv korisnosti kada je u pitanju integracija aplikacija i operacija preko mreže. Glavna prepreka za provedbu pametne mreže je postala standardna praksa nabave sustava koji komuniciraju različitim fizičkim mrežama, pohranjuju podatke u zasebne baze podataka i zahtijevaju odvojene sustave podrške. Takvo funkcionalno razdvajanje sada radi protiv kopanija koje nastoje integrirati operacije i utjecati na zajedničku mrežu i zajedničku bazu podataka kako bi se osigurala poboljšana interoperabilnost uz smanjenje troškova. [6]

Sa sve više i više granuliranog odlučivanja, vodstvo komunalnih poduzeća mora upravljati složenim i rastućim bazama podataka i trebaju pristup univerzalnom skupu pravodobnih podataka i vidljivosti operacija cijele organizacije. Podaci mogu protjecati u i iz zajedničke baze podataka kako bi se pojedinačnim aplikacijama moglo privući sveobuhvatan skup pravodobnih podataka. Kada se gleda kao integrirani ekosustav, a ne kao zbirka djelomično povezanih silosnih organizacija, sustav dobiva ogromnu učinkovitost. Za postizanje ovih i drugih ciljeva potrebno se usredotočiti na IP mrežu i prateću mrežu upravljanja sustavom. Za stvaranje nove arhitekture i operacijskog sustava te omogućavanje nesmetanog postavljanja i upravljanja raznim aplikacijama, elektroprivrede moraju započeti s upravljanom mrežom.

3.4. Prijelaz iz analognog u digitalni sustav

Ključni pokretač promjena je prijelazni proces koji je u trenutno u tijeku. Analogni uređaji i procesi se zamjenjuju za digitalne verzije koje rade istu stvar ali bolje, efikasnije i jeftinije. Ljudi koji koriste analognu opremu za prikupljanje informacija i donošenje poslovnih odluka bivaju zamijenjeni automatiziranim procesima digitalne opreme i digitalnih komunikacijskih sustava. Dobar dio ovog prijelaza, daleko od analognih instrumenata, temelji se na napretku interneta i komunikacijskih sustava. Promjene se ne pojavljuju samo na mrežnoj razini, ali će se možda najviše osjetiti s nadogradnjom krajnjih uređaja i senzora te kroz prilagodbu poslovnih procesa. [6]

3.5. Koristi pametne mreže

Poboljšanje pouzdanosti mreže je moguće ostvariti korištenjem više pametnih uređaja za praćenje tokova snaga u stvarnom vremenu u razdjelnoj mreži i poboljšanjem kontrole napona za optimiziranje dostavne učinkovitosti. Ovo dovodi do smanjenja ukupne potrošnje električne energije, uz očuvanje resursa i smanjenje cijene električne energije. Softverske aplikacije, pametni uređaji, kućni automatizirani sustavi koji upravljaju opterećenjem i distribuiranom potražnjom, pomažu potrošačima u upravljanju potrošnjom električne energije, te time štede novac bez ugrožavanja svog načina života. Na ovaj se način pomaže u poboljšavanju dostave električne energije u ukupnom sustavu i smanjuje se broj potrebnih elektrana i prijenosnih vodova. Brzo implementiranje tehnologija pametne mreže za rezultat će dati višestruke operativne koristi i veću pouzdanost cijelog sustava, uštede na troškovima rada i održavanja, te će dovesti do ukupnog smanjenja ispadanja sustava. [6]

Dobro dizajnirana pametna mreža bi trebala isplatiti početno ulaganje višestruko. Potrošači će moći koristiti električnu energiju kada je najjeftinija, a proizvoditi je i prodavati kada su cijena i potražnja visoki. Zbog oslanjanja na distribuirane resurse, postići će se veća energetska sigurnost. Dajući korisnicima informacije i cijene električne energije u stvarnom vremenu te korištenjem distribuiranih energetskih resursa, pametna će mreža značajno smanjiti ukupnu potrošnju i potrošnju električne energije pri vršnom opterećenju, dovesti će do povećanja kapaciteta postojećih prijenosnih vodova i smanjenja gubitaka na prijenosnim i distributivnim vodovima.

Trenutna se elektroenergetska mreža jako oslanja na smanjenje korištenja energije iz fosilnih goriva. Cijene prirodnog plina, ugljena a posebno nafte konstantno rastu. Prema [7.] cijena nafte je skočila za 800% od 1998. do 2008. godine. Korištenje fosilnih goriva značajno doprinosi rastu problema sa klimatskim promjenama, te je zbog toga potrebna čistija alternativa. Jedna od alternativa je korištenje već dostupnih obnovljivih izvora energije. Mjesta za proizvodnju energije iz vjetra i sunca se već postavljaju na udaljenim lokacijama i u blizini obale ali problem je prijenos električne energije na velike udaljenosti i njeno skladištenje. Pametne mreže bi trebale efikasno prenositi električnu energiju preko velikih udaljenosti i iskoristiti obnovljive izvore.

4. TEHNOLOGIJE I KOMPONENTE PAMETNE MREŽE

Pametna se mreža odnosi na cijelu elektroenergetsku mrežu od proizvodne, prijenosne i distribucijske infrastrukture pa sve do širokog spektra potrošača. Koncept pametne mreže obuhvaća sve funkcije praćenja, upravljanja i prikupljanja podataka kroz prijenosni i distribucijski sustav i niskonaponsku mrežu sa potrebom za napredniju integraciju i razmjenu informacija između elektroprivrede, električne mreže i korisnika.

Pametna mreža se sastoji od slijedećih glavnih komponenti:

- Pametnih senzora i mjernih tehnologija kao što su daljinsko praćenje, prikaz cijene električne energije za vrijeme korištenja, upravljanje potražnjom električne energije.
- Integrirane dvosmjerne komunikacijske infrastrukture koja daje informacije u stvarnom vremenu otvorenoj arhitekturi o svakoj krajnjoj točki u sustavu.
- Naprednih metoda za upravljanje koje nadgledaju kritične komponente pri tome omogućavajući brzu dijagnozu i precizan odgovor.
- Softverske sistemske arhitekture sa naprednim sučeljima, podrškom za odluke, naprednim vizualnim prikazima za lakše donošenje odluka.

4.1. Centralizirana i distribuirana proizvodnja

Masovna centralizirana proizvodnja dominirala je elektroenergetskom industrijom desetljećima, međutim povećano zanimanje za napredovanjem u efikasnosti proizvodnje električne energije dovelo je do izgradnje malih proizvodnih postrojenja bliže teretima kupaca. Ovaj je trend doveo do pojave koncepta distribuiranih izvora energije.

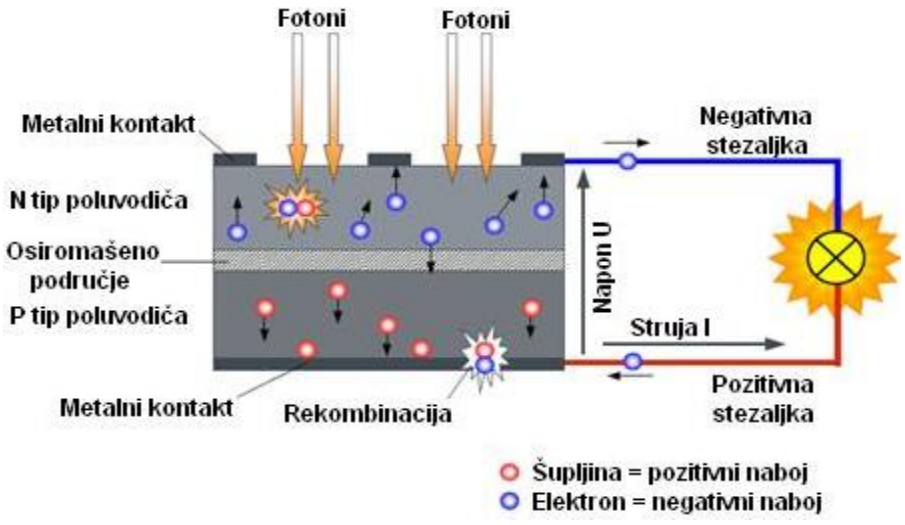
Distribuirani izvori su izvori na distribucijskoj razini koji imaju manje proizvodne kapacitete. Primjer su izmjenični dizel motori, mikro turbine pogonjene prirodnim plinom, velike baterije, male obnovljive proizvodnje i gorivne ćelije. Distribuirana proizvodnja se odnosi samo na proizvodnju energetskih resursa na razini distribucije ali ne i na njihovu pohranu. Potencijalne konfiguracije distribuiranih izvora su od osnovne rezervne podrške sve do kompletne mikromreže. Rezervni generatori su obično mali dizel generatori namijenjeni kao potpora određenim opterećenjima. U ovakvoj konfiguraciji, mreža ima osnovni zadatak pružanja energije; rezervni

generatori samo „uskaču“ kada je mreža u opasnosti. Problem sa ovakvim konfiguracijama je niska iskoristivost sustava, jer rezervni generatori ne rade osim ako je mreža nedostupna.

Zbog niske iskoristivosti, cijena dostavljene energije je vrlo visoka. Ta visoka cijena potiče korisnike privatnih rezervnih generatora na odabir manjih generatora koji obično nisu dovoljno veliki za prihvat cijelog opterećenja. Kada dođe do ispada, opterećenje mora biti ispušteno, osim kritičnih. Kritična opterećenja su obično u zasebnom krugu, što znači, kad bi i rezervni generatori bili dovoljno veliki, ne bi mogli pogoniti redovito opterećenje. Elektroprivreda je postavila rezervne generatore u mjesta koja imaju kritične zadatke, kao što su bolnice ali bi bilo korisnije da distribuirani izvori rade cijelo vrijeme. [6]

4.1.1. Solarni fotonaponski izvori

Zbog rastuće potrebe za obnovljivim izvorima, proizvodnja energije iz solarnih fotonaponskih izvora zadnjih je godina je ubrzano porasla. Fotonaponska ćelija je izrađena od poluvodičkog materijala, tipično od silicija ili drugih poluvodičkih materijala koji pretvaraju sunčevu energiju u električnu energiju. Kada je solarna ćelija izložen sunčevoj svjetlosti ona prenosi elektrone između različitih granica unutar materijala. Ovo rezultira potencijalnom razlikom između dvije elektrode, pri čemu poteče istosmjerna struja.



Sl 4.1. Solarna ćelija [8]

Glavne primjene fotonapona sežu od solarnih farmi, građevina, pomoćnog napajanja u prijenosnim uređajima pa sve do satelita. U zadnjem desetljeću, elektroprivrede diljem svijeta su

u svoju proizvodnju počele ugrađivati solarne farme. Za ugradnju takvog sustava u mrežu potrebni su AC/DC pretvornici i relejna zaštita. Glavna „boljka“ foto sustava je njihova promjenjivost. Zbog toga što je foto sustav nepouzdan izvor električne energije potrebno je poduzeti mjere da se pouzdanost takvih sustava poveća. Jedan od najuspješnijih je dodavanje baterijskih spremnika za skladištenje električne energije izvan vršnog opterećenja i njeno korištenje kada fotonaponski sustavi nisu dostupni.

4.1.2. Solarna termalna energija

Ova tehnologija pretvara solarnu energiju u toplinsku energiju. Postoje tri kolektorske razine s obzirom na temperaturu; niska, srednja i visoka. U praksi, nisko temperaturni kolektori se ravno postavljaju za grijanje bazena ili prostora, srednje toplinski kolektori su ravne plohe za grijanje vode ili zraka a visoko toplinski kolektori se koriste za proizvodnju električne energije.

Toplina predstavlja mjeru termalne energije koju sadrži određeni objekt. Nju definiraju tri glavna faktora; specifična toplina, masa i temperatura. U biti, količina topline koja se dobije ovisi o količini sunčanih zraka koje upadaju na površinu objekta. Toplina se prenosi kondukcijom ili konvekcijom. Izolirani termalni spremnici omogućavaju solarnoj termalnoj energiji proizvodnju topline tijekom dana kada nema sunčevog svjetla.

4.1.3. Energija vjetra

Energija se dobiva pretvorbom energije vjetra u vjetroturbinama. Ova vrsta energije je vrlo poželjan obnovljivi izvor energije jer ne proizvodi štetne plinove. Glavni negativni aspekt energije vjetra je intermitencija i vizualni utjecaj na okoliš. Tijekom normalnog pogona, sva se proizvedena energija mora odmah iskoristiti. Ukoliko se sva proizvedena energija ne iskoristi moguće ju je iskoristiti za punjenje baterijskih spremnika povezanih sa vjetroelektranom.

Snaga vjetra je veća pri većim brzinama vjetra, ali kako se brzina stalno mijenja, snaga dolazi i odlazi u sustav u kratkim intervalima. Promjenjivost izlazne snage je glavni razlog zašto se vjetroelektrane ne mogu koristiti kao glavni proizvođač energije. Najveća vjetroelektrana na svijetu „Gansu Wind Farm“ u Kini ima kapacitet od preko 6,000 MW (2012. god) sa ciljem dostizanja 20,000 MW do 2020. [9]



Sl. 4.2. Vjetroelektrana Vrataruša (42 MW) [10]

4.1.4. Bioplin i biomasa

Biomasa se odnosi na živuću ili donedavno živuću materiju, biljnog ili životinjskog porijekla, koja se može koristiti kao gorivo ili za industrijsku proizvodnju. Najčešće se koristi direktno u konačnoj potrošnji energije za grijanje, kuhanje ili zagrijavanje tople vode, ali se može koristiti i za proizvodnju električne energije i topline, te se odnedavno sve više koristi za proizvodnju biogoriva. Također može se koristiti u industriji za proizvodnju vlakana i kemikalija.

Podjela biomase po vrstama [11]:

- Drvna biomasa
- Ostaci i otpaci iz poljoprivrede
- Životinjski otpad i ostaci

- Biomasa iz otpada

Najčešće se koristi drvna masa koja je nastala kao sporedni proizvod ili otpad te ostaci koji se ne mogu više iskoristiti. Takva se biomasa koristi kao gorivo u postrojenjima za proizvodnju električne i toplinske energije ili se prerađuje u plinovita i tekuća goriva za primjenu u vozilima i kućanstvima. Biomasa ne uključuje organske tvari koje su promijenjene raznim geološkim procesima u tvari poput nafte i ugljena.

Bioplin se proizvodi energetskim transformacijama iz životinjskog izmeta, kanalizacijskog otpada i krute biomase, u anaerobnim uvjetima. Prvenstveno se sastoji od metana i ugljik-dioksida. Može se koristiti kao pogonsko gorivo za vozila, a njegovim pročišćavanjem možemo dobiti i plin čist poput prirodnog. Bioplin se može koristit za dobivanje električne energije, grijanje vode i prostora te u industrijskim procesima. Ako se komprimira, može zamijeniti prirodni plin koji se koristi u automobilima sa motorima na unutarnje izgaranje. [11]

4.1.5. Geotermalna energija

Geotermalna se energija dobiva prirodnim procesima iz zemlje. Potencijal geotermalne energije je ogroman. Geotermalni resursi nalaze se u širokom spektru dubina, od plitkih površinskih do više kilometara dubokih rezervoara vruće vode i pare koja se može dovesti na površinu i iskoristiti. U prirodi se geotermalna energija najčešće pojavljuje u obliku vulkana, izvora vruće vode i gejzira. Glavni nedostatak prilikom iskorištavanja geotermalne energije je da nema puno mjesta na svijetu koja su izuzetno pogodna za eksploataciju. Najpogodnija su područja na rubovima tektonskih ploča, tj. područja velike vulkanske i tektonske aktivnosti. [12]

4.1.6. Energija valova te plime i oseke

Dvije se snage vežu uz oceane: snaga valova te snaga plime i oseke. Proizvodnja snage pomoću valova je povezana s površinskim oceanskim valovima i pretvaranjem te energije u električnu struju. Ovaj tip obnovljivih izvora energije još uvijek nije ostvario značajan proboj jer je jako nepouzdan. U planu je izgradnja prve europske farme u Irskoj koja će iskorištavati energiju valova te bi trebala započeti s radom 2018. godine. Cijena ovog projekta se kreće od 40 – 50 milijuna eura. [13]

Energija plime koristi razliku hidrostatskog potencijala između bazena i mora dok energija oseke koristi kinetičku energiju vode koja se giba. Ovaj tip energije koristi gibanje mora za vrijeme mjesečevih mijena odnosno rast ili pad morske razine za proizvodnju električne energije. Najčešće tehnologije su plimne barijere i generatori plimnih struja. Generatori plimnih struja rotiraju se podvodno i proizvode električnu energiju korištenjem kinetičke energije plimnih struja. Plimne barijere koriste branu koja se nalazi nasuprot plimnog ušća za proizvodnju struje korištenjem potencijalne energije vode. Voda utječe u barijeru tijekom visoke plime i onda se ispušta tijekom oseke pri tome pokretajući set turbina. Amplitude plime i oseke u Jadranskom moru su 1 m, a na Atlantskom, Tihom i Indijskom oceanu prosječno 6-8 m. Na pojedinim mjestima obale u zapadnoj Francuskoj i u jugozapadnom dijelu Velike_Britanije amplituda dostiže i više od 12m. Za ekonomičnu proizvodnju je potrebna minimalna visina od 7 m. Na svijetu postoji više od četrdeset lokacija za korištenje ove tehnologije. [14]

4.2. Tehnologija skladištenja energije

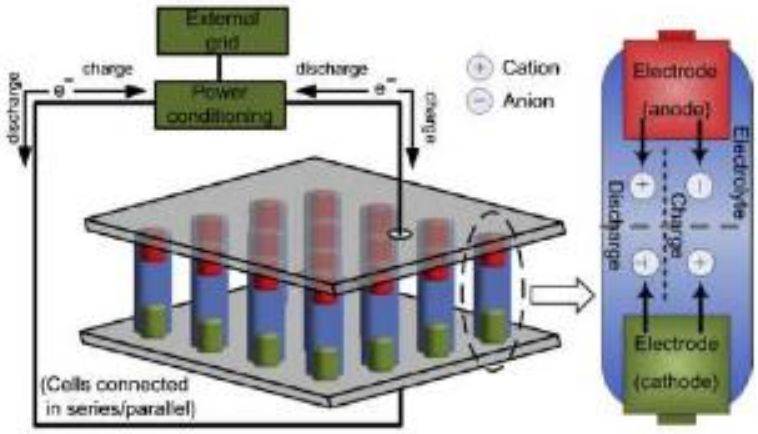
Skladištenje energije unutar mreže ima važnu ulogu u integraciji distribuiranih izvora i električnih vozila. Trenutno je glavni problem kod skladištenja energije njeno pohranjivanje tj. čim se energija proizvede ona mora biti iskorištena ili se pretvara u druge oblike energije. Mogućnost skladištenja energije na ekonomski, pouzdan i siguran način značajno bi olakšalo upravljanje elektroenergetskim sustavom. Visoki troškovi i tehnološka ograničenja su ograničili veliku primjenu takvih sustava.

Nekoliko je glavnih primjena gdje se koriste spremnici za skladištenje energije, a neki od njih su integracija obnovljivih izvora, regulacija frekvencije, rotirajuća rezerva itd. Skladištenje energije može biti centralizirano i distribuirano. Primjene centraliziranog skladištenja energije se sastoje od velikih elektrana koje su spojene na prijenosni sustav; zadatak je pružanje pomoćnih usluga tijekom kratkog vremena (obično sekunde ili minute) i primjena kod isprekidane integracije obnovljivih izvora. Distribuirano skladištenje energije se obično koristi za isprekidanu integraciju obnovljivih izvora i za poboljšanje pouzdanosti distribucije te se razmatra njena primjena za integraciju električnih vozila.

4.2.1. Baterijski spremnici

Kao i kod pojedinačne elektrokemijske ćelije, tijekom pražnjenja, elektrokemijske redox reakcije simultano se odvijaju na anodi i katodi rezultirajući strujom elektrona koja ide od anode prema katodi. Tijekom punjenja baterije dolazi do inverznih reakcija.

Različite su primjene baterijskih sustava, primjerice za osiguranje kvalitete, mogu se koristiti kao rezervni sustavi napajanja, pri upravljanju elektroenergetskim sustavom, kao i u transportnim sustavima. U ovom se trenutku kao najveće prepreke većoj implementaciji većih baterijskih sustava smatraju relativno kratak životni vijek izražen kroz broj ciklusa punjenje - pražnjenje, kao i relativno visoki troškovi održavanja. Problem je također i sigurno odlaganje istrošenih komponenti, kao i ograničena dubina pražnjenja (DOD) za neke od tipova baterija. [15]



Sl. 4.3. Princip rada baterija tijekom procesa pražnjenja i punjenja [15]

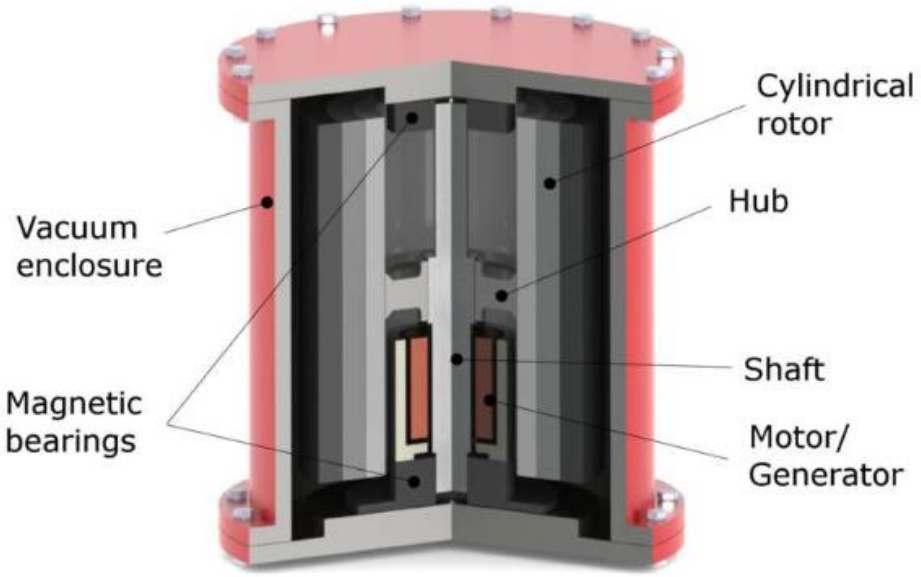
4.2.2. Spremnici induktivne energije

Spremnici induktivne energije pohranjuju energiju magnetskog polja koja se stvara zbog toka istosmjerne struje u supravodljivoj zavojnici. Ovi se spremnici sastoje od tri dijela: dvosmjernog AC/DC pretvarača, supravodljive zavojnice i kriogenog hladnjaka. Zavojnica se hladi ispod svoje supravodljive kritične temperature, istosmjerna struja nabije supravodljivu zavojnicu i kada je zavojnica nabijena dolazi do skladištenja induktivne energije. Energija se otpušta izbijanjem zavojnice. Cijena ovakvog sustava je visoka zbog korištenja supravodljivih vodiča i kriogenog hlađenja. Glavna namjena ovakvih sustava je smanjenje tereta tijekom vršnog opterećenja.

Tehnološki izazovi kod korištenja spremnika magnetske energije su veličina, mehanička potpora pod visokim silama, proizvodnja supravodljivih kabela, utjecaj na zdravlje zbog izlaganja magnetskim poljima.

4.2.3. Zamašnjaci

Zamašnjak je rotirajući mehanički uređaj koji se koristi za spremanje mehaničke (rotacijske) energije. Ima veliki moment inercije zbog čega vrlo polako usporava. Količina spremljene energije proporcionalna je kvadratu brzine vrtnje. Prilikom usporavanja energija se vraća u sustav. Za smanjenje trenja tijekom rotacije, rotor drže ležajevi u vakuumskoj komori. Rotor je spojen sa električnim motorom ili generatorom. Brzina vrtnje je par tisuća okretaja u minuti. Moderni zamašnjaci načinjeni su od karbonskih vlakana, koriste vakuum, imaju magnetske ležajeve a brzina vrtnje je do 60,000 okr/min. [16]



Sl. 4.4. Zamašnjak [16]

4.2.4. Komprimirani zrak

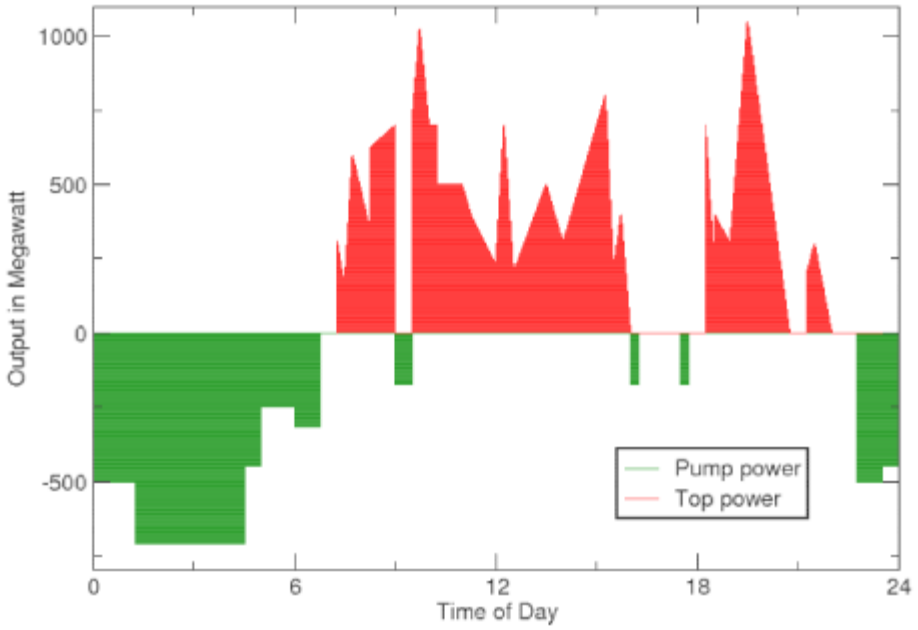
Energija koja se generira van vršnog opterećenja pohranjuje se i koristi u drugom vremenskom periodu tj. za vrijeme vršnog opterećenja. Tri su načina skladištenja energije: adijabatskim, dijabatskim i izotermnim procesom. Adjiabatska pohrana zadržava toplinu koja se proizvela kompresijom, toplinom se kasnije zagrijava zrak koji potom ekspandira te se proizvodi energija. Teorijska iskoristivost adijabatskog procesa sa savršenom izolacijom teži k 100 % , ali u praksi, očekivana iskoristivost je 70 %. Toplina se može spremiti u krutom tijelu kao npr. betonu, kamenu ili vjerojatnije u tekućini, npr. vrućem ulju (na temp. od 300°C) ili rastaljenim slanim otopinama (na temp. od 600°C). [17]

Kod dijabatske pohrane dolazi do disipacije određene količine topline pomoću hladnjaka.Za ponovno korištenje, zrak se mora zagrijati prije ekspanzije u turbini kako bi došlo do proizvodnje energije. Izotermalna kompresija i ekspanzija približava se pokušaju održavanja radne temperature pomoću konstantne izmjene topline s okolišem. Ovi procesi praktični su samo pri niskoenergetskim razinama, bez visoko efektivnih izmjena topline. Teorijska iskoristivost izotermalnog skladištenja energije teži 100 % sa savršenom izmjenom topline s okolišem. [17]

4.2.5. Crpno akumulacijska pohrana energije

Ovaj sustav uključuje pohranu gravitacijske potencijalne energije vode. Sustav uključuje postojanje dva spremnika; donji i gornji. Voda se crpi iz donjeg spremnika u gornji, izvan vršnog opterećenja, kada je trošak korištenja električne energije za pokretanje crpki mali. Kada se u sustavu javi potreba za električnom energijom, voda se iz gornjeg spremnika pušta u donji, preko turbine i na taj način se gravitacijska potencijalna energija vode ponovno transformira u električnu energiju.

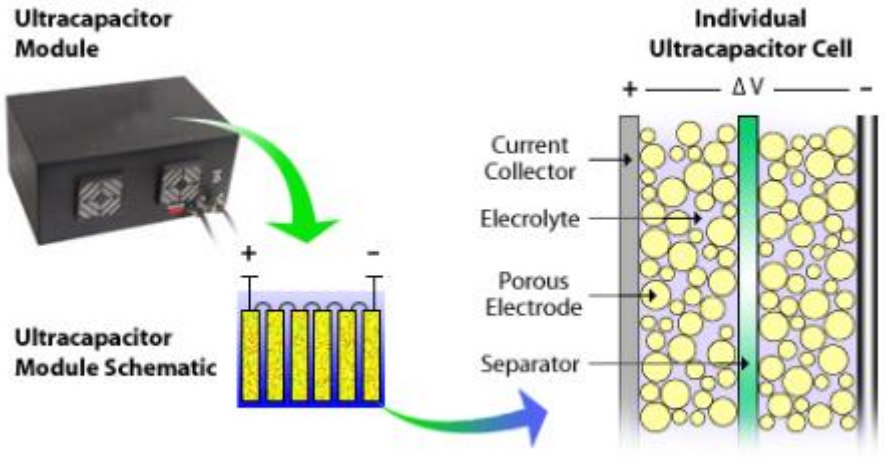
Sustav se koristi za kontrolu frekvencije, ravnanje opterećenja, međutim trošak izgradnje ovakvog spremnika je visok. Zelenom bojom označen je crpni režim rada, dok crvena boja označava turbinski režim rada, odnosno period proizvodnje električne energije. [15]



Sl. 4.5. Tipični dnevni režim rada crpno-akumulacijske elektrane [15]

4.2.6. Ultrakondenzatori

Zbog brzog vremena izbijanja i nabijanja, koriste se tijekom kratkih prekida i naponskih ulegnuća a za spajanje na mrežu koristi se dvosmjerni AC/DC pretvornik. Sastoje se od dvije kolektorske ploče (elektrode) uronjene u elektrolit. Jedna je elektroda pozitivna a druga je negativna. Tijekom punjenja potencijalna razlika između dvije kolektorske ploče uzrokuje da negativni ioni u elektrolitu budu privučeni prema pozitivnoj kolektorskoj ploči a pozitivni ioni obrnuto.



Sl. 4.6. Ultrakondenzator [18]

Prednost u odnosu na baterijske spremnike su dugi vijek trajanja, dobra reverzibilnost, visoka efikasnost a negativne strane su kompleksno upravljanje, sigurnosna pitanja, balansiranje napona itd.

4.3. Električna vozila

Zbog visoke cijene električnih vozila, provedeno je istraživanje mogu li električna vozila pružiti dodatne usluge kako bi se vlasnicima smanjio trošak. Istraživači su iskoristili činjenicu da vozila većinu dana nisu u uporabi, te su provedene studije o mogućnosti električnih vozila da doprinesu uslugama mrežne podrške. Utvrđeno je da je regulacija frekvencije najkompatibilnija sa plug – in električnim vozilima i donosi najveći financijski poticaj vlasnicima. Postoje dva tipa interakcije električnih vozila i mreže. Prvi je interakcija električne mreže sa vozilima, u kojoj mreža daje električnu energiju vozilima. U drugoj interakciji, vozila imaju mogućnost vratiti energiju u mrežu, što omogućava operatorima sustava korištenje vozila kao distribuiranih energetskih resursa.

Iako su se električna vozila slabo probila na tržište, predstavljaju veliko opterećenje za električnu mrežu jer zahtijevaju dodatnu proizvodnju električne energije. Najjednostavniji način

za kontrolu potrošnje električne energije je ograničavanje korisnika na punjenje el. vozila izvan vršnog opterećenja (tijekom noći). Sa strane elektroprivrede ovo je idealno rješenje dok korisnicima ograničava korištenje vozila. Drugo rješenje je da se kroz korištenje tehnologija pametne mreže, vrši kontrola punjenja električnih vozila na način da se daju poticaji za punjenje izvan vršnog opterećenja kroz tarife. Tarife bi varirale s vremenom korištenja a za njihovu implementaciju je potrebno napredno mjerenje i povratna informacija potrošača. Zbog toga je potrebna edukacija potrošača i njihova razmjena informacija u stvarnom vremenu sa elektroprivredom. [6]

4.4. Pametne trafostanice

Trafostanice su glavni dijelovi elektroenergetskog sustava. Postoje razne vrste trafostanica kao što su prijenosna, distribucijska itd. Neke od osnovnih funkcija trafostanica su; pretvaranje napona, komunikacija sa ostalim trafostanicama i upravljačkim centrima, služe kao spojna točka za prijenosne i distribucijske vodove. Trafostanice i pojni vodovi sadrže važne informacije za sigurno upravljanje elektroenergetskom mrežom odnosno koriste se za zaštitu, nadzor i upravljanje opremom u sustavu.

4.5. Inteligentni elektronički uređaji (eng. *Intelligent Eelectronic Devices*)

Inteligentni elektronički uređaji su uređaji na bazi mikroprocesora koji mogu razmjenjivati podatke i upravljačke signale sa drugim uređajima preko komunikacijske veze. Oni izvršavaju nadzor, zaštitu, upravljanje i skupljanje podataka u trafostanicama, pojnim vodovima i važni su za normalan rad elektroenergetske mreže. U nekim slučajevima, koriste se za diferencijalnu zaštitu, distantnu zaštitu, nadstrujnu zaštitu, mjerenje i nadzor. Zbog svega gore navedenog, inteligentni elektronički uređaji su ključna komponenta za integraciju i automatizaciju trafostanica. Integracija trafostanica uključuje integraciju zaštite, upravljanja i skupljanje podataka sa što manjim brojem uređaja kako bi se smanjili kapitalni i operativni troškovi i kako bi se smanjila suvišna oprema i baze podataka. Automatika uključuje postavljanje SCADA uređaja, uređaja za alarmiranje pa sve do integracije IVVC (eng. *Integrated Volt/VAR Control*) uređaja za optimizaciju uređaja i poboljšanje operativnih troškova i troškova održavanja. [6]

Glavne prednosti IED uređaja su kompatibilnost sa IEC 61850 standardom, njihove dimenzije te raspon mogućnosti koje pružaju za buduće komunikacijske tehnologije. Uvođenjem IEC 61850 standarda stvoren je temelj za jedinstvenu komunikacijsku infrastrukturu koja pokriva sve razine trafostanice.

4.6. Senzori

Glavna funkcija senzora je prikupljanje podataka od pojedinih dijelova trafostanice kao što su transformatori, prekidači i nadzemni vodovi. Kombinacija digitalne i optičke tehnologije sa komunikacijom daje novu vrstu senzora. Najistaknutije prednosti tih digitalnih senzora su visoka preciznost bez zasićenja, manje dimenzije, pogodniji su za okoliš (nemaju ulje ili SF6 plin), visoke performanse i propusnost te mali troškovi održavanja. Optički senzori imaju još širi frekvencijski spektar, šire dinamičko područje i veću preciznost. Novi senzori dolaze sa dvije nove mogućnosti; jedan senzor može služiti različitim vrstama inteligentnih elektroničkih uređaja i jedan senzor može služiti velikom broju inteligentnih elektroničkih uređaja preko procesne sabirnice.

4.7. SCADA (eng. *Supervisory Control And Data Acquisition*)

SCADA se odnosi na sustav ili kombinaciju sustava za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima. Takav sustav skuplja podatke iz raznih senzora u postrojenju ili na određenim lokacijama i onda ih šalje u središnji kompjuterski sustav koji ih zatim obrađuje te upravlja kontrolnim uređajima negdje u sustavu.

Glavna svrha SCADA sustava u elektroenergetskoj mreži je dobavljanje podataka u stvarnom vremenu od uređaja diljem elektrana, prijenosnih i distributivnih sustava, distribucijskih izvoda te upravljanje opremom i dostavljanje podataka osoblju. Vremenski raspon za nadzor i upravljanje trafostanicama i izvodima je u rasponu od jedne pa do pet sekundi.

4.8. Udaljena terminalna jedinica (eng. *Remote Terminal Unit*)

Udaljena terminalna jedinica se koristi za prikupljanje analogne i statusne telemetrije iz udaljenih uređaja, kao i za slanje upravljačkih naredbi udaljenim uređajima. Obično oprema za upravljanje i prikupljanje podataka čini sustav sa barem jednom centralnom stanicom, jednom ili

više udaljenih terminalnih jedinica i komunikacijskim sustavom. Udaljena terminalna jedinica šalje podatke centralnoj stanici time omogućava izdavanje naredbi uređajima na terenu.

4.9. Centralna stanica

Centralna stanica je kompjuterski sustav odgovoran za komunikaciju sa udaljenom opremom i uključuje sučelje kojim upravlja odgovorna osoba u kontrolnoj sobi. U manjim SCADA sustavima centralna se stanica može sastojati od jednog računala. U većim sustavima centralna stanica može uključivati nekoliko servera, distribuirane softverske aplikacije i mjesta za oporavak od katastrofe.

Velika elektroenergetska centralna stanica ili sustav za upravljanje energijom se sastoji od sljedećih dijelova [6];

- Jednog ili više servera za prikupljanje podataka koji razmjenjuju podatke sa udaljenim uređajima preko komunikacijskog sustava
- Servera sa podacima u stvarnom vremenu
- Povijesnih servera koji sadrže povijesne podatke
- Aplikacijskih servera koji pokreću razne aplikacije za upravljanje energijom
- Operatorske stanice koja sadrži sučelje za ljudsku uporabu (eng. *Human Machine Interface*)

U sustavima za upravljanje energijom, hardver je spojen preko jednog ili više LAN-ova. Centralne se stanice dijele u nekoliko kategorija;

- SCADA centralna stanica
- SCADA centralna stanica s automatskim upravljanjem proizvodnjom
- Sustav za upravljanje energijom
- Stanica za automatizaciju distribucije

Sve vrste centralnih stanica su povezane sa udaljenim uređajima u sustavu. Obično su ti uređaji udaljene terminalne jedinice ali se trenutno zamjenjuju sa inteligentnim elektroničkim uređajima.

4.10. Sustav za upravljanje energijom (eng. *Energy Management System*)

Održavanje elektroenergetskog sustava blizu normalne frekvencije, bez nekakvih neočekivanih prekida je poznato pod nazivom održavanje električnog integriteta. Održavanje integriteta čine kontrolni centri. Oni koriste softverski i hardverski sustav pod nazivom sustav za upravljanje energijom (EMS).

EMS prati i upravlja tokovima snage u visokonaponskoj prijenosnoj mreži. Sustav za upravljanje distribucijom (eng. *Distribution Management System*) prati i upravlja tokovima u nisko naponskoj distribucijskoj mreži.

Prvi sustavi u svijetu koji su postavljeni u kontrolne centre radi upravljanja energijom su bili SCADA sustavi. Oni su omogućavali operatorima vizualno motrenje stanja u mreži i djelovanje iz kontrolnog centra. Sljedeća funkcija koja je implementirana u kontrolne centre je bila kontrola frekvencije prilikom opterećenja (eng. *Load Frequency Control*). Cilj LFC-a je automatsko održavanje frekvencije sa promjenom opterećenja. U početnim verzijama operatori su vizualno pratili frekvenciju u sustavu i periodično slali male signale generatorima da usklade izlaz generatora prema opterećenju u sustavu. Kasnije je LFC postao prva automatizirana tehnologija za pomoć pri održavanju električne energije u sustavu.

4.11. FACTS i HVDC

U elektroenergetskim mrežama, u svakome trenutku količina proizvedene energije mora odgovarati količini potrošene energije. Prijenosna mreža odrađuje ovaj zadatak preko prijenosnih vodova, transformatora, prekidača i druge opreme. Mogućnost kontrole toka radne i jalove snage, napona i kontrola frekvencije su ključni element u optimizaciji mreže. Uređaji koji mogu kontrolirati radnu i jalovu snagu u određenom vodu, čvoru ili dijelu mreže su slijedeći;

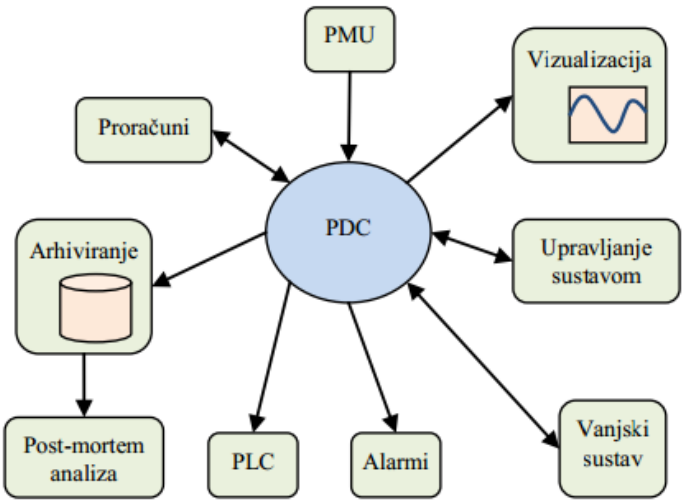
- Sinkroni kondenzatori
- FACTS uređaji (eng. *Flexible AC Transmission Systems*)
- HVDC (eng. *High-Voltage Direct Current*)

Ovi uređaji imaju mogućnost implementacije pametnog upravljanja u normalnim pogonskim uvjetima, kao i pod prijelaznim događajima ili tijekom kvarova. U ovisnosti o njihovoj brzini odgovora, mogu automatski spriječiti ili ubrzati oporavak u stanju kvara. FACTS i HVDC uređaji

imaju mogućnost sprječavanja problema u jako opterećenim sustavima; vrlo efikasno mogu povećati prijenosni kapacitet i stabilnost sustava te pomoći u sprječavanju daljnjih poremećaja.

4.12. WAMPAC (eng. *Wide Area Monitoring, Protection And Control*)

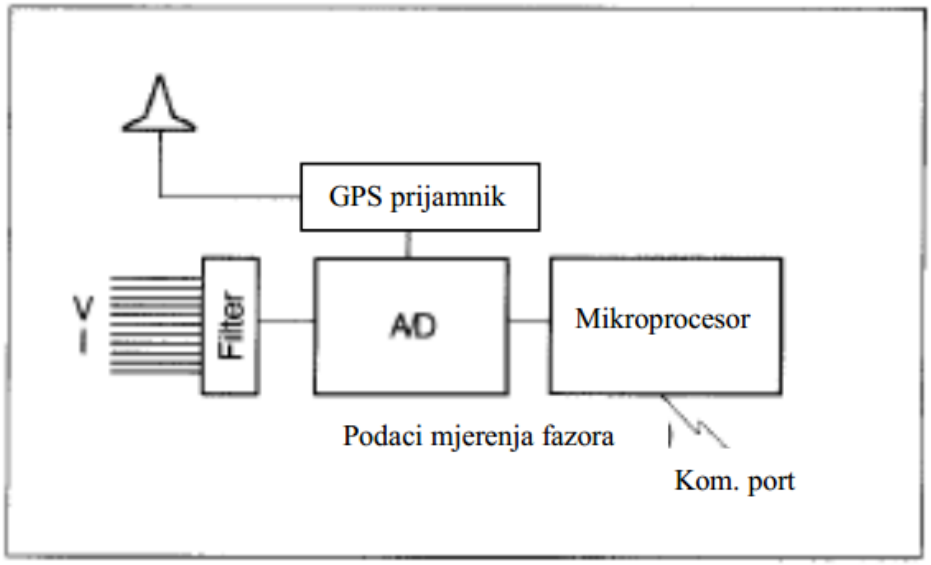
Vremenski sinkronizirana mjerenja diljem elektroenergetske mreže su glavna značajka WAMPAC sustava. Ovi se sustavi zasnivaju na sinkroniziranom uzorkovanju strujnih i naponskih signala u sustavu koristeći zajednički vremenski signal dobiven iz GPS-a. Uzorkovani signali se pretvaraju u fazore koji se sinkroniziraju i uspoređuju kroz cijeli elektroenergetski sustav koristeći preciznu GPS vremensku referencu. Napon na sabirnicama i fazori struje određuju stanje elektroenergetske mreže u stvarnom vremenu.



Sl. 4.7. Blok shema WAMPAC sustava [19]

Središnji dio sustava je koncentrator podataka o izmjerenim fazorima (PDC – eng. *Phasor Data Concentrator*) koji prikuplja podatke iz fazorskih mjernih jedinica (eng. *Phasor Measurement Unit*), dostavlja ih aplikacijama za obradu, vizualizaciju i arhiviranje mjerenja, modulima za upravljanje uređajima u postrojenju (korektivne akcije) te razmjenjuje podatke s vanjskim WAMPAC sustavima.

Fazorske mjerne jedinice su osnovni građevni dijelovi WAMPAC sustava. Fazorske mjerne jedinice uzorkuju signale iz strujnih i naponskih senzora te ih pretvaraju u fazore.



Sl. 4.8. Blok shema sinkronizirane mjerne jedinice [19]

GPS prijemnik osigurava tzv. jedan impuls po sekundi (pps – eng. *puls-persecond*) i vremensku oznaku koja se sastoji od godine, mjeseca, dana, sata, minute i sekunde. 1-pps signal obično se dijeli pomoću PLL oscilatora u potreban broj impulsa po sekundi koji se koriste za uzorkovanje analognih signala. Analogni signali se dobivaju iz sekundara naponskih i strujnih transformatora preko odgovarajućih filtera za eliminiranje poduzorkovanja i ograničavanja prenapona. Mikroprocesor unutar PMU-a računa fazore direktnog sustava prema rekurzivnom algoritmu koji je opisan ranije i fazoru pridružuje vremensku oznaku dobivenu od GPS-a.

Lista fazora šalje se preko komunikacijskog kanala udaljenom kontrolnom centru u kojem mjerenja prihvaća PDC koji prije daljnje obrade vremenski usklađuje mjerenja iz različitih PMU jedinica s obzirom na njihovu vremensku oznaku. Na ovaj način stvaraju se paketi fazora koji su izmjereni u istom trenutku i omogućavaju se proračuni nad stvarnim stanjem elektroenergetske mreže u jednom trenutku što prije ove tehnologije nije bilo moguće zbog različitih vremena potrebnih za pristizanje mjerenja iz mjernog uređaja do kontrolnog centra. [19]

4.13. Sustavi upravljanja distribucijom (eng. *Distribution Management Systems*)

Sustavi upravljanja distribucijom su nastali kao nadogradnja na SCADA sustava preneseni na distribucijsku mrežu. Do razvoja naprednih DMS primjena je došlo zbog povećanja iskoristivosti imovine i smanjenja operativnih troškova. Neke od primjena dane su u nastavku.

Detekcija kvara, izolacija i obnova usluge (eng. *Fault Detection, Isolation and Recovery*) je napravljena s ciljem povećanja pouzdanosti sustava. FDIR otkriva kvar na pojnom vodu, brzo izolira područje kvara, i vraća usluge dijelovima pojnog voda koji nisu pod kvarom. Može smanjiti vrijeme kvara sa nekoliko sati na nekoliko minuta i time značajno poboljšati pouzdanost distribucijskog sustava. Određivanje kvara zasniva se na lociranju električnog kvara u sustavu. Mjesto električnog kvara u sustavu je ondje gdje se dogodio kratki spoj, bio on rezultat udara munje, vegetacije ili nečeg drugog. Lociranje kvara je težak zadatak za osoblje zbog terena, nezaštićenih dijelova mreže i sl. U sustavima upravljanja distribucijom, algoritmi koriste model električne mreže, povezivanje sklopova, lokaciju otvorenih prekidača, duljine i impedancije vodiča za otkrivanje mjesta kvara. DMS dobiva informaciju o struji kvara od releja i udaljenih terminalnih jedinica.

Nakon što se eventualne lokacije kvara izračunaju unutar DMS aplikacije, zemljopisno se prikazuju operateru na zaslonu karte na konzoli. Ako je uključena kopnena baza zemljopisnog informacijskog sustava, kao što je preklapanje ulice, operator može komunicirati alat za rješavanje problema s mogućom lokacijom u blizini ulica ili sjecišta. Ti podaci pomažu osobama da brže pronađu pogreške.

RSA (*eng. Restoration Switching Analysis*) je napredna aplikacija koja poboljšava pouzdanost indeksa učinkovitosti. Ova aplikacija može poboljšati procjenu mogućih postupaka prebacivanja kako bi se izolirao trajni kvar i vratili korisnici što je brže moguće. Aplikacija preporučuje operateru predloženo prebacivanje, koji mogu odabrati najbolju alternativu na temelju kriterija kao što je broj obnovljenih korisnika, broj obnovljenih kritičnih korisnika i potreban broj prekidačkih operacija. Nakon pojave trajnog kvara, aplikacija procjenjuje sva moguća uklapanja i izvršava neuravnoteženo opterećenje kako bi se utvrdili preopterećeni vodovi i da li dolazi do prelaska niskonaponskog praga kad bi se uklapanja izvršila. Operator dobiva sažetak analize, uključujući i popis preporučenih uklapanja.

RSA aplikacija osobito je korisna za vrijeme teških opterećenja i kada je broj potencijalnih preklopnih akcija visok. Ovisno o opciji, aplikacija se može izvršiti s operatorom u petlji ili u zatvorenoj petlji bez intervencije operatera. U zatvorenoj petlji RSA aplikacija prenosi kontrolne poruke na distribucijske uređaje pomoću komunikacijskih mreža kao što su SCADA radio ili napredna mjerna infrastruktura. Takav automatizirani proces izolacije i restauracije naziva se "samoiscjeljivim" svojstvom pametne mreže.

Topologijski procesor je pozadinski procesor koji točno određuje topologiju distribucijske mreže i pružanje točnih podataka mreže za druge DMS aplikacije. Topologijski procesor također može pružiti inteligentnu obradu alarma za suzbijanje nepotrebnih alarma zbog topologijskih promjena.

Modeliranje opterećenja / procjena opterećenja (eng. *Load modelling / Load estimation*) je vrlo važan osnovni modul u DMS. Dinamičko modeliranje opterećenja LM / LE koristi sve raspoložive informacije iz distribucijske mreže, uključujući kapacitete korisničkih transformatora i mjesečne naplate kupaca zajedno s mjerenjima u stvarnom vremenu duž pojnih vodova kako bi točno procijenilo opterećenje distribucijske mreže, kako za pojedinačna opterećenja tako i za rasute terete. Učinkovitost cijelog DMS-a oslanja se na točnost podataka koje pruža LM / LE. Ako modeli opterećenja i vrijednosti punjenja nisu dovoljno precizni, svi rezultati rješenja iz DMS aplikacija su beskorisni.

Optimalna mrežna rekonfiguracija (eng. *Optimal Network Reconfiguration*) je modul koji preporučuje preklopne operacije za rekonfiguriranje distribucijske mreže kako bi se smanjili gubitci energije u mreži, održali optimalni profili napona i uravnotežili tereti između transformatora u trafostanicama, distribucijskih pojnih vodova i faza. ONR se može koristiti za razvoj planova u slučaju prekida za održavanje ili terensko širenje usluga.

Kontingencijska analiza (eng. *Contingency Analysis*) u DMS-u je osmišljena za analizu potencijalnih prebacivanja i scenarija kvara koji bi negativno utjecali na opskrbu kupcima ili utjecali na operativnu sigurnost. Uz rezultate kotingencijske analize, mogu se podzeti ispravne radnje mijenjanjem uvjeta rada ili konfiguracije mreže kako bi se zajamčio minimalan broj prekida korisnika i maksimalna pouzdanost mreže.

Analiza kratkog spoja (eng. *Short Circuit Analysis*) je offline funkcija za izračun struje kratkog spoja za hipotetičke uvjete kvara kako bi se procijenili mogući utjecaji kvara na mreži. SCA zatim provjerava postavke zaštite i funkcije releja te preporučuje preciznije postavke releja

ili konfiguraciju mreže. Koordinacija zaštite releja (eng. *Relay Protection Coordination*) upravlja i provjerava postavke releja u distribucijskim pojnim vodovima u različitim radnim uvjetima i rekonfiguracijama mreže.

Optimalni položaj kondenzatora / optimalni položaj regulatora napona (eng. *OCP / OVP*) je izvan mrežna funkcija koja se koristi za određivanje optimalnih mjesta za kondenzatorske baterije i regulatore napona u distribucijskoj mreži za najučinkovitiju kontrolu napona i naponskog profila.

Simulator treninga dispečera (DTS) koristi se za simulaciju učinaka uobičajenih i neuobičajenih radnih uvjeta i scenarija prebacivanja prije nego što se primjenjuju na pravi sustav. U distribucijskoj mreži DTS je vrlo važan alat koji može pomoći operaterima unaprijed procijeniti učinke planova operacija ili simulirati scenarij povijesnih operacija kako bi se dobila vrijedna obuka o korištenju DMS-a. DTS se također koristi za simulaciju uvjeta proširenja sustava.

4.14. Pametna brojila

Električna brojila su uređaji koji mjere količinu potrošene energije. Obično su kalibrirana u kWh. Naplata kupaca se zasniva na periodičkim očitavanjima električnih brojila u svrhu određivanja količine potrošene energije u tom periodu ili ciklusu. Većina stambenih brojila su jednofazna dok su industrijska i komercijalna brojila uglavnom trofazna. Električni brojila spadaju u dvije osnovne kategorije: elektromehanička i elektronička. Najčešći tip električnog brojila koji se trenutno koristi je elektromehaničko indukcijsko brojilo. Ovaj tip brojila radi na principu brojanja okretaja aluminijskog diska koji se rotira brzinom koja je proporcionalna snazi koja prođe kroz brojilo. Da bi se brojila očitala, elektroprivreda mora slati djelatnike. Brojila se očitavaju na mjesečnoj bazi, kvartalno ili godišnje, te se očitavanja nakon toga unose u korisničke baze radi izračuna naplate.

Elektromehanička brojila imaju nekoliko mana. Neefikasna su, jer elektroprivreda mora slati djelatnike od kuće do kuće za očitanje mjerila. Sama brojila su sklona nepreciznostima, njihovo očitavanje i unošenje podataka u bazu je isto podloga za greške. „Namještanje“ brojila za smanjenje količine potrošene energije jedan je od glavnih izvora gubitaka energije u sustavu. Brojila se mogu lako manipulirati za izmjenu očitanja potrošnje. Nema daljinskog upravljanja i kontrole funkcionalnosti. Ukoliko korisnik prijavi gubitak električne energije, djelatnik mora provjeri da li je napajanje zakazalo sa korisničke strane brojila ili sa strane elektroprivrede. Ako

korisnici sami ne očitavaju svoja brojila češće od ciklusa naplate, nemaju pregled potrošnje električne energije sve dok im ne dođe račun. Bez detaljnih informacija u stvarnom vremenu o električnoj potrošnji, korisnici imaju manje mogućnosti za smanjenje ili prebacivanje korištenja energije a time i uštedu na računima.

Zbog svih gore navedenih razloga, razvila se sljedeća generacija brojila korištenjem mikroprocesora. Pametna brojila su elektronička brojila koja također imaju komunikacijsko sučelje za komuniciranje s privredom. Većina pametnih brojila također sadrži sučelje za komunikaciju s okolinom i prekidač za isključivanje usluge.

Kako su se komunikacijske mogućnosti pametnih brojila poboljšale tako se i njihova funkcionalnost poboljšala . Neke od tih funkcija uključuju sposobnost daljinskog povezivanja ili prekida napajanja kupcu na brojilu, obavještavanje korisnika o nestanku struje (signaliziranje prekida rada), praćenje kvalitete napajanja, mogućnosti daljinske dijagnostike, prikaz vremena korištenja (signal cijene) i podržavanje raznih komunikacijske tehnoloških sučelja.



Sl. 4.9. Elektromehaničko jednofazno brojilo i pametno brojilo [20]

4.15. Komunikacija u naprednoj mjernoj infrastrukturi

Tehnološki napredak u području pokrivenosti telekomunikacijskom mrežom, brzini prijenosa, privatnosti i sigurnosti omogućio je implementaciju AMI sustava (eng. *Advanced Metering Infrastructure*). AMI mreže omogućuju elektroprivredama prikupljanje podataka o mjerenjima,

podršku budućem razvoju alata i tehnologije, uključujući integraciju električnih vozila i distribuiranu proizvodnju. Bez prikupljanja AMI mjernih podataka, teško je utvrditi kada dolazi do potrošnje sa strane potrošača u vremenu. Pametna brojila i srodna brojila čine krajnje točke u AMI arhitekturi i pružaju dvije ključne uloge. Jedna od njih je pristup podacima s većom granulacijom korištenja intervala. Druga je trajna dvosmjerna komunikacijska veza za slanje poruka / uputa brojilu.

Dok pametna brojila nude znatan potencijal električnim poduzećima i potrošačima, elektroprivreda se suočava s izazovima za implementaciju. Prvo je potrebno uspostaviti i upravljati komunikacijskom mrežom koja je dovoljno fleksibilna da dosegne većinu brojila u servisnom području i da je dovoljno prilagodljiva da se promijeni kako se mijenjaju potrebe kupaca. Implementacija mora biti opravdana u smislu njihovih troškova i mora omogućiti povrat izdataka.

Komunikacije za naprednu mjernu infrastrukturu i upravljanje potražnjom trebaju uključivati:

- Arhitekturu koja ima otvoreni standard za omogućavanje interoperabilnosti među sustavima, fleksibilnost u komunikacijskom izboru, i omogućavanje budućih inovacija od strane proizvođača tehnologija.
- Dvosmjernu komunikaciju sa svakim brojilom kao i daljinsku konfiguraciju uređaja.
- Bežičnu kućnu mrežu za odgovor na potražnju (eng. *Demand Response*) i uređaje za kontrolu opterećenja.
- Naprednu uslugu za daljinsko uključivanje, isključivanje i ograničavanje usluga.
- Upravljanje podacima koje je odvojeno od mrežnog upravljanja.

Svrha AMI komunikacijskog sustava je pružanje komunikacijske mreže elektroprivredi koja omogućuje povezivanje između mrežnih uređaja kao što su električna brojila i krajnji sustavi. Opcije AMI komunikacijske mreže mogu biti satelit, mobilna mreža (2G, 3G ili 4G), WiMAX itd. Odabir tehnologije bi trebao biti napravljen na temelju gustoće rubnih uređaja, performansi mreže itd.

Zaštitni releji zahtijevaju prijenos električnih mjerenja, signala i naredbi između trafostanica u stvarnom vremenu za zaštitu sustava i imovine. Ova komunikacija čini osnovnu građu mrežne sposobnosti „samoizlječenja“. Strogi vremenski zahtjevi za prijenos podataka diktiraju upotrebu telekomunikacijskih uređaja i krugova. Elektroprivreda mora izgradi prednamijenjenu komunikacijsku infrastrukturu (eng. *Dedicated Communication Infrastructure*)

ili nabaviti napredne komunikacijske usluge. Obično se traži prednamjenjena komunikacija između trafostanica za razmjenu podataka između zaštitnih releja.

Automatika u pametnim trafostanicama na razini pojnih vodova, sabirnica ili trafostanica razmjenjuje informacije kroz različite razine Ethernet LAN-ova. Iako je automatika na ovoj razini ograničena na perimetar trafostanice potrebne su i vanjske komunikacije preko zaštitnih releja. Ovu vrstu komunikacije obično čini TCP/IP komunikacija koja nije u stvarnom vremenu. Razmjene podataka u stvarnom vremenu izvan trafostanice potrebne su za ugradnju automatike pojnih vodova i sučelja za distribuirane energetske resurse.

Komunikacija za upravljanje energijom i kontrolne centre uključuje različite aplikacije za bolju vidljivost i kontrolu mreže. SCADA komunikacije su se razvile iz serijskog RS232 porta u mrežne IP komunikacijske protokole. Protokol IEC 60870-5-104 omogućuje RTU da se direktno spoji preko Ethernet LAN porta pri brzini od 10-100 Mbps. [20.] Među kontrolni centri služe se WAN-ovima za razmjenu podataka između elektroprivrednih kontrolnih centara i regionalnih kontrolnih centara. Generatori koji nisu u vlasništvu elektroprivrede su podržani kroz IP mrežu korištenjem ICCP protokola. Potrebna im je propusnost između 2-10 Mbps.

U WAMPAC sustavima prema IEEE C37.118 standardu vremenski označavani podaci se prikupljaju svakih 5 – 20 ms. Propusnost je u rasponu od 10 – 100 kbps po jednoj fazorskoj mjernoj jedinici i nekoliko stotina kbps za sakupljače fazorskih podataka (eng. *phasor data collector*).

Praćenje stanja i upravljanje imovinom primarnih komponenti transformatorske stanice stvara podatke za buduće održavanje, analizu opterećenja mreže te upravljanje životnim ciklusom. Svi inteligentni elektronički uređaji i telekomunikacijski uređaji moraju podržavati daljinsko upravljanje. Mrežno nadgledanje imovine može se implementirati preko komunikacijske infrastrukture koristeći web usluge s poslužiteljima koji se nalaze u trafostanici ili na nekom drugom mjestu. Nadzor u trafostanici treba uključivati praćenje okoline radi zaštite imovine i objekata trafostanice (npr. nadzor temperature, otkrivanje požara).

Zaštitne, nadzorne i sigurnosne komunikacije usredotočene su na ublažavanje sigurnosnih rizika na "kritičnim infrastrukturama", uključujući one vezane uz električne komunalije. Postavljaju se određeni sigurnosni standardi koji se odnose ne samo na sigurnost informacija i komunikacija, već i na fizičku sigurnost električnih instalacija i procesnih mjesta diljem sustava isporuke električne energije. Implementacija tih standarda zahtijeva širokopojasnu IP povezivost

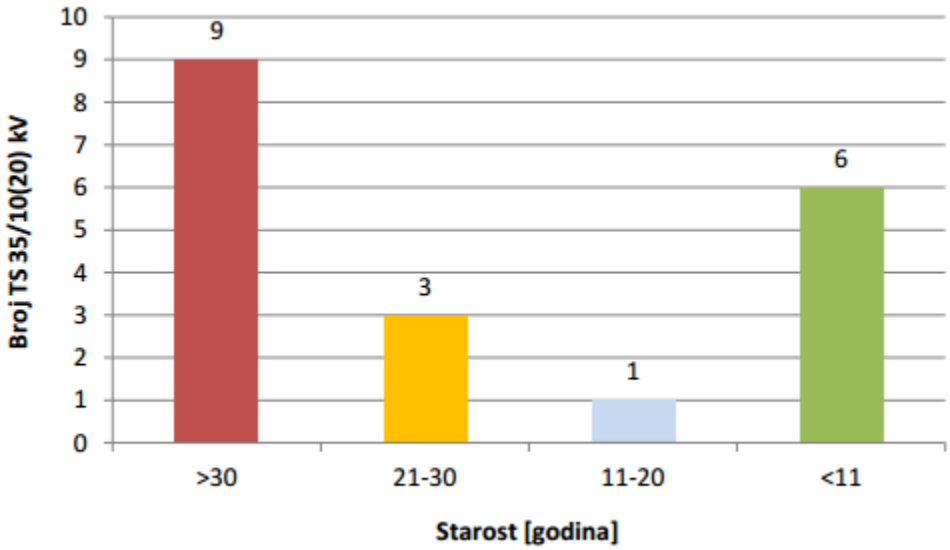
jer se ogromne količine informacija moraju prevesti u stvarnom vremenu od velikog broja raspršenih lokacija do centraliziranih sigurnosnih stanica za nadzor.

Video nadzor nad trafostanicama koje nisu poda nadzorom osoba i noćni nadzor prostorija može se obavljati putem inteligentnih video nadzornih IP kamera i automatskog pokretanja alarma na temelju detekcije pokreta.

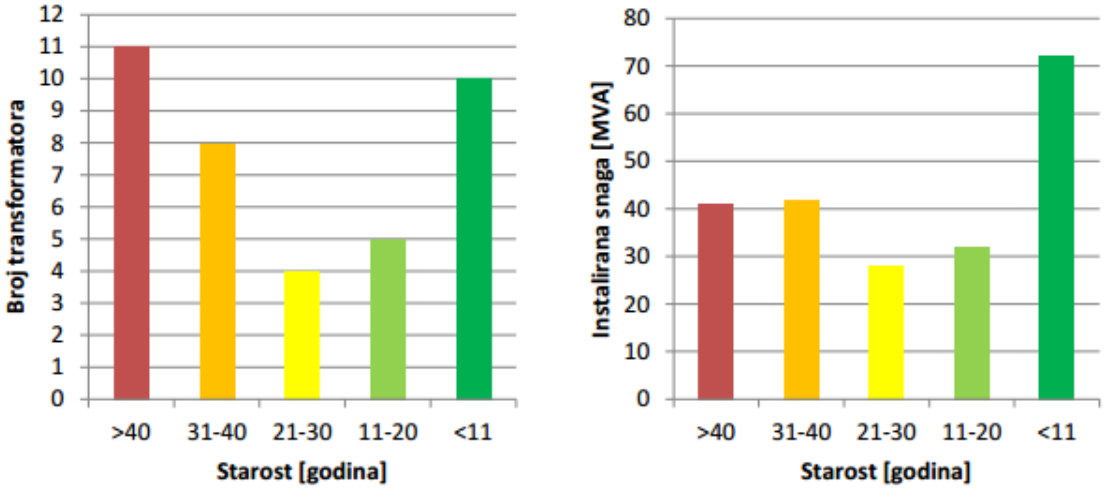
5. PLAN RAZVOJA SN MREŽE U NAREDNIH 20 GODINA – ELEKTRA VINKOVCI

Elektra Vinkovci je srednje veliko distribucijsko područje. Distribucija električne energije se odvija preko tri transformacije, 110/35 kV, 35/20 kV i 35/10 kV. Glavne točke napajanja distribucijske mreže su TS 110/35 kV Vinkovci, TS 110/35 kV Vukovar, TS 110/35 kV Nijemci i TS 110/35 kV Županja. Mreža se sastoji od 158 km nadzemnih vodova.

Na području Elektre Vinkovci u pogonu je devetnaest TS 35/10 kV. Dvije trafostanice nisu u vlasništvu HEP-a a to su TS 35/10 kV Đeletovci i jedna TS 35/20 kV. Sve su trafostanice uključene u sustav daljinskog vođenja te su skoro sve projektirane za nazivnu snagu 2×8 MVA. U većini je ugrađena simetrična transformacija 2×4 MVA ili 2×8 MVA. Na slikama ispod prikazana je starosna struktura 35/10(20) kV trafostanica i transformatora 35/10 kV za 2011. godinu. [21]



Sl. 5.1. Starosna struktura TS 35/10(20) kV [21]



Sl. 5.2. Starosna struktura transformatora 35/10 kV [21]

U prve dvije godine promatranog razdoblja u pogonu će biti elektrana na bioplin Landia (1 MW) u Tordincima i tri elektrane u Ivankovu; elektrana na bioplin Osatina (1 MW), elektrana na bioplin Bovis (1 MW) i kogeneracijska elektrana Staklenik (0,65 MW).

U planu je i izgradnja velikog broja distribuirane proizvodnje. Jedan od takvih projekata je elektrana na biomasu Uni Viridas (9,5 MW) u Babinoj Gredi koja je puštena u pogon u ožujku 2015. godine. Od 2004. do 2011. godine potrošnja električne energije nije se značajno mijenjala, udio potrošnje kućanstava blago je opao, a najveći porast potrošnje električne energije su ostvarila poduzetništva na srednjem naponu.

5.1. Metodologija i kriteriji planiranja

Temelj SN distribucijskog sustav su dva stupnja transformacije (110/35(30) kV i 35(30)/10 kV) te dvije mreže srednjeg napona (35(30) kV i 10 kV). Cilj je dobiti sustav s jednom razinom srednjeg napona (20 kV) i jednom izravnom transformacijom (110/20 kV). Za razvoj mreže srednjeg napona potrebno je postupno zamijeniti naponske razine 10 kV sa 20 kV i postupno uvoditi izravne transformacije 110/10(20) kV te ukinuti mrežu 35(30) kV. Ovaj proces započinje u nadzemnoj izvangradskoj mreži 10 kV, a završava se prijelazom gradske kabelske mreže na naponsku razinu 20 kV. Glavni kriterij za prijelaz na 20 kV je nedostatak prijenosnog kapaciteta mreže 10 kV. [21]

Također, glavni kriterij prijelaza na 110/10(20) kV i napuštanje mreže 35 kV je nedostatak prijenosnog kapaciteta postojeće mreže 35 kV i transformacije 35/10 kV, te izbjegavanje budućih troškova obnove 35 kV postrojenja i vodova. Prilikom planiranja razvoja distribucijske mreže potrebno je zadovoljiti sve tehničke i ekonomske uvjete. Pojačanje SN distribucijske mreže se sastoji od izgradnje novog voda, nove VN/SN ili SN/SN transformatorske stanice, povećavanja prijenosnog kapaciteta postojećih vodova ili transformatora, korištenja posebnih uređaja tj. daljinski upravljivih rastavnih naprava tzv. DURN-ova, linijskih regulatora napona itd.

Najpovoljniji plan razvoja se temelji na sljedećih pet planova [21];

1. potrebno je ostvariti nužna minimalna ulaganja kako korisnici električne energije ne bi ostali bez iste u redovnom pogonu tzv. sigurnost opskrbe (predstavlja realan problem zbog stalnog porasta potrošnje električne energije odnosno nastaje kao posljedica povećanja gospodarskih aktivnosti, povećanja broja stanovnika i standarda življenja itd.)
2. raspoloživosti distribucijske mreže prema (N-1) kriteriju, uz uključen kriterij sigurnosti opskrbe. (N-1) kriterij je kriterij tehničke sigurnosti koji se koristi pri vođenju pogona i planiranju razvoja i izgradnje distribucijske mreže. Odnosi se na neraspoloživost jednog elementa sustava (vod, transformator..). Zadovoljen je ako je pri ispadu jednog elementa sustava moguće spriječiti sljedeće učinke: trajno prekoračenje pogonskih veličina u distribucijskoj mreži uz granične vrijednosti koje se odnose na izvanredno pogonsko stanje, daljnji prekid isporuke električne energije izvan sektora u kvaru u prostorno zatvorenoj distribucijskoj mreži. [23]
3. raspoloživosti distribucijske mreže prema (N-1) kriteriju s obuhvaćenim doprinosom priključenih elektrana, uz uključen kriterij sigurnosti opskrbe.
4. pouzdanost napajanja korisnika mreže sukladne definiranim standardima u pogledu pokazatelja SAIDI i SAIFI, uz uključen kriterij sigurnosti opskrbe; SAIDI predstavlja prosječno trajanje dugotrajnih prekida po kupcu na razini sustava, dok SAIFI predstavlja prosječan broj dugotrajnih prekida po kupcu na razini sustava

5. ekonomska opravdanost ulaganja u distribucijsku mrežu, uz uključen kriterij sigurnosti opskrbe.

SAIDI se računa prema izrazu;

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{K} N_i \cdot t_i}{N_T} \tag{5-1}$$

gdje je:

K – ukupan broj dugotrajnih prekida,

N_i – broj kupaca pogođenih i-tim prekidom,

N_T – ukupan broj kupaca na razini sustava,

t_i – trajanje i-tog prekida u minutama.

SAIFI se računa na sljedeći način;

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{K} N_i}{N_T} \tag{5-2}$$

gdje je:

K – ukupan broj dugotrajnih prekida,

N_i – broj kupaca pogođenih i-tim prekidom,

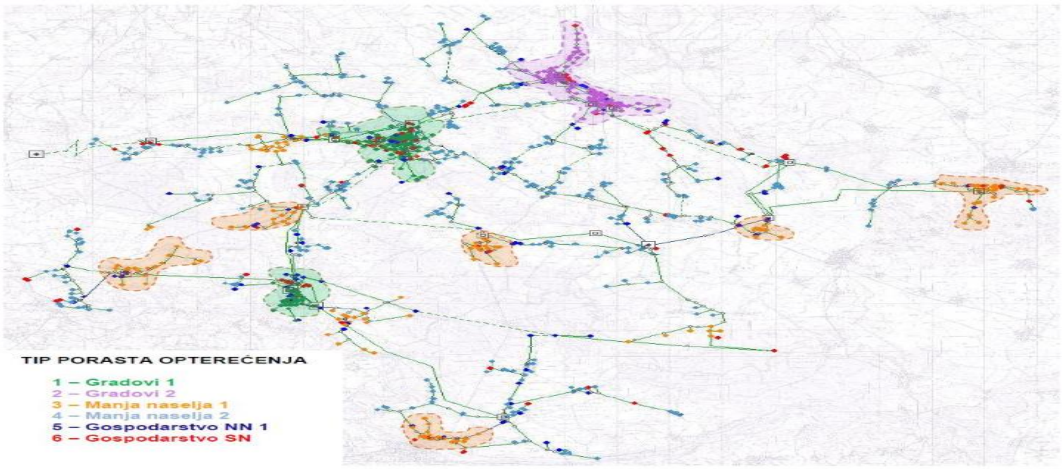
N_T – ukupan broj kupaca na razini sustava.

5.2. Predviđanje opterećenja

Prilikom modeliranja scenarija porasta opterećenja tijekom sljedećih 20 godina mala područja, odnosno transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV se dijele u skupine (tipove porasta opterećenja) ovisno o prevladavajućoj vrsti potrošnje električne energije priključenih kupaca, geografskoj

lokaciji i očekivanoj dinamici porasta opterećenja. Tipovi porasta opterećenja mogu se modelirati na sljedeći način [22];

- Kupci tipa kućanstva i usluga u gradovima,
- Kupci tipa kućanstva i usluga u manjim naseljima,
- Kupci tipa kućanstva i usluga u većim naseljima,
- Postojeća industrija na niskom naponu,
- Postojeća industrija na srednjem naponu,
- Gospodarske zone.



Sl. 5.3. Primjer raspodjele opterećenja transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV Elektre Vinkovci po tipovima porasta opterećenja [22]

Prilikom modeliranja porasta opterećenja u studiji je primijenjeno nekoliko načela. [21]

Prvo, na razini distribucije porast opterećenja s vremenom opada. Kako je i prije navedeno TS 10/0,4 kV su podijeljene u šest skupina, slika 5.3.

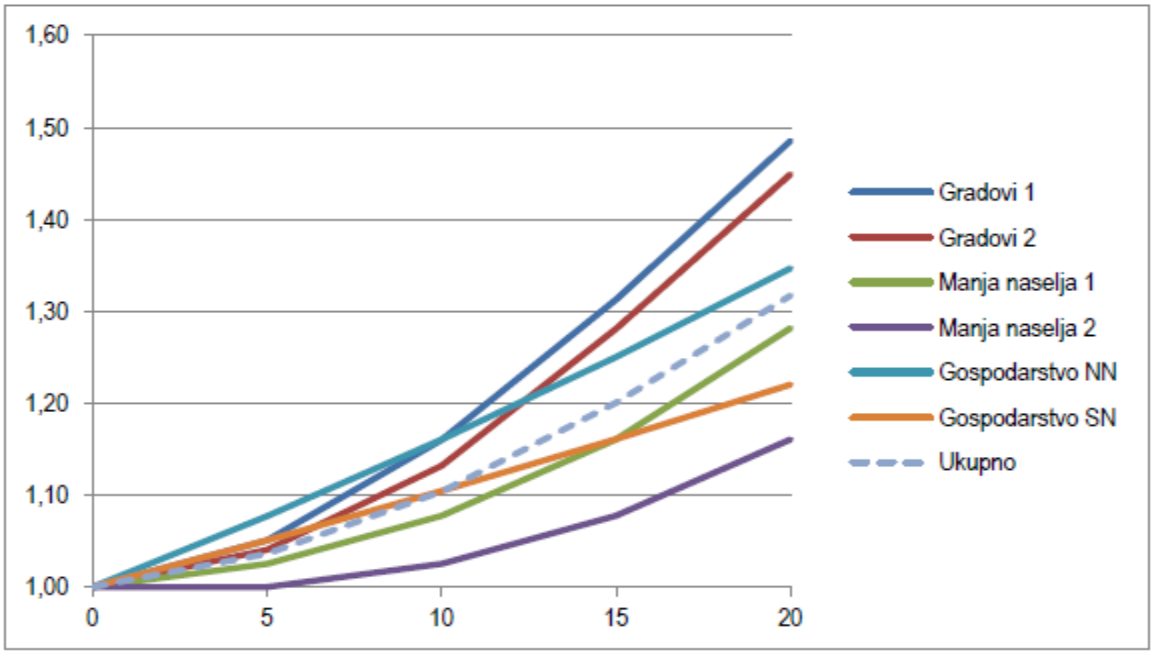
U početku je porast opterećenja veći u većim naseljima, a manji u manjim naseljima. Kasnije, dolazi do širenja područja intenzivnijeg gospodarskog razvoja izvan većih naselja i stagnacija u većim naseljima. Prema modelu najveći porast opterećenja se očekuje na području Vinkovaca i Županje te se za postojeću industriju ne očekuje značajan porast potrošnje električne energije. Tablica 5.1. daje godišnje stope porasta opterećenja po tipovima.

Tablica 5.1. Godišnje stope porasta opterećenja po tipovima [21]

Tip	Naziv	Godišnja stopa porasta opterećenja [%]			
		1-5 godina	6-10 godina	11-15 godina	16-20 godina
1	Gradovi 1	1,0	2,0	2,5	2,5
2	Gradovi 2	0,8	1,7	2,5	2,5
3	Manja naselja 1	0,5	1,0	1,5	2,0
4	Manja naselja 2	0,0	0,5	1,0	1,5
5	Gospodarstvo NN	1,5	1,5	1,5	1,5
6	Gospodarstvo SN	1,0	1,0	1,0	1,0
	UKUPNO				

Tablica 5.2. Simulacija porasta opterećenja po područjima TS 35/10 kV [MVA] (bez distribuirane proizvodnje) [21]

Transformatorska stanica	Godina razdoblja planiranja				
	0	5	10	15	20
TS 110/35 kV VINKOVCI	**37,2**	**38,7**	**41,6**	**45,4**	**50**
TS 35/10 kV VINKOVCI 1	11,8	12,2	12,9	14,1	15,4
TS 35/10 kV VINKOVCI 2	9,9	10,3	11,3	12,6	14,0
TS 35/10 kV VINKOVCI 3	10,5	11,1	11,9	13,1	14,3
TS 35/10 kV VINKOVCI 5	4,8	4,9	5,2	5,6	6,2
TS 35/10 kV MIKANOVCI	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6

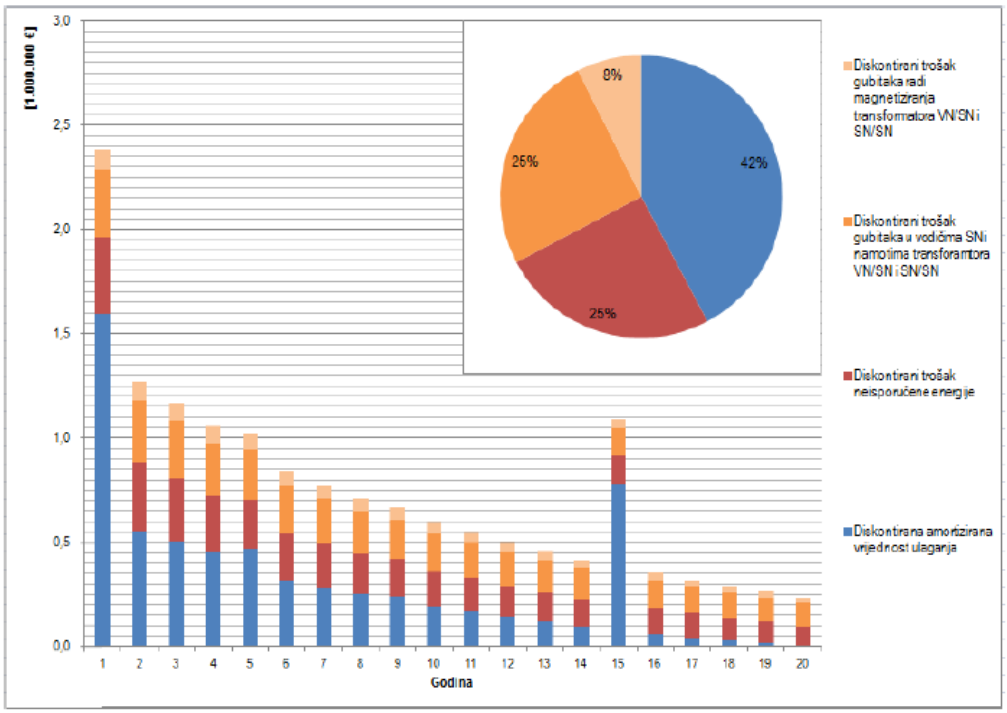


Sl. 5.4. Indeks porasta vršnog opterećenja po tipovima tijekom 20 godina [21]

(N-1) kriterij je zadovoljen većinu vremena ako se gleda na omjer opterećenja i instalirane snage transformacije 110/35 kV i 35/10 kV. U slučaju ispada 35 kV vod Županja 1 – Babina Greda i 35 kV vod Županja 2 – Drenovci kriterij nije zadovoljen zbog radijalnog napajanja TS 35/10 kV. U 10 kV mreži (N-1) kriterij nije zadovoljen u slučaju 10 kV Bošnjaci iz TS 35/10 kV Županja 2. Sa stajališta kriterija pouzdanosti napajanja svi korisnici imaju zadovoljen kriterij broja prekida, dok samo jedan dio korisnika nema zadovoljen kriterij trajanja prekida napajanja (21 % korisnika na NN strani mreže i 20 % korisnika priključenih na srednji napon).

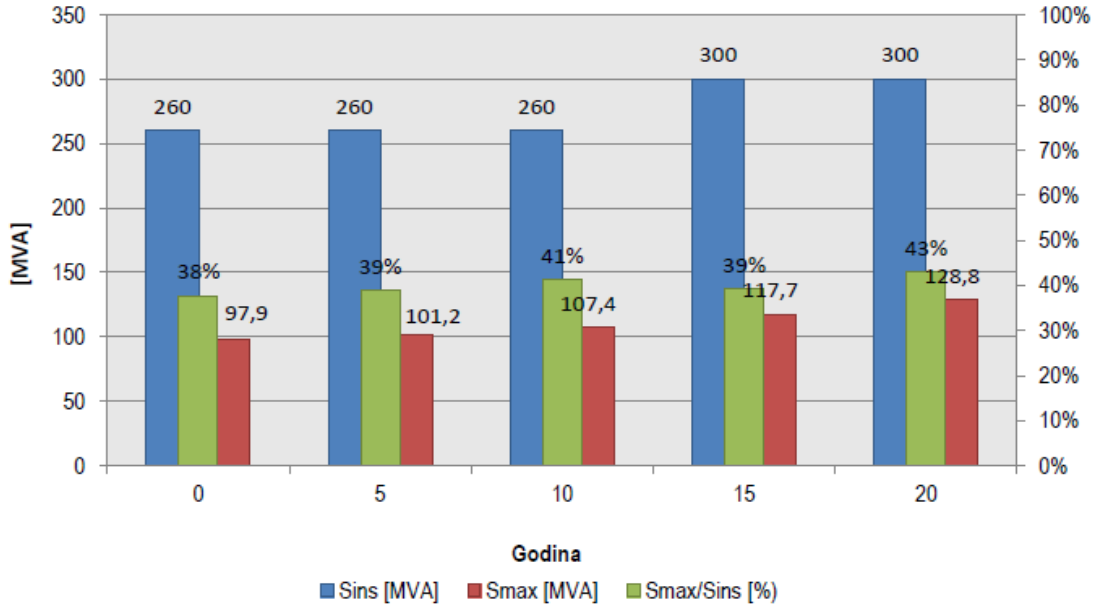
5.3. Troškovi ulaganja i pregled tehničkih značajki

Troškovi ulaganja čine 42% ukupnih troškova, na neisporučenu energiju otpada 25 % ukupnih troškova dok 33% otpada na gubitke. Četvrtina ukupnih ulaganja u mrežu planirana je za prvu godinu zbog obnove postojeće mreže i osiguranja (N-1) kriterija. U prvih pet godina ulaže se u pouzdanost napajanja korisnika. Skok na grafu u petnaestoj godini predstavlja izgradnja TS 110/10(20) kV Vinkovci 2.

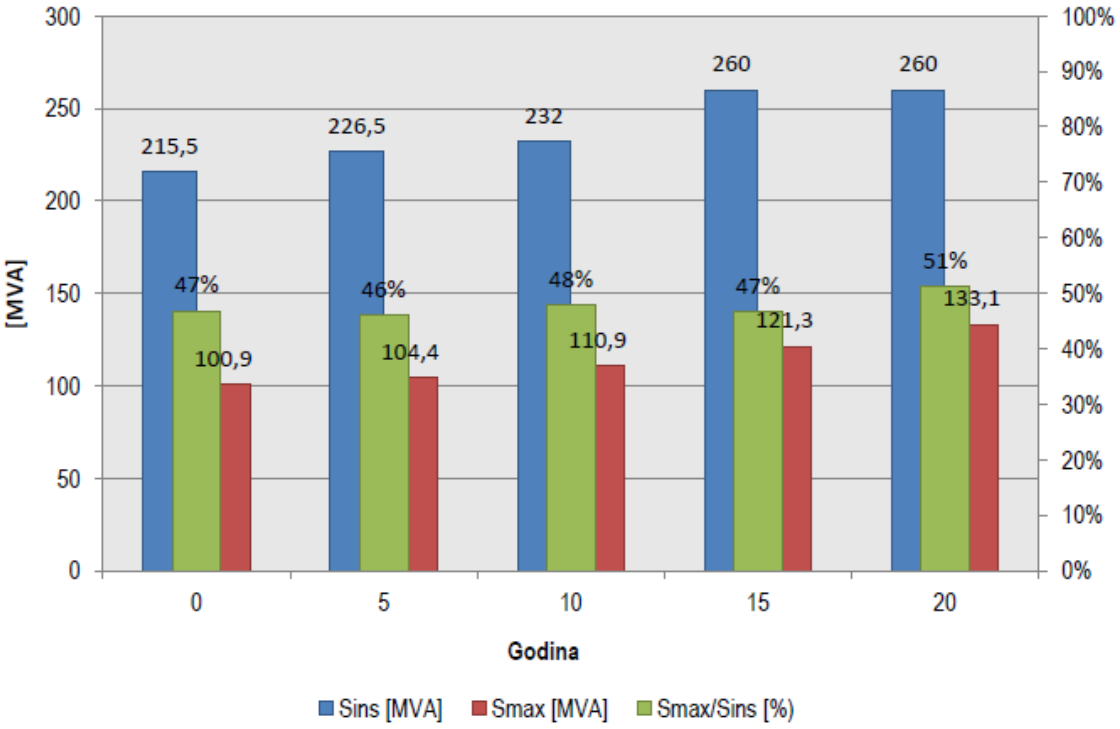


Sl. 5.5. Pregled troškova ulaganja i pogona SN mreže [21]

Slike 5.6. i 5.7. prikazuju iskorištenost transformacije 110/35 i 110/10(20) kV, 110/10(20) kV i 35/10(20)kV kao omjer vršnog opterećenja i instalirane snage. Iz dijagrama je vidljivo da se relativno opterećenje transformacije 110/SN mijenja od 38% pa do 43%, dok se relativno opterećenje transformacije 110/10(20) kV i 35/10(20) kV mijenja u rasponu od 46% do 51%. [21]



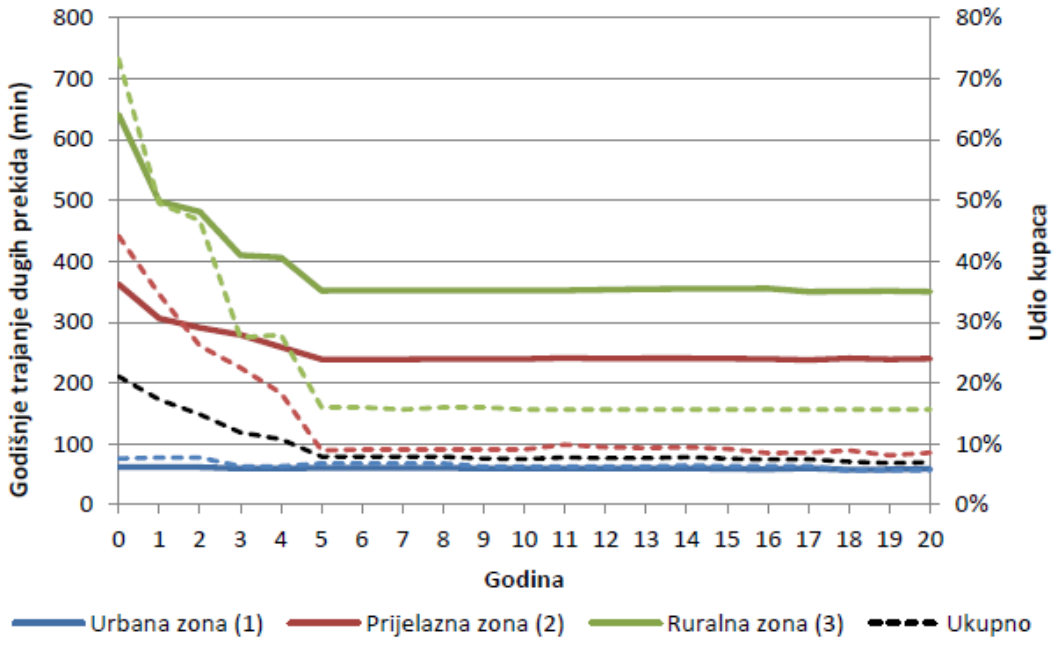
Sl. 5.6. Iskorištenost transformacije 110/35 kV i 110/10(20) kV [21]



Sl. 5.7. Iskorištenost transformacije 110/10(20) kV i 35/10(20) kV [21]

Ukupno gledajući očekuje se pad gubitaka i neregistrirane potrošnje električne energije s 10,4 % na 7,1 %. Pad gubitaka se odnosi na transformaciju SN/NN i mrežu niskog napona i neregistriranu potrošnju, te nema značajnog porasta gubitaka u mreži srednjeg napona. Trebalo bi doći do porasta udjela gubitaka na srednjem naponu u ukupnim gubicima s 15 % na 22 %. [21]

Kroz planirano vremensko razdoblje cilj je u sustav ugraditi 49 daljinski upravljivih rastavnih naprava. Naprave mogu biti daljinski upravljivi rastavljači ili daljinski upravljivi linijski prekidači. Iz slike 5.8. je vidljivo da je postupnom ugradnjom tih naprava postignuta zadovoljavajuća razina prosječnog očekivanog trajanja prekida napajanja korisnika mreže.



Sl. 5.8. Prosječno godišnje trajanje dugih prekida (puna linija) i udio kupaca na niskom naponu koji nemaju zadovoljen minimalni (garantirani) standard (isprekidana linija) [21]

U SN distribucijskoj mreži Elektre Vinkovci ugrađeno pet daljinski upravljivih rastavnih naprava, od kojih dvije nisu u funkciji. Za distribucijske mreže značajno je područje automatizacije sklopnih operacija u dubini mreže koje pomaže kod poboljšanja kvalitete napajanja na način:

- preciznije lokaliziranje dijela distribucijske mreže u kvaru,

- isključenje dijela distribucijske mreže u kvaru i omogućavanje normalnog pogona ostalim korisnicima napajanim iz istog SN izvoda,
- isključenje dijela mreže i prebacivanje korisnika na alternativni, ispravni SN izvod.

Trenutno nije moguće analizirati trajanje zastoja u mreži bez daljinski upravljivih sklopnih naprava, u odnosu na varijante sa dvije ili tri sklopne naprave u dubini izvoda, zbog tehničkih poteškoća ali bi se u budućnosti mogao odraditi zadatak na ovu temu.

ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati što sa sobom donosi pametna mreža, koje su tehnologije i komponente koje se koriste i od kojih se sastoji mreža, te koje su prednosti i razlozi za pametnu mrežu. Pametna je mreža neophodna kako bi se omogućila održiva budućnost. Svi sudionici moraju zajedničkim naporima raditi kako bi se takav projekt i ostvario. Pametna mreža je nadogradnja na postojeću elektroenergetsku mrežu i osigurava postizanje budućih sigurnosnih standarda, neprekidan i siguran dotok električne energije i efikasno upravljanje elektroenergetskim sustavom.

Korisnici će imati bolji pregled svojih računa, te će moći 24 sata dnevno motriti potrošnju električne energije u kućanstvu. Dajući korisnicima informacije i cijene električne energije u stvarnom vremenu te korištenjem distribuiranih energetskih resursa, pametna će mreža značajno smanjiti ukupnu potrošnju i potrošnju električne energije pri vršnom opterećenju, dovesti će do povećanja kapaciteta postojećih prijenosnih vodova i smanjenja gubitaka na prijenosnim i distributivnim vodovima.

Ukoliko dođe do kvara, elektroprivreda će na jednostavan očitati lokaciju kvara. Time neće više biti potrebe za slanjem djelatnika na teren kako bi ručno provjerili gdje je kvar. Sa sve većim brojem električnih vozila na tržištu, korisnici će moći nepotrošenu energiju iz vozila vraćati u mrežu i time ostvariti ekonomsku korist ili neke pogodnosti od strane elektroprivrede.

Industrija mora osigurati napredovanje cyber sigurnosti. Sigurnost zasnovana na standardima mora biti osmišljena i implementirana u svakom aspektu pametne mreže, pri tome podržavajući vladina i regulatorna sigurnosna načela. Izazov je osigurati da mreža ostane sigurna ali opet elastična, koja je sposobna pružiti pouzdanu i pristupačnu energiju čak i prilikom prelaska u novu vrstu infrastrukture.

LITERATURA

[1] Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, http://www.oe.energy.gov, pristup ostvaren svibanj 2017.

[2] M. Erol-Kantarci, H.T. Mouftah, "Wireless multimedia sensor and actor networks for the next generation power grid" Ad HocNetworks, 2011.

[3] Masovna implementacija naprednih mreža za nekoliko godina postaje obaveza u EU, http://www.energetika-net.com/specijali/intervju-mjeseca/masovna-implementacija-naprednih-mreza-za nekolikogodina-postaje-obaveza-u-eu-16173, pristup ostvaren svibanj 2017.

[4] Smart grid, https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid, pristup ostvaren svibanj 2017.

[5] Smart Grids – napredne elektroenergetske mreže, http://heraznanje.com/hrvatska/, pristup ostvaren svibanj 2017.

[6.] A. Carvallo, J. Cooper, The Advanced Smart Grid: Edge Power Driving Sustainability, Second Edition

[7] Battaglini, A., J. Lilliestam, C. Bals, and A. Haas. The SuperSmart Grid.European Climate Forum. (2008)

[8] Solarna fotonaponska energija, https://hr.wikipedia.org/wiki/Solarna_fotonaponska_energija, pristup ostvaren lipanj 2017.

[9] Wind farm, https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm, pristup ostvaren lipanj 2017.

[10] Vjetroelektrana, https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana, pristup ostvaren lipanj 2017.

[11] Biomasa, https://hr.wikipedia.org/wiki/Biomasa, pristup ostvaren lipanj 2017.

[12] Geotermalna energija, http://www.izvorienergije.com/geotermalna_energija.html, pristup ostvaren lipanj 2017.

[13] Europe's first wave energy farm to be built in our seas, http://www.independent.ie/irish-news/europes-first-wave-energy-farm-to-be-built-in-our-seas-30077336.html, pristup ostvaren lipanj 2017.

[14] Elektrane na plimu i oseku, https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_plimu_i_oseku, pristup ostvaren svibanj 2017.

[15] Spremanje energije, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/spremanje_energije_dio.pdf, pristup ostvaren lipanj 2017.

[16] Zamašnjaci, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/05_Zamasnjaci.pdf, pristup ostvaren lipanj 2017.

[17] Skladištenje energije komprimiranim zrakom, https://hr.wikipedia.org/wiki/Skladi%C5%A1tenje_energije_komprimiranim_zrakom,pristup ostvaren lipanj 2017.

[18] Ultrakondenzatori, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/06_Ultrakondenzatori.pdf, pristup ostvaren lipanj 2017.

[19] Raspodijeljeni sustavi za obradu sinkroniziranih mjerenja fazora, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Ivan_Sturlic_kvalifikacijski.pdf, pristup ostvaren lipanj 2017.

[20] Pametno brojilo, *https://www.google.hr/search?q=pametno+brojilo&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjQg86A_P7VAhULQBQKHUniCnIQ_AUICigB&biw=1680&bih=920#imgrc=y_ox0iP_xsIeFM*, pristup ostvaren lipanj 2017.

[20] IEC 60870-5, https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_60870-5, pristup ostvaren lipanj 2017.

[21] Razvoj SN mreže za razdoblje narednih 20 godina za distribucijsko područje Elektra Vinkovci, HEP–Operator distribucijskog sustava d.o.o, travanj. 2013.

[22.] Planovi razvoja, http://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Planovi_razvoja/10g_2017-2026_2016_12_19.pdf, pristup ostvaren srpanj 2017.

[23.] Metodologija i kriteriji planiranja razvoja distribucijske mreže http://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Planovi_razvoja/Kriteriji_metodologija_planiranja.pdf, pristup ostvaren srpanj 2017.

SAŽETAK

U radu je opisana pametna mreža. Dana je usporedba današnjeg elektroenergetskog sustava i pametne mreže. Prikazane su koristi koje pametna mreža donosi sa sobom. Opisane su tehnologije i komponente napredne mreže, od centralizirane i distribuirane proizvodnje, skladištenja energije pa sve do električnih vozila, pametnih trafostanica i komunikacijske infrastrukture. Prikazan je plan razvoja SN distribucijske mreže za idućih dvadeset godina.

KLJUČNE RIJEČI

Pametna mreža, pametna vozila, skladištenje energije, pametne trafostanice, sustavi upravljanja energijom, sustavi upravljanja distribucijom

SUMMARY

This Master's thesis describes smart grid. There is a comparison of today's power system and a smart grid. The benefits that smart grid brings with it are shown. Advanced network technologies and components are described, from centralized and distributed production, energy storage to electric vehicles, smart transformers and communication infrastructure. A medium voltage distribution network development plan for the next twenty years is presented.

KEYWORDS

Smart grid, smart vehicles, energy storage, smart substations, energy management systems, distribution management systems

ŽIVOTOPIS

Matej Peričić rođen je 18. rujna 1991. u Vinkovcima. Pohađao je osnovnu školu Ivana Gorana Kovačića od 1998. do 2006. Nakon završene osnovne škole upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima, smjer elektrotehničar, koju je pohađao od 2006. do 2010. godine. Nakon završene srednje škole, 2010. upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku – stručni studij, smjer elektroenergetika.

Stručni studij završava u rujnu 2013. godine sa završnim radom „Projektiranje kompenzacije malog industrijskog postrojenja“ pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Predraga Marića. Iste godine nastavlja akademsko obrazovanje i upisuje razlikovnu godinu kojom stječe pravo upisa na diplomski studij. Godine 2014. upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika.

Potpis: