

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SAMI ELO

Jakeluverkon kaukokäyttöjärjestelmän liikennöinti

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2024

Tekijä(t) Elo, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Maaliskuu, 2024
	Sivumäärä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Jakeluverkon kaukokäyttöjärjestelmän liikennöinti		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri		
Tiivistelmä Työn tavoitteena oli selvittää ja koostaa Pori Energian jakeluverkon kaukokäyttöjärjestelmän komponentit, tiedonsiirtomediat ja protokollat helppolukuseksi ohjeeksi ja selvittää mahdollisia saneerauskohteita kaukokäyttöjärjestelmästä. Kaukokäyttöjärjestelmän kartoittaminen ja komponenttien selvittäminen suoritettiin tarkastamalla sähköasemat ja kaukokäyttöerottimet jakeluverkon alueelta, ja tiedonsiirtoverkon selvitys suoritettiin kaapelointikarttoja ja kytkentäkaaviota lukien. Työn lopputuloksena oli selkeälukuinen ohje ja luettelointi tiedonsiirtomedioista ja tiedonsiirtoprotokollista kaukokäyttöjärjestelmässä. Työn aikana tehtiin johtopäätöksiä saneeraus- ja parannuskohteista kaukokäyttöjärjestelmän tiedonsiirrossa.		
<u>Asiasanat</u> sähkön jakelu, sähköverkko, sähkön siirto, kaukokäyttö		

Author(s) Elo, Sami	Type of Publication Bachelor's thesis	Date March, 2024
	Number of pages	Language of publication: Finnish
Title of publication Data transmission of Remote control system in a distribution grid		
Degree program Degree Programme in Electricial and Automation Engineering		
Abstract The aim of thesis was to find out and collect the components, data transfer medias and protocols in a easy-to-read guide and figure out possible renovation and improving points of the remote control system at Pori Energia. Figuring the remote control system and its components was conducted by visiting and checking substations and remote-control disconnectors. Mapping of the remote control network was done by using cable-routing maps and wiring diagrams. The result of this thesis is an easy manual and listing of data transfer medias and protocols used in remote control. During the thesis, renovation and improving points in the remote control system were found, and documented.		
<u>Key words</u> power grid, electricity distribution, power system, remote control		

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Pori Energia Sähköverkot Oy:lle. Työn valvojana on toiminut Kari Laine, ja haluan kiittää häntä kaikesta tuesta, neuvoista ja asiantuntemuksesta työn aikana.

Työn ohjaajana toimi Tero Isoviita, ja tahtoisin kiittää häntä suuresti. Hän toimi suurena vaikuttajana työn valmistumiseen ja sain häneltä arvokkaita neuvoja työn edetessä.

Asiantuntijana ja neuvonantajana toimi Mika Suojanen, ja häntä on kiittäminen tuesta ja ammattitaidosta, asiantuntevasta avusta.

Kiitokset kuuluvat myös kaikille Pori Energia Sähköverkot Oy:n työntekijöille, jotka ovat avustaneet työn etenemisessä.

Kiitän kärsivällisyydestä työn aikataulun pidentymiseen alkuperäisestä.

Porissa 23.03.2024

Sami Elo

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA	7
3 SÄHKÖN JAKELUVERKKO	8
4 KAUKOKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ.....	10
4.1 Tiedonsiirtoprotokollat.....	13
4.1.1 IEC 60870-5-101	13
4.1.2 IEC 60780-5-104	14
4.1.3 IEC 61850	14
4.1.4 Modbus RTU	15
4.2 Tiedonsiirtomediat	16
4.2.1 Valokuitu	17
4.2.2 Radio ja GSM	19
4.2.3 Kupari/parikaapeli	20
5 KEHITYSIDEAT	22
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	23
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli koota Pori Energia Sähköverkot Oy:n kaukokäyttöjärjestelmän komponentit, tiedonsiirtomediat ja -protokollat yksiin kansiin, sekä käsitellä mahdollisia saneeraus- ja kehityskohteita. Edellinen kooste kaukokäyttöjärjestelmästä on vuodelta 2010, jonka jälkeen kaukokäyttöjärjestelmä on laajentunut ja kehittynyt.

Viimeisen vuosikymmenen aikana tietoverkkojen tarve ja käyttöaste energiayhtiöissä on ollut kasvujohteinen. Tiedonsiirtoverkoista on rakennettu luotettavampia, häiriötömmämpiä ja nopeampia. Sähkölaitosautomaation komponentit ovat kehittyneet ja välittävät enemmän tietoa järjestelmästä. Kaukokäyttöjärjestelmissä on siirrytty enemmässä määrin valokuituun, parikaapelin ja radioyhteyksien määrän vähentyessä. Valokuituverkon rakentaminen on mahdollistanut siirtymisen standardoituun TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)-liikenteeseen, joka mahdollistaa oman suljetun, yhtenäisen IP-verkon luomisen ja käytön.

Kaukokäyttöjärjestelmä on kriittinen osa sähkönjakeluverkkoa, sillä valvottava verkko on suuri ja valvonta on keskitettyä. Nopealla tiedonsiirrolla mahdollistetaan nopea reagointi vikatilanteisiin. Kaukokäyttöjärjestelmä tuottaa ja siirtää tilatietoja verkosta, ja mahdollistaa etäohjaamisen osaan kenttälaitteista. Tietoliikenteen on oltava nopeaa ja mahdollisimman hyvin turvattua, jotta järjestelmän tilatiedot ja ohjaukset saataisiin lähes reaaliaikaiseksi.

Työssä keskitytään käyttökeskukseen ja ala-asemiin sekä näiden väliseen kommunikointiin ja niissä käytettyihin komponentteihin, komponenttien toimintaan sekä liikennöintiin protokollin ja liikennöintimedioihin.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Pori Energia Sähköverkot Oy (PESV), joka on osa Pori Energia-konsernia. Pori Energia konserniin kuuluu Pori Energia Oy ja Pori Energia Sähköverkot Oy. Lisäksi Pori Energia Oy on perustaja-osakas sähkönnmyyntiyritys Oomi Oy:ssä ja osakas Suomen Teollisuuden Energiapalvelut – STEP Oy:ssä.

Pori Energia Sähköverkot Oy työllistää n. 26 henkilöä. Pori Energia Sähköverkot Oy vastaa yli 50 000 verkon asiakkaan sähkönsiirrosta ja jakelusta Porin alueella. PESV:in palvelut kattaa sähköverkkoon liittymiset, sähkönsiirron asiakkaille, verkon ylläpidon ja kehittämisen sekä verkon käyttötoimenpiteet. Vuonna 2021 Pori Energia Sähköverkot siirsi 979 GWh sähköenergiaa verkossaan. (Pori Energia, 2021)

Pori Energia konsernina on perustettu 1898, ja on kokonaan Porin kaupungin omistama energiayhtiö. Pori Energiasta sähkömarkkinalain mukaisesti eriytettiin sähkönjakelun liiketoiminta omaksi yritykseksi 2006, täten syntyi Pori Energia Sähköverkot Oy (Yritys- ja yhteisötietojärjestelmä, 2023). Pori Energia työllisti vuonna 2021 162 henkilöä ja tuotti 27,9 miljoonan euron liikevoiton 124,7 miljoonan euron liikevaihdolla. Puolestaan sponsorointien ja hyväntekeväisyyden kautta Pori Energia lahjoitti 83 tuhatta euroa.

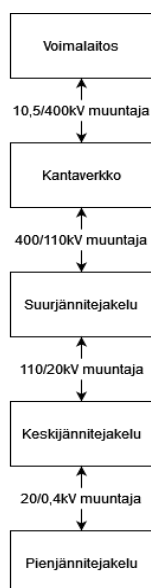
Konserni investoi kokonaisuudessaan 2019-2021 20,2 miljoonaa euroa, joista Sähköverkkojen osuus 10,6 miljoonaa. Sähköverkkojen suurin yksittäinen investointikohde oli Isosannan sähköaseman saneeraus, joka valmistui 2022 keväällä.

3 SÄHKÖN JAKELUVERKKO

Kantaverkkoon luetaan kuuluvaksi 400 ja 220kV:n jännitteiset johdot, muuntajat ja se osa 110kV:n verkosta, joka muodostaa silmukkaverkon tai pystyy toimimaan 420kV kantaverkkojohdon korvaajana yksittäisen 420kV johtolähdön lauetessa. Suomen kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, joka myös vastaa sen sähkönsiirrosta. Fingrid omistaa 400 ja 220kV:n verkot kokonaan, ja noin puolet 110kV:n verkosta. Loppuosan 110kV:n verkosta omistavat voimayhtiöiden omistamat, kunnalliset ja yksityiset alueverkkoyhtiöt sekä yksittäiset suuret sähkökuluttajat. (Elovaara & Haarla, 2019).

Sähkönsiirto alue- ja jakeluverkoissa on Suomessa noin 90 verkonhaltijan vastuulla. Jakeluverkkoyhtiöiden verkkolupaan kuuluu maantieteellinen vastuualue, jossa jakeluverkkoluvan haltijalla on monopoli ja siihen liittyvä velvoite liittämisen-, siirto-, ja sähköverkon kehittämiseen. Jakeluverkkoyhtiöllä voi olla keski- ja pienjännite (20kV ja 400V) jakeluverkkojen lisäksi myös 110kV suurjänniteverkkoa. Alueverkkoyhtiöt puolestaan suorittavat pääsääntöisesti 110kV:n jännitetasolla sähkönsiirtoa omistajiensa muuntoasemille eivätkä omista varsinaista jakelujännitteen (20kV) verkkoa. Alueverkkoyhtiön vastuualue ei rajaudu maantieteellisesti, vaan usein kattaa suuremman alueen maantieteellisesti kuin yksittäisen jakeluverkkoyhtiön toiminta-alue. (Elovaara & Haarla, 2019)

Sähkönsiirtoverkko voimalaitokselta kuluttajalle on kuvattu periaatekuvassa 1.



Kuva 1. Sähköverkon periaatekuva

Pori Energian sähköjakeluverkkoon sisältyy suurjännite-, keskijännite- ja pienjännitejakeluverkkoa. Jakeluverkkoalueelle kuuluu 16 sähköasemaa, joista kaksi on yksityisomisteisia 110kV sähköasemaa. Jokainen Pori Energian omistama sähköasema on kaukokäytettävä, ja yksityisomisteisista sähköasemista siirretään Pori Energian käyttökeskukseen tilatietoja vähintään 110kV laitteiden osalta.

Muuntamoita 20kV keskijänniteverkossa puolestaan 1320 kappaletta, joista osa yksityisomisteisia. Muuntamoiden lisäksi verkossa on noin 340 kappaletta 20kV ilmajohtoerottimia. Erottimia on koostettu myös erotinasema-tyyppisiksi rakenteiksi joissa on useampi erotin. Kaukokäytettäviä kohteita näistä on yhteensä 77 kappaletta, sisältäen muuntamot sekä erotinasemat.

Pienjänniteverkkoa (0,4kV) jakelualueella on kokonaisuudessaan 2766 kilometriä, joista maakaapelia 2335 kilometriä ja ilmajohtoa 431 kilometriä. Pienjänniteverkkoon ei ole kaukokäytettäviä kohteita liitetty, eikä pienjänniteverkossa ole älyverkko-anturointia tai -mittauksia. Etäluettavilta mittareilta on mahdollisuus ottaa reaaliaikainen hälytystieto sähkön puuttuessa, mutta käytössä on vain nollavika-havainnoista tuleva hälytys. Tämä mahdollistaa vaarallisimman sähkön laatuhäiriön nopean paikantamisen ja korjaamisen verkosta, parantaen verkon sekä asiakkaiden turvallisuutta. (Pori Energia verkonhallintajärjestelmä, 2024)

4 KAUKOKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ

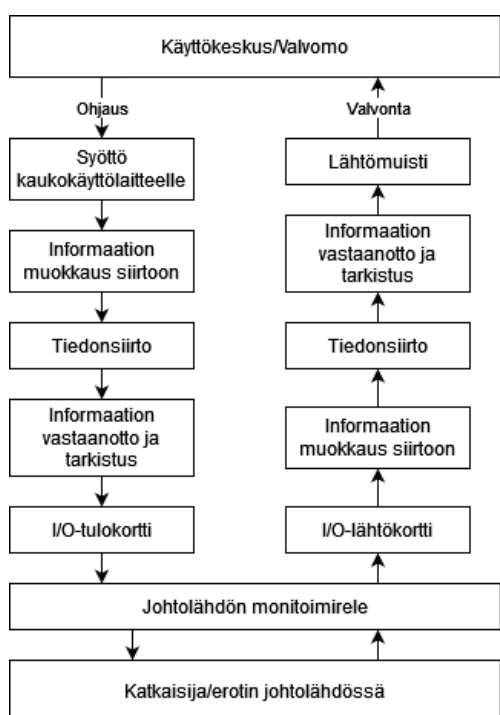
Verkon käyttö ja valvonta perustuu suureksi osaksi kaukomittauksiin, kauko-ohjauksiin ja automatisoituihin paikallisiin toimenpiteisiin, tyypillisesti paikallisautomaation toiminnot liittyvät relesuojaukseen. Relesuojauksella tarkoitetaan sähköasemilla ja kaukokäytettävillä erotinasemilla releillä toteutettua ja automatisoitua sähkön mittaus- ja katkaisutoimenpiteitä. Suomessa sähköasemista on jo pitkään tehty miehittämättömiä, kaukovalvottuja ja kauko-ohjattuja järjestelmiä. Sähkön jakeluverkot ulottuvat laajalle alueelle, jolloin keskitetyllä kauko-ohjauksella ja kaukovalvonnalla voidaan parantaa verkon ja sen käytön teknistä laatutasoa esimerkiksi häiriöiden keston lyhentymisellä.

Verkon käytön tehtävänä on valvonta- ja ohjaustoimenpiteillä vastata energian siirron hallinnasta. Tämä tarkoittaa siirron ohjaamista toimimaan mahdollisimman taloudellisesti ja käyttövarmasti. Tämä vaatii erilaisten tietojen keräämistä, prosessointia ja tietojen vaihtoa yhteiskäyttöjärjestelmään liittyvien muiden toimijoiden kanssa. Kerättävän tiedon määrä kasvaa suureksi, ja kattaa esimerkiksi jännitteet verkon eri osissa, johtolähtöjen virtoja ja tehoja, kytkinlaitteiden reaaliaikaisia tilatietoja ja niiden muutoksia. Tällainen laaja-alainen tiedonkeruujärjestelmä tunnetaan kansainvälisesti nimellä SCADA-järjestelmä (Supervisory Control and Data Acquisition -system).

Valvonta- ja ohjausjärjestelmien alkuvaiheessa tiedonsiirto oli langallista kahden pisteen välillä. Tämä tarkoitti suurta määrää tiedonsiirtojohtimia, jotka mahdollistivat tietyn yksittäisen tiedon siirron useisiin paikkoihin. Tiedonsiirtotekniikan kehittyminen on mahdollistanut uusien teknologioiden käyttämisen tiedonsiirtoon, jonka johdosta kaapelimäärät asemien ulkopuolelle ovat vähentyneet huomattavasti.

Asemasolla langalliset yhteydet ovat vieläkin yleisesti käytetyin tekniikka. Mikroelektroniikan kehittyminen yhdessä tiedon digitalisoinnin kanssa ovat muuttamassa radikaalisti tiedonsiirron ratkaisuja sähkönsiirron valvonnassa ja ohjauksessa, ja tiedonsiirto asemasollakin on siirtymässä langattomaan teknologiaan kehittyneiden monitoimisuojareleiden avulla. (Elovaara & Haarla, 2019)

Kaukokäyttöjärjestelmän toimintaperiaatetta esittää kuva 2. Valvottavat tiedot saadaan on/off-tyyppisinä viesteinä, analogimittauksina tai erilaisina esikäsiteltyinä tietoina. Sähköaseman kaukokäyttölaitteessa signaalit muunnetaan kaukokäyttöelektronikalle soveliaampaan muotoon. Kaukokäyttölaite suorittaa näytteenoton, signaalin valinnan, kanavoinnin, koodauksen sekä osoitteenmuodostamisen. Tämän jälkeen muodostettu paketti muunnetaan siirtoon sopivaksi kanavakoodaamalla. Informaatio siirretään tiedonsiirtomedian välityksellä käyttökeskukseen, jossa vastaanotettu paketti dekodataan ja tarkastetaan paketin oikeellisuus. Paketin tarkastuksen jälkeen informaatio tuodaan käyttökeskuksen näyttölaitteelle, ja tiedot ovat käytettävissä jatkokäsittelyyn. Kaukokäyttöjärjestelmä toimii ohjauksikäskyjä annettaessa samoin, mutta käyttökeskuksesta kaukokäyttölaitteen suuntaan.



Kuva 2. Kaukokäyttöjärjestelmän periaatekuva

Kaukokäyttöjärjestelmä voidaan rakentaa piste-pisteverkoksi, tähtiverkoksi, linjaverkoksi, rengasverkoksi, silmukkaverkoksi tai sekaverkoksi (kuva 3.) Rakenteen valintaan vaikuttaa tiedonsiirtomedia eli tiedonsiirtotapa, esimerkiksi parikaapeli, radiolinkki tai valokuitu. Tiedonsiirtotavan valintaan vaikuttaa kaukokäyttö- ja valvontapisteen keskeinen sijainti, tiedonsiirron tavoiteaika, sekä käytettävyys- ja turvallisuusvaatimukset. Piste-pisteverkkoa ei ole nykyisin kannattavaa käyttää muilla

tiedonsiirtomedioilla kuin radiolinkki ja matkapuhelinverkko. Rengas- ja silmukka-verkot nykyaikaisella valokuitu- tai vanhemmalla parikaapeliyhteydellä mahdollistaa tiedonsiirron yhden kaapelivälin rikkoutuessa, joka tuo käyttövarmuutta ja turvallisuutta kaukokäyttöjärjestelmään. Tiedonsiirtomedioille asetetaan suuret vaatimukset, jotta kaukokäyttöjärjestelmä olisi mahdollisimman reaaliaikainen ja aiemmin mainitut keskenään ristiriitaiset tavoitteet täyttyvät.

Siirrettävät informaatiot jaetaan informaatiomuodon ja siirrettävän informaation tärkeyden perusteella ohjaus-, mittaus-, hälytys- tai ilmoitustiedoiksi. Ohjaustiedot tarkoittavat ohjauskäskyjä sekä sellaisia käskyjä, jotka aiheuttavat ohjaustoimenpiteitä, esimerkiksi katkaisijoiden tai erottimien ohjaukset, käämikytkimien asetusmuutokset ja kompensointilaitteiden kytkentä. Ohjaustiedon siirrolta edellytetään nopeutta ja varmuutta vaara- tai vahinkomahdollisuuksien välttämiseksi. Ohjaustiedolle annetaan tästä syystä yleisesti korkein prioriteetti ja käskyn välittyminen varmistetaan erilaisten ilmoitusten avulla. Ohjaukset sidotaan kiinteästi asennonosoitukseen siten, että ohjatun kaukokäyttökohteen asennosta siirretään tieto ohjaajalle.

Hälytystiedot ovat tärkeitä kaukokäyttöjärjestelmissä, sillä niiden avulla pystytään parantamaan sähkön toimitusvarmuutta nopeammalla vianpaikannuksella, viankorjauksen nopeuttamisella ja jopa vaurioiden ehkäisyllä. Hälytystieto on binääristä, ja melko harvinaisen esiintyvyyden vuoksi tiedot eivät rasita tiedonsiirtoyhteyksiä. Pahoissa häiriötilanteissa kuitenkin syntyy samanaikaisesti useita hälytyksiä, mikä vaikeuttaa alkuperäisen häiriönaiheuttajan löytämistä sekä kuormittaa tiedonsiirtoyhteyttä. Edellä mainitusta syystä hälytystietoja yhdistellään ja luokitellaan sekä ala- että keskusasetasolla. Esimerkiksi sähköasemalla käyntiä vaativat mutta käyttöä estämättömät hälytykset voidaan luokitella matalampaan prioriteettiin kuin hälytykset, jotka vaikuttavat sähkön siirtoon. Sähkön siirtoon vaikuttavista hälytyksistä mainittakoon oiko- ja maasulkuhälytykset, jälleenkytkennät sekä katkaisijoiden laukaisutiedot, jotka kannattaa siirtää käyttökeskukseen johtolähtö- ja aikakohtaisesti eriteltyinä.

Ilmoitustietoja ovat asennonosoitukset ja muut tilaosoitukset kuten katkaisijan asennot ja asemien ovien aukeaminen. Yleinen tapa on siirtää vain tapahtuneet muutokset, jolloin ilmoitustiedot eivät juuri kuormita tiedonsiirtoa. (Elovaara & Haarla, 2019)

Pori Energia Sähköverkot käyttää SCADA-tiedon käsittelyyn ja hallintaan kahdennettua serverirakennetta, jossa yksi serveri hoitaa työn ja toinen varmuuskopioi ensimmäisen serverin tiedon itseensä. Tämä toteutustapa parantaa virhekestoisuutta, kun toisen serverin hajotessa toinen pystyy jatkamaan samasta pisteestä. Serverit sijaitsevat käyttökeskuksessa, jolloin huoltotoimenpiteet helpottuvat ja kulunvalvonta servereille onnistuu luontaisesti. (Suojanen, 2020)

4.1 Tiedonsiirtoprotokollat

Kaukokäyttöjärjestelmässä käytetään useita liikennöinti-protokollia ala-asemien ja käytönvalvontajärjestelmän väliseen kommunikaatioon, sekä releiden ja ala-aseman välisessä kommunikaatiossa. Uudemmissa järjestelmissä kommunikaatio on IP-pohjaista ja vanhemmissa sarjaliikennettä. Sarjaliikenneprotokollat ovat useasti järjestelmätoimittajan kehittämiä. IEC (International Electrotechnical Commission) standardointijärjestö kehittää jatkuvasti uusia liikennöintimalleja ja -ratkaisuja. Kaukokäyttö-toteutuksissa yleisimmin käytettävät liikennöinti-protokollat ovat IEC 60870-5-101 sekä IEC 60870-5-104. Verkkoyhtiökohtaisesti käytössä on myös muita tiedonsiirto-protokollia, kuten Pori Energian tapauksessa Modbus RTU ja TCP, IEC 61850, Procol, Spacom sekä Harris edellä mainittujen IEC-standardien lisäksi. (Suojanen, 2020)

4.1.1 IEC 60870-5-101

IEC 60870-5-101-protokolla on suunniteltu sarjaliikenne-kommunikointiin ala-aseman ja käytönvalvontajärjestelmän välillä. Fyysisesti protokolla tarjoaa RS-232 ja RS-485 standardien kanssa yhteensopivan rajapinnan.

Protokolla mahdollistaa kaksi kommunikointitapaa ala-aseman ja käytönvalvontajärjestelmän välille. Protokollaa voidaan käyttää kahdessa siirtotilassa, balansoidussa ja balansoimattomassa. Balansoimattoman tiedonsiirron tapauksessa Master eli

käytönvalvontajärjestelmä kontrolloi kommunikaatiota kiertämällä ala-asemia syklisesti vuoroillaan. Balansoidussa tiedonsiirrossa ala-asemat voivat aloittaa liikennöinnin ilman Masterin kyselyä. Ala-asemat pystyvät kommunikoimaan samanaikaisesti toistensa kanssa. Tiedonsiirto balansoidussa järjestelmässä on välitöntä, kun puolestaan balansoimaton järjestelmä siirtää ala-asemakohtaisen tiedon vasta seuraavalla tiedonsiirtosyklillä. Balansoimaton järjestelmä on yksinkertaisempi hallita, sillä master-järjestelmä pystyy päättämään vapaasti miltä ala-asemalta ja milloin tietoa pyydetään. (IEC 60780-5-101:2003+AMD1:2015, 2015)

4.1.2 IEC 60780-5-104

IEC 60780-5-104 protokolla on IP-verkkoihin tarkoitettu käytönvalvontaprotokolla. Protokolla mahdollistaa TCP/IP-verkkojen pakettikytkentäisen käytön ala-asemien ja käytönvalvontajärjestelmien välillä. -101 ja -104 -protokollien toiminnallisuus on lähes identtinen sovelluserroksessa. Protokollat jakavat ASDU-kehyksen (Application Service Data Unit) kommunikaatiossa, mutta eroavat linkkitasolla. Protokollien erona voidaan pitää tietojen ja tapahtumien käsittelytapaa.

IEC-60870-5-104 mahdollistaa symmetrisen tapahtumien lähetyksen, eli ala-asemat pystyvät käsittelemään ja lähettämään tapahtumia sekä pyyntöjä, kun käytönvalvontajärjestelmä suorittaa taustalla omaa toimintaansa. Protokollan suurin etu on mahdollisuus standardoidun verkon käyttö, jolloin tiedonsiirto onnistuu useiden laitteiden ja palveluiden välillä. Tämä mahdollistaa tiedonsiirron esimerkiksi hälytystiedoista nopeammin. (IEC 60780-5-104:2006+AMD1:2016, 2016)

4.1.3 IEC 61850

IEC 61850-standardi käyttää useampia protokollia ja malleja tiedonsiirrossa, jokaista omaan tarkoitukseensa. Standardin määrittelemät protokollat toteutetaan Ethernet-väylällä, mutta standardi mahdollistaa myös valokuitukaapelien käytön tiedonsiirtoon. Standardissa tiedonsiirtopalveluksi määritellään ACSI (Abstract Communication Service Interface), jonka avulla käyttäjille saadaan yksinkertainen rajapinta

tiedonsiirtoon. ACSI-palvelurajapintaa käytettäessä lähettävän laitteen ei tarvitse tietää vastaanottavasta laitteesta mitään, sillä ACSI-rajapinta suorittaa tiedonsiirron ilman laitekonflikteja.

Standardi käyttää kommunikointiin pääsääntöisesti GOOSE-protokollaa, joka mahdollistaa nopean sekä luotettavan järjestelmänlaajuisen I/O-arvojen jakamisen. GOOSE-protokollan viestit julkaistaan multicast-viesteinä subscriber-publisher -mallin mukaisesti ja kuljetetaan suoraan ethernet-kerroksen paketteina. Standardi mahdollistaa 1ms aikaleimatarkkuuden, joka on lyhyempi aika kuin sähköverkon kytkennän muutokset. Tämä mahdollistaa tarkan aikatiedon tapahtumista.

(Lemmetyinen, 2015)

4.1.4 Modbus RTU

Modbus-protokolla on Modiconin vuonna 1979 julkaisema avoin yksinkertainen master-slave -protokolla. Modbus on hyvin yleisesti käytetty mm. rakennusautomaatio- ja energianmittaussovelluksissa. Modbusin voittoa tavoittelematon järjestö julkaisee sivuillaan dokumentteja, joiden noudattaminen takaa eri valmistajien laitekannan yhteensopivuus.

Modbus-protokollan yleisimmät fyysiset rajapinnat ovat RS485 ja RS232, joista yleisin RS485-kaksijohdinrajapinta. Lyhyillä point-to-point tiedonsiirtomatkoilla voidaan käyttää RS232-rajapintaa, yleisimmin alle 20m matkoilla.

Modbus-protokollan mukaisessa järjestelmässä on vain yksi master-yksikkö, joka käskii slave-yksiköitä ja käsittelee näiden vastauksia. Slavet eivät siirrä tietoa ilman isännän kyselyä, eivätkä kykene kommunikoimaan toisten slave-yksiköiden kanssa. Master-yksikkö voi lähettää slave-kyselyitä kahdessa formaatissa, unicast- ja multicast-viesteinä. Unicast-kyselyllä master kyselee yksittäiseltä slave-yksikön osoitteelta (1-247), jolloin viestin vastaanottanut slave-yksikkö vastaa masterille. Multicast-kyselyllä master lähettää viestin kaikille slaveille, mutta slave-yksiköt eivät vastaa takaisin.

Modbusin data on yksinkertaisessa PDU-kehyksessä. Kehykseen kuuluu 4 kenttää, osoitekenttä, funktiokoodi, datakenttä ja virheentarkastuskenttä. Master-yksikkö

asettaa osoitekenttään sen slave-yksikön osoitteen jonka kanssa se haluaa kommunikoida, ja orja vastatessaan kirjoittaa osoitekenttään oman osoitteensa, jolloin master tietää miltä slave-yksiköltä vastaus tulee. Funktiokoodissa master kertoo slave-yksikölle suoritettavan tehtävän. Data-kenttä sisältää kaksi erillistä tasoa, Master/Slave-protokollan sekä tiedonsiirtotilan RTU tai ASCII. RTU-tiedonsiirrossa jokainen 8-bitinen tavu sisältää kaksi 4-bittistä heksadesimaalimerkkiä, jolloin saavutetaan suurempi merkkitiheys ASCII-siirtoon verrattuna. ASCII-tiedonsiirtotavassa 8-bitin tavu sisältää kaksi ASCII-merkkiä. ASCII-tiedonsiirto on käyttäjälle helpompi tulkita kuin RTU, mutta tietoa ei siirretä yhtä kompaktissa muodossa.

RTU-protokollan tavu sisältää aloitusbitin, 8 databittiä, pariteettibitin sekä pysäytysbitin. PDU-kehys on maksimissaan 256 tavua pitkä, josta osoitekenttä, funktiokoodi ja virheentarkastuskenttä ottavat jokainen 8-bittisen tavun. Täten datakentän maksimipituus on 252 8-bittistä tavua.

Modbus-protokolla mahdollistaa kommunikoinnin kaikenlaisien verkkojen ja väylien välillä, jolloin kommunikoinnissa voidaan käyttää sekä sarjaväylää että ethernetiä. Tämä mahdollistetaan Modbus-yhdyskäytävien käytöllä.

(Real Time Automation, 2024)

4.2 Tiedonsiirtomediat

Tiedonsiirtomedian keskeisiin ominaisuuksiin lukeutuu siirtonopeus, kaistanleveys ja kulku-aika. Kaistanleveys määrittelee suurimman siirrettävissä olevan taajuuden ja median maksimisiirtonopeuden. Analogiset tiedonsiirtomediat eivät mahdollista tiedonsiirtohäiriöistä johtuvien virheiden ilmaisua tai korjaamista. Tämän syyn takia nykyään käytetään yksinomaan digitaalisia tiedonsiirtomenetelmiä ala-asemien ja keskuslaitteiston välisessä sekä niiden sisäisessä viestiliikenteessä.

Tiedonsiirtoa toteuttaessa verkkoyhtiöt pyrkivät toteuttamaan omia erillisverkkoja. Erillisverkot mahdollistavat käytettävyyden laajojen sähköverkon vikojen ja häiriöiden aikana, eikä tiedonsiirto katkea jännitteen hävitessä julkisen verkon siirtopalveluista. Erillisverkko myös parantaa tietoturvallisuutta, koska fyysisesti erilliseen

verkkoon murtautuminen vaatii pääsyn erillisverkon käyttöpaikkoihin. Verkkoyhtiöiden on myös vaikea saada etusijaa omaan tiedonsiirtoon ja verkkojen kuntoon saattamiseen yleisten laajojen televerkon häiriötilanteiden aikana.

Verkkoyhtiön tiedonsiirtotarpeiden toteuttamisen yleisesti käytössä olevat menetit ovat seuraavat:

- Verkkoyhtiön omistamat galvaaniset johdinyhteydet
- Vuokratut yhteydet
- Radiolinkkiyhteydet
- Radiopuhelinyhteydet
- Valokaapeliyhteydet

Yleisimmin sovelletaan kaapeli- ja radiolinkkiverkkoja. Tiedonsiirtometodin valintaan vaikuttavat pääasiassa käytettävyys ja kustannustehokkuus. Käytettävyyteen vaikuttaa luotettavuus, vikojen tiheys ja kestoaika. Kustannustehokkuuteen puolestaan vaikuttaa viestijärjestelmä, ala-asemien etäisyys käyttökeskuksesta kuin myös se, omistetaanko viestiyhteydet vai vuokrataanko ne.

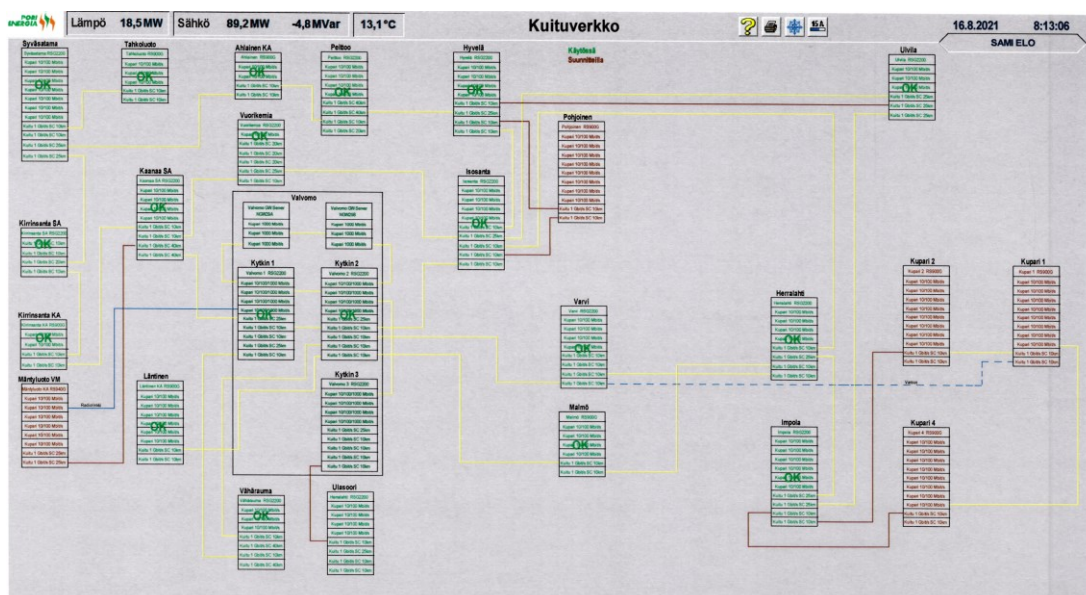
Kaapeliyhteyksien käyttäminen on taloudellisinta lyhyillä etäisyyksillä, jolloin kaapelikustannukset ja kaapelien häiriöt ovat pienimmillään. Pidemmillä kaapelietäisyyksillä vaimeneminen ja häiriöiden kertaantuminen aiheuttavat ongelmia tiedonsiirrossa, jolloin galvaaniset yhteydet eivät ole enää kustannustehokkain ratkaisu. Syrjäisempien kaukokäyttökohteiden tiedonsiirrossa käytetään matkapuhelin-, radio tai valokuituverkkoa kustannustehokkuuden kasvattamiseksi. (Elovaara & Haarla, 2019)

4.2.1 Valokuitu

Sähköasemien välisessä tiedonsiirrossa yleisin media on valokuitu, pienien häviöiden, häiriövapauden, tiedonsiirtonopeuden, kaistanleveyden sekä tietoturvallisuuden vuoksi. Valokuitu on häiriövapaa eikä tuota häiriötä ympäristöön koska kuidun lasi on sähköinen eriste. Kaksisuuntainen liikenne valokuitukaapelilla vaatii kuitenkin kaksi erillistä kuitua, ja pienihäviöinen haaroittaminen on edelleen vaikea toteuttaa.

Yksimittainen valokuitukaapeli pystyy kuljettamaan dataa 15 kilometriä, kunnes viestin voimakkuus puolittuu, vaimennuksen ollessa 0.4dB/km. Valokuituvastaanotin kykenee erottamaan -90dBm viestin, lähettimien tehojen ollessa -30dBm - +20dBm. Täten valokuidulla voidaan välittää viestejä yli satojen kilometrien matkoilla ilman vahvistinta. Nykyaikaisilla 9/125 micronin valokuitukaapeleilla saavutetaan noin 100THz kaistanleveys, vaimennuksen ollessa 0.4 dB/km 1310nm aallonpituudella ja 0.25 dB/km 1550nm aallonpituudella. Valokuidun vaimeneminen aiheutuu pääosin kahdesta syystä, sironnasta ja absorptiosta. Absorptio johtuu valon imeytymisestä kuidun materiaaliin, esimerkiksi kuidussa olevien epäpuhtauksien vuoksi. Sirontaa aiheuttaa kuidun mikroskooppisen pienet taitekerroinerot, jotka aiheuttavat valon heijastumista kaikkiin suuntiin. Lisävaimennusta aiheuttavia tekijöitä ovat makrotaipumat (säde alle 1mm), mikrotaipumat (säde yli 1mm), vety sekä radioaktiivinen säteily. Näitä tekijöitä pystytään minimoimaan sopivilla kaapelirakenteilla ja oikeilla asennusmenetelmillä.

Pori Energia käyttää valokuitua asemien tiedonsiirrossa ja kaukokäytössä. Kaikki muut sähköasemat ovat kuituyhteydessä, paitsi Ulasoorin asema. Kyseinen asemakin siirtyy valokuituverkkoon asemasaneerauksen yhteydessä.



Kuva 3. Pori Energian kuituverkko ja suunnitellut laajennukset 16.8.2021

4.2.2 Radio ja GSM

Pori Energian jakeluverkon kauimmaisissa ja vaikeakulkuisimmissa kaukokäyttökohdeissa käytetään radiomodeeilla toimivaa tiedonsiirtoa. Tällaisissa kohteissa radioyhteyden langattomuus ja asennuksen helppous. Radioliikennöinnin haittapuolina ovat taajuuksien luvanvaraisuus, käyttökelpoisten taajuuksien rajallisuus sekä maastoesteiden ja keliolosuhteiden aiheuttamat kuuluvuushäiriöt.

Radiomodeemien käyttö mahdollistaa kaukokäytettävien kohteiden ketjutuksen, jolloin master-laitteelta annettu ohjauksikäsky tai tilatietokysely kulkee muiden ketjutettujen radiomodeemien kautta, joka mahdollistaa pidemmät tiedonsiirtomatkat kuin yksittäisillä radiopuhelin-pohjaisella tiedonsiirtotavalla.

Yksittäisen Pori Energian käytössä olevan SATEL-merkkisen radiomodeemin kantama on antennista ja maastosta riippuen 20-30km. Vastaavaan kantamaan pystyy myös radiopuhelin, mutta aiemmin mainitulla ketjutuksella kantama kasvaa eksponentiaalisesti. Jos tieto siirretään neljän radiomodeemin ketjun läpi etäisyys master-laitteelta tavoitelaitteelle voi olla jopa 120km, olettaen antennien ja maaston sopivan radiomodeemien maksimikantaman saavuttamiseen.

Radiomodeemien liitäntä kaukokäyttölaitteisiin tapahtuu sarjaportin kautta, mikä mahdollistaa useampien eri tyyppien kaukokäyttöasemien käytön samanlaisella radiokonfiguraatiolla.

GSM-ohjatut kaukokäyttöasemat kytkeytyvät 2G-, 3G- tai 4G-verkkoon normaalin SIM-kortin avulla, ja siirtävät tietoa SMS-viestipohjaisesti julkisessa matkapuhelinverkossa. Tiedonsiirron turvaamiseksi tieto siirretään salattuna, jolloin viestin kaapaminen ei aiheuta tietoturvariskiä yksittäistapauksissa. Tämän kaltaiset kaukokäyttöasemat eivät liikennöi jatkuvasti, vaan yleinen käytännön mukaan ala-asema lähettää viestin tila-muutoksista, ja SCADA pitää tallessa viimeisimmän vastaanotetun

asentotiedon. GSM-ohjatut kaukokäyttöasemat ovat poistumassa Pori Energian verkosta, operaattorien sulkiessa 3G-verkkoja kustannussyistä ja 4G-verkon yleistymisen myötä. (Suojanen, 2020)

4.2.3 Kupari/parikaapeli

Parikaapeli, viralliselta nimeltään symmetrinen kaapeli, on yksi tunnetuimmista ja käytetyimmistä telekaapeleista niin kuluttaja- kuin verkkoyhtiökäytössä tiedonsiirtomediaan. Parikaapelointi on sekä yksinkertaisempaa että halvempaa kuin valokuidun asentaminen, jonka takia parikaapelia on käytetty sähköverkon tiedonsiirrossa kaukokäyttöjen alkua ajoilta. Olemassa olevien parikaapeliyhteyksien laajentaminen sekä kunnossapito ovat taloudellisia ratkaisuja kaupunkialueilla kaukokäyttö-tiedonsiirtoon, välimatkojen ollessa maltillisia.

Parikaapeli sisältää johdinparin tai -pareja, jotka ovat kierretty yhteen symmetrisesti. Johdinparit kierretään näin häiriöiden minimoinniksi. Parikaapelien häiriöt johtuvat yleensä taustasäteilyn kohinasta, toisten johtimien ylikuulumisesta (crosstalk), sekä sähköverkoissa mahdollisista suurjännitekaapeleiden läheisyydestä. Parikaapelien johtimet ovat eristettyjä, ja materiaaliltaan yleensä kupari.

Pori Energian verkossa nykyisin asennettava parikaapeli on VMOHBU-maakaapeli. VMOHBU-kaapeleita on saatavilla 5-, 10-, 20-, 30-, 50-, 100-, 200-, 300-, 600-, 800- ja 1200-parisina. Porin alueella käytetyin kaapelikoko on 20x2x0.5, jolloin kaapeli sisältää 20 kappaletta kahden kuparijohtimen paria, joiden poikkipinta-ala on 0.5mm². Johtimien eristykseenä käytetään vaahdotettua PE-muovia, ja kaikkien parienvälisten ympärillä on muovialumiinilaminaatti. VMOHBU-kaapelin suurimmat edut ovat halpa hankintahinta sekä helppo asennettavuus, haittoina kaapelissa ovat kapea kaistanleveys sekä heikko häiriönkestoisuus.

(Nestor Cables, 2024)

Samoja VMOHBU-kaapeleita käytetään Pori Energialla sekä sähköverkon, että kaukolämmön tiedonsiirtoon. Kupariverkon rakentamisessa on pyritty ylläpitämään ja laajentamaan varmennettua puutopologiaa, jolloin useamman tiedonsiirtokaapelin pareja on varattu ja omistettu saman datan siirtoon. Tällaisten varmenneuksien käyttöönotto vaatii asentajan toimenpiteitä käyttöönottoon, koska kaapelipääteiden ristikytkeitä täytyy muokata toisen parin käyttöön saattamiseksi. Toisaalta myös tiedonsiirtokaapeleiden vikaantuminen on vähäistä, jolloin kyseinen topologiaratkaisu on kustannustehokas ja verkkoyhtiön tarpeisiin riittävän nopeasti korjattavissa.

5 KEHITYSIDEAT

Työtä tehdessä huomasi muutamia kohtia kaukokäyttölaitteistoon ja tiedonsiirtoon liittyen, joihin alettiin miettimään kehitysmahdollisuuksia yrityksen edustajien kanssa. Ensimmäinen ehdoton kehitysidea on lisätä vielä yksi back-up-serverilaitteisto varmaan ja turvalliseen sijaan, kuitenkin nykyisen toimipisteen ulkopuolelle. Tällä mahdollistetaan tiedonsiirron sekä serverien toimintakyky kriisitilanteissa sekä lisää tietoturva.

Mahdollisia sijoituskohteita serverilaitteistolle käytiin läpi käytönsuunnittelijoiden sekä käytönjohtajan kanssa, ja yritys alkoi selvittämään toteutusmahdollisuutta eräseen ehdotettuun sijaan. Tämä kohta on tietoisesti kirjoitettu epäselväksi, koska kyseessä on huoltokriittinen, kansallisesti kriittisen infrastruktuurin tärkeä osa.

Mahdollisena kehityskohteena, verkon tarpeiden mukaan, pitäisin etäluettavien mittareiden hälytysten käyttöönottoa laajemmin. Tässä kehitysideassa mahdollisena kompastuskivenä on hälytysten suodatus, koska suurhäiriötilanteissa sekä jo 20kV johtolähtöviassa mahdollisten hälytysten määrä nousee helposti todella suureksi, jolloin hälytykset toimivat enemmän häiriötekijänä kuin avustavana ratkaisuna.

Lisäksi ehdottaisin mahdollista tietoturva-asioiden ja tiedonsiirron auditointia ulkopuolisen toimijan kanssa, jotta huomaamatta jääneet mahdolliset virhekohdat toimintatavoissa sekä toteutustavoissa tulisivat esille. Tämä auditointi mahdollistaa myös tietoturvallisuuden parantamisen niin toimisto- kuin valvomoverkon sisällä sekä näiden välisessä rajapinnassa. Mahdollisuutta myös valvomoverkon ja kaukokäyttöverkkojen valvontaan olisi hyvä selvittää. Tämä mahdollistaisi nopean reagointikyvyn ja vahinkojen minimoinnin mahdollisessa tietomurtotapauksessa.

Yleisesti Pori Energia Sähköverkkojen kaukokäyttöjärjestelmä on hyvin ylläpidetty sekä säännöllisesti tarkastettu vuosikymmenien kokemuksella, jolloin kehityskohteiden ja kehitysideoiden löytäminen hankaloituu. Tästä huolimatta parannettavaa löytyy jokaisesta toteutustavasta, täydellisen varmaa ja turvallista tiedonsiirtoverkkoa ei ole.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ja selventää Pori Energia Sähköverkot Oy:n kaukokäyttöjärjestelmän tiedonsiirtomedit, -menetelmät sekä löytää kehitysideoita toimintavarmuuden parantamiseksi. Työssä päädyttiin selvittämään teoriatasolla eri tiedonsiirtomedioiden hyöty- ja haittapuolia, sekä maastokäynneillä tarkastamaan nykyisten kaukokäyttökomponenttien kunto silmämääräisesti.

Opinnäytetyön aikana haasteeksi paljastui jakeluverkon monipuolisuus ja vaikeaselitteisyys, jolloin työssä piti myös selventää sähkön jakeluverkon toimintaperiaatetta. Myös kyseisen jakeluverkon tiedonsiirtotapojen moninaisuus aiheutti hieman päänvaivaa, sillä käytössä on kaukokäyttölaitteita useilta eri aikakausilta ja kehitysvaiheilta.

Opinnäytetyön tulos on teoreettinen selvennys kaukokäyttölaitteiden tiedonsiirrosta, eri tiedonsiirtomedioista sekä jakeluverkon peruseräperiaatteesta. Opinnäytetyön perusteella pystytään jatkossa valitsemaan oikea tiedonsiirtomedia ja -protokolla käyttökohteeseen kustannus- ja käyttötehokkaasti. Opinnäytetyössä on noudatettu Samkin eettistä ohjeistusta.

LÄHTEET

Elovaara, J. & Haarla, L. (2019) Sähköverkot I — Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. (2. painos). Otatieto

Elovaara, J. & Haarla, L. (2019) Sähköverkot II —Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. (2. painos). Otatieto

IEC 60780-5-101:2003+AMD1:2015. Telecontrol equipment and systems - Part 5-101: Transmission protocols - Companion standard for basic telecontrol tasks. International Electrotechnical Commission <https://webstore.iec.ch/publication/23822>

IEC 60780-5-104:2006+AMD1:2016. Telecontrol equipment and systems - Part 5-104: Transmission protocols - Network access for IEC 60870-5-101 using standard-transport profiles. International Electrotechnical Commission.
<https://webstore.iec.ch/publication/25035>

Lemmetyinen, A. (2015). IEC 61850-standardin soveltaminen sulautetulla Linux-järjestelmällä. [diplomityö, Vaasan Yliopisto] Osuva.
<https://osuva.uwasa.fi/handle/10024/2619>

Nestor Cables. (2023) Tuotekatalogi.
https://slofiles.blob.core.windows.net/pimfiles1/PDF/catalogue_0217003.pdf

Pori Energia. Tunnuslukuja 2023. Haettu 23.3.2024 osoitteesta
<https://www.porienergia.fi/yritys>

Real Time Automation. (23.3.2024) AN INTRODUCTION TO MODBUS RTU.
<https://www.rtautomation.com/technologies/modbus-rtu/>

Suojanen, M. (2010). Pori Energia Sähköverkot Oy:n kaukokäyttöjärjestelmän kehityssuunnitelma. [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan Ammattikorkeakoulu].

Suojanen, M. (23.12.2020). Henkilökohtainen keskustelu Pori Energian käytönsuunnittelijan, Mika Suojasen, kanssa