

Samuli Lintula

**VERKKOYHTIÖN MITTAUSJÄRJESTELMÄN SIIRTYMINEN AMR 2.0
-TEKNOLOGIAAN**

VERKKOYHTIÖN MITTAUSJÄRJESTELMÄN SIIRTYMINEN AMR 2.0 -TEKNOLOGIAAN

Samuli Lintula
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Samuli Lintula

Opinnäytetyön nimi: Verkkoyhtiön mittausjärjestelmän siirtyminen AMR 2.0 -teknologiaan

Työn ohjaajat: Tatu Kuronen (OSSV), Heikki Kurki (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: 29

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy:n (OSSV) nykyinen mittausjärjestelmä ja sen tarjoamat palvelut asiakkaille sekä siirtyminen uuden sukupolven AMR 2.0 -teknologiaan. Työssä selvitettiin myös uuden sukupolven mittalaitteiden uusia teknisiä ominaisuuksia sekä kerrottiin OSSV:n mittalaitteiden massavaihdon etenemisen aikatauluista. Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy on sähköverkkoyhtiö, joka toimittaa sähköä noin 33 000 käyttöpaikalle seitsämän kunnan alueella.

Opinnäytetyössä tutustuttiin vuonna 2021 julkaistuihin Valtioneuvoston asetuksen sähkötoimitusten selvityksestä ja mittaamisesta asettamiin vaatimuksiin ja siirtymäsäännöksiin sekä siihen, millaisia muutoksia se aiheuttaa verkkoyhtiön näkökulmasta. Työssä käsiteltiin myös OSSV:n nykyisellä mittausjärjestelmällä asiakkaille tuotettuja palveluita sekä mittalaitteiden hankinnan ja massavaihdon etenemistä ja suunniteltuja aikatauluja.

Energiamurroksen ollessa käynnissä ja sähköenergian tuotantorakenteen muuttuessa tarvitaan ratkaisuja, joilla nykyistä sähköverkkoa voidaan käyttää vielä älykkäämmin. Verkkoyhtiön mittalaitteet ja niillä tuotetut palvelut ovat tärkeä osa älykästä sähköverkkoa. Uuden sukupolven mittalaitteiden teknisten ominaisuuksien kehitys lisää verkkoyhtiön mahdollisuuksia entistä laadukkaampaan palveluun.

Asiasanat: AMR 2.0, mittausjärjestelmä, älykäs sähköverkko

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

Author: Samuli Lintula

Title of thesis: Transition Of Electricity Network Company's Measurement System to AMR 2.0 Technology

Supervisors: Tatu Kuronen (OSSV), Heikki Kurki (OAMK)

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023

Number of pages: 29

The aim of this thesis was to review the current measurement system of Oulu Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy and the services they offer to customers, as well as the transition to the new generation AMR 2.0 metering technology. The work also investigated the new technical features of the new generation of measuring devices. Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy is an electric utility company that supplies electricity to approximately 33,000 customers in seven municipalities.

The work included getting familiar with the legislative requirements concerning the new generation of measuring devices and the changes they bring from the point of view of the network utility company. The work also dealt with the services provided to customers with the current measurement system of Oulu seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy. The progress of the mass exchange and acquisition of measuring devices and the planned schedules were also reviewed.

The role of the measurement system of electric utility company in the smart grid is important. The development of a smart electricity network brings a solution to the ongoing energy revolution and the change in the production structure of electrical energy. The development of the technical properties of the measuring devices increases the possibilities of the smart grid and creates the opportunity to serve customers with even better quality.

Keywords: AMR 2.0, measurement system, smart grid

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tavoite	6
1.2	Toimeksiantajan esittely	7
2	OSSV:N NYKYINEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ	8
2.1	Mittalaitteet	8
2.1.1	MeshNET-topologia	9
2.1.2	RS-topologia	10
2.1.3	P2P-topologia	10
2.2	Luentajärjestelmä	10
2.3	Aidon One -palvelu	11
3	MITTAREILLA TUOTETUT PALVELUT	13
3.1	Kuormanohjaus	13
3.2	Tekstiviestipalvelut	14
3.2.1	Pääsulakkeen palovaara	14
3.2.2	Pääsulakepalo	14
3.2.3	Nollavika	15
3.2.4	Muuttunut kulutus	16
4	AMR 2.0 -MITTAUSJÄRJESTELMÄN OMINAISUUKSIA	17
4.1	Varttimittaus	17
4.2	Asiakasrajapinta eli HAN-portti	18
4.3	Kuormanohjausrajapinta	19
4.4	Tiedonsiirto	21
5	SIIRTYMINEN AMR 2.0 -JÄRJESTELMÄÄN	23
5.1	Mittalaittehankinnan kilpailutus	23
5.2	Massavaihto	24
6	POHDINTA	25
	LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Sähköverkkoyhtiön tehtävä on huolehtia asiakkaan sähköntoimituksesta sekä sähköverkon rakentamisesta ja kunnossapidosta. Sen lisäksi verkkoyhtiön tärkeisiin tehtäviin kuuluu myös asiakkaiden sähköenergian kulutuksen ja tuotannon mittaus. Se tarkoittaa sitä, että asiakkaan kulutuspisteessä sijaitsee verkkoyhtiön ylläpitämä etäluettava sähkönkulutusmittari.

Sähköenergian kulutuslukemat toimitetaan verkkoyhtiön mittausjärjestelmän kautta sähkön vähittäismarkkinoiden keskitettyyn tiedonvaihtojärjestelmään eli Datahubiin, jonka tietojen perusteella sähkönmyyjä laskuttaa asiakasta käytetystä energiasta sopimuksen mukaan sekä verkkoyhtiö sähkön siirrosta. Lisäksi verkkoyhtiö voi halutessaan tarjota kuluttajalle mittarilla toteutettavia palveluita, esimerkiksi tiettyyn aikajaksoon liittyviä kuormanohjauksia. Mittareita voidaan myös hyödyntää vikatilanteissa ja niillä voidaan mitata sähkön laatua.

1.1 Työn tavoite

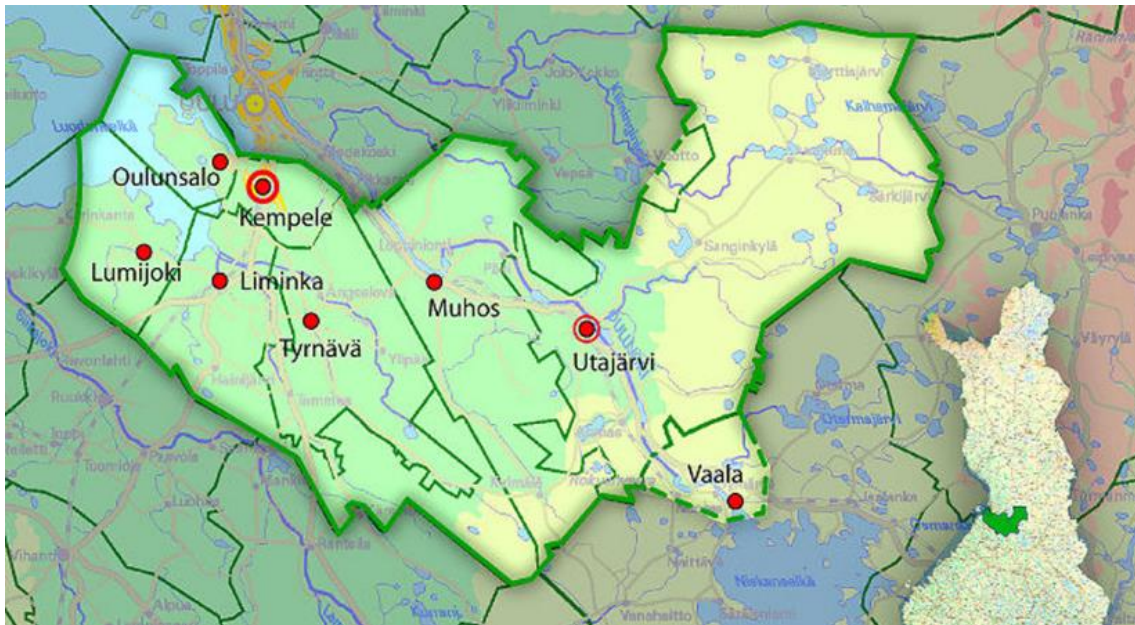
Valtioneuvoston asetus sähkön toimituksen selvityksestä ja mittauksesta sisältää uudet vaatimukset seuraavan sukupolven sähkömittareille. Sähkön kulutuksen lisääntyminen sekä säästä riippuva energian tuotanto asettaa sähköenergian mittauksen entistäkin tärkeämpään rooliin nyky-yhteiskunnassa. Valtioneuvoston asetuksessa kerrotaan mittauslaitteistoja koskevat siirtymäsäännökset, joita verkkoyhtiöiden tulee noudattaa. Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy:lle tämä tarkoittaa sitä, että mittarikanta tulee uusia. Sen massavaihto tulee hyvään aikaan, sillä nykyinen mittarikanta on jo 13 vuotta vanha ja tulossa käyttöikänsä päähän. (1.)

Tässä työssä käsitellään Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy:n nykyistä mittausjärjestelmää ja sen palveluita sekä siirtymistä uuteen AMR 2.0 -järjestelmään. On ilmeisen tärkeää, että OSSV:n tarjoamat laadukkaat mittalaitteilla tuotetut palvelut pystytään myös toteuttamaan uusilla mittalaitteilla. Työ suoritettiin käytettävissä olevien resurssien ja aineistojen perusteella, minkä lisäksi toteutukseen on käytetty kenttätöiden ja käytännön kokemusten kautta karttunutta osaamista.

1.2 Toimeksiantajan esittely

Oulun Seudun Sähkö on kuluttajaosuuskunta, jonka liiketoiminnan perustan muodostaa energiantuotanto, sähkönsiirto, valokuitu ja kaukolämpö. Keskusosuuskunta perustettiin vuonna 1921 ja se rakentuu 12 sähköosuuskunnasta ja kolmesta muusta yhteisöstä. Oulun Seudun Sähkö on kokonaan jäsentensä omistama. (2.)

Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy (OSSV) on Oulun Seudun Sähkön tytäryhtiö, joka vastaa sähkön siirrosta kantaverkosta asiakkaille sekä huolehtii jakeluverkon suunnittelusta, rakennuttamisesta ja kunnossapidosta. Sen verkkoalueeseen kuuluvat Kempele, Oulunsalo, Lumijoki, Liminka, Muhos, Utajärvi ja Vaalan keskustan alue (kuva 1). OSSV toimittaa sähköä noin 33 000 sähkökäyttöpaikkaan ja sillä on sähköverkkoa noin 3 800 km. (3.)



KUVA 1. Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy:n jakelualue (3)

2 OSSV:N NYKYINEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Sähkömarkkina-alaissa todetaan, että verkonhaltijan tulee järjestää sähköverkkonsa taseselvityksen ja laskutuksen perustana oleva sähköntoimituksen mittaus sekä mittautietojen rekisteröinti ja toimittaminen sähkömarkkinoiden osapuolille (4). Tämän vuoksi verkkoyhtiöillä on omaan tarpeeseensa parhaiten soveltuva mittausjärjestelmä. Jakeluverkkoyhtiön mittausjärjestelmä koostuu etäluettavista mittalaitteista, tiedonsiirrosta, luentajärjestelmästä sekä mittautietokannasta.

OSSV:n nykyinen mittausjärjestelmä koostuu AMR (engl. Automatic Meter Reading) ensimmäisen sukupolven etäluettavista mittalaitteista. Laitteet on massavaihdettu vanhanaikaisten paikallisesti luettavien MMR-laitteiden tilalle (engl. Manual Meter Reading) vuosina 2010–2011.

2.1 Mittalaitteet

Sähköenergian mittaus käyttöpaikalla voidaan toteuttaa eri tavoilla sähköliittymän tyypistä ja pääsulakekoosta riippuen. Sähköliittymällä tarkoitetaan kiinteistön liittymistä sähkön jakeluverkkoon. Yhdellä liittymällä voi olla yksi tai useita käyttöpaikkoja, esimerkiksi kerros- ja rivitalot. Jokaisen käyttöpaikan energian kulutus mitataan kuitenkin erikseen omalla mittalaitteella.

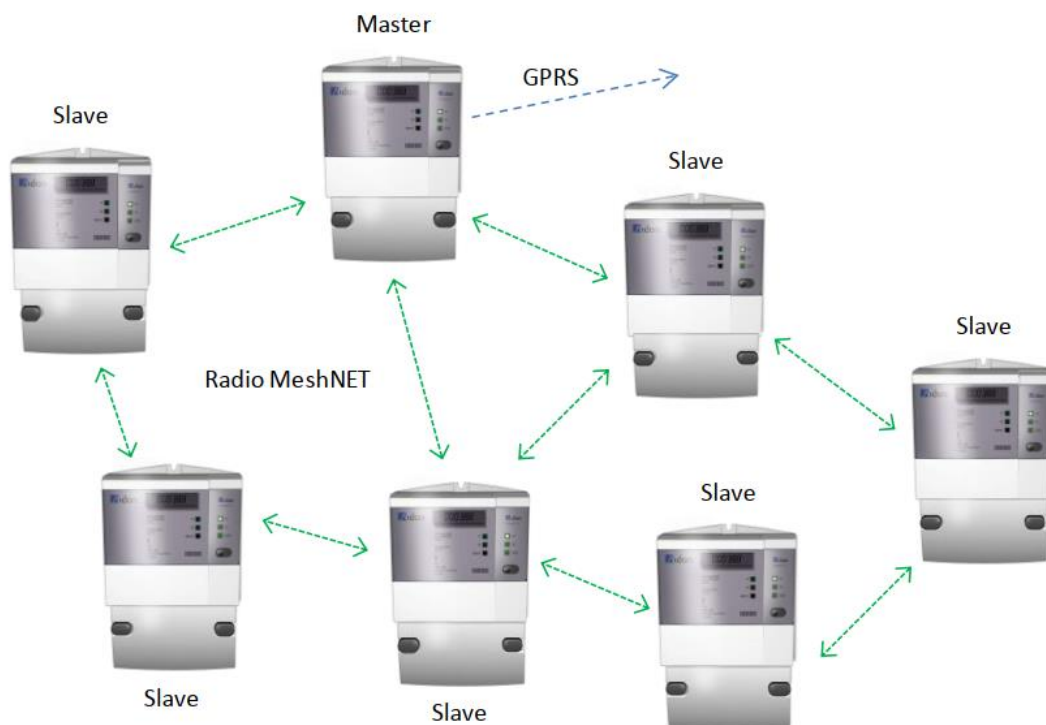
OSSV:n nykyinen mittarikanta on suurimmaksi osaksi massavaihdossa vuonna 2010–2011 asennettua vanhempaa Aidonin 5000-sarjaa sekä vuodesta 2013 uudiskohteisiin sekä vikatapauksissa asennettua 6000-sarjaa. Koska osa mittalaitteista on jo 13 vuotta vanhoja ja niiden käyttöikä alkaa olemaan tiensä päässä, laitteiden vikaantumiset ovat lisääntyneet. Tämän vuoksi mittalaitteiden päivitys tulee hyvään aikaan.

Tällä hetkellä käytössä olevat mittalaitteet ovat suurimmaksi osaksi ensimmäisen sukupolven AMR-mittareita, joiden mittaus perustuu tuntimittaukseen ja ne ovat etäluettavia. Tuntimittauksella tarkoitetaan sähkönkulutuksen tai tuotannon lukemien rekisteröimistä tunnin aikajaksoissa. Aidonin 6000-sarjan mittalaitteet on Valtioneuvoston asetuksen perusteella ohjelmoitu rekisteröimään kulutuslukemat 15 minuutin jaksoissa. 5000-sarjaan tämä ohjelmointi ei ole mahdollista.

Mittausjärjestelmän toimivuuden kannalta on tärkeää, että mittalaitteiden tiedonsiirtoyhteys on varma ja toimiva. Mittalaittevalmistajat tarjoavat erilaisia tiedonsiirtoyhteyksiä, jotta jokaisen kulu- tuskohteen lukemien saanti olisi mahdollisimman luotettavaa. OSSV:n verkossa on tällä hetkellä kolmea eri kommunikaatiotapaa käyttävää mittalaitetyyppiä.

2.1.1 MeshNET-topologia

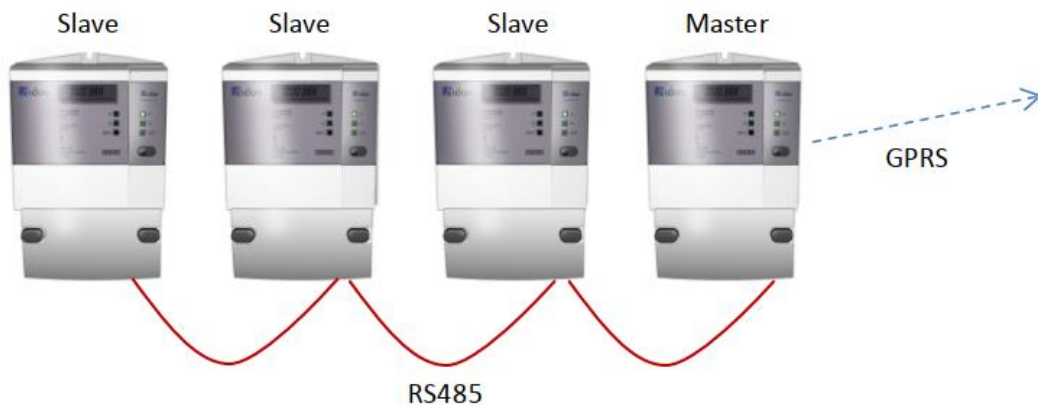
Suurin osa laitteista on kaupunki- ja taajama-alueilla MeshNet-radioverkkoa hyödyntäviä laitteita (kuva 2). Mesh-verkko koostuu Slave- ja Master-mittalaitteista. MeshNet-laitteet kommunikoivat langattomasti 865 MHz:n taajuudella, ja ne muodostavat automaattisesti mikroverkkoja, jossa yksi Master-laite kerää mittaustiedot useilta Slave-laitteilta ja toimittaa ne GSM-yhteydellä luentajärjes- telmään. Jokaisella mittalaitteella tulee olla vähintään kaksi muuta mittaria 200 metrin säteellä, jotta saavutetaan tarpeeksi vahva Mesh-verkko. Yhdessä topologiassa voi olla 100 Mesh-mittaria. (5.)



KUVA 2. MeshNET -topologia (5)

2.1.2 RS-topologia

Monimittauskeskuksissa on käytetty väyläohjattua kiinteää RS-topologiaa, jossa yksi Master-mittari kerää Slave-laitteilta mittaustiedot RS485-parikaapelilla ja toimittaa ne luentajärjestelmään (kuva 3). Tätä kommunikaatiotapaa käytetään monimittauskeskuksissa eli sellaisissa kohteissa, joissa samalla sähköliittymällä on useita käyttöpaikkoja, esimerkiksi kerros- ja rivitalot. Slave-mittalaitteiden maksimimäärä yhtä Master-mittaria kohden on 63, ja Master-mittari voi olla missä kohtaa ketjua tahansa. (5.)



KUVA 3. RS-topologia (5)

2.1.3 P2P-topologia

Haja-asutusalueella käytetään P2P-kommunikointia (engl. Point to Point), sillä kiinteistöt ovat yleensä kaukana toisistaan tai RS- tai MeshNet-topologia ei muuten ole soveltuva vaihtoehto. P2P-mittarilla on oma tiedonsiirtoliittymä eli se on nimensä mukaan suoraan yhteydessä luentajärjestelmään käyttäen GSM-verkkoa. (5.)

2.2 Luentajärjestelmä

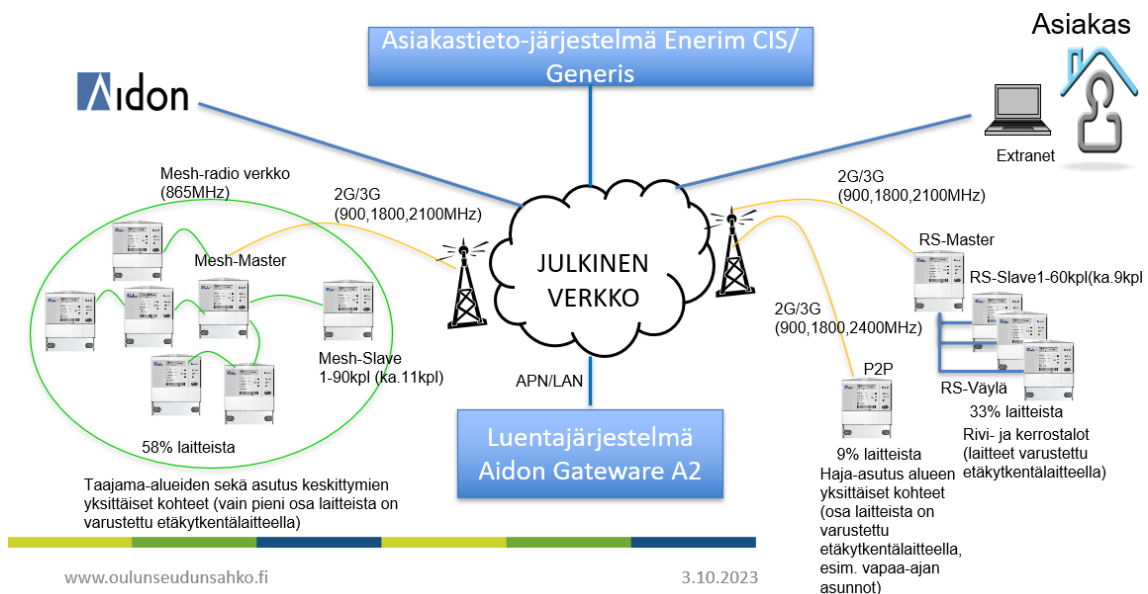
OSSV:llä on käytössä omassa palvelinympäristössä toimiva luentapalvelin, jota hallinnoidaan ja sen toiminnasta vastataan itse. Luentapalvelimen käyttöliittymänä toimii Aidon Gateway A2, jolla luentapalvelinta hallitaan. Luentajärjestelmän tehtävänä on kerätä mittausdata laitteelta sekä to-

teuttaa tariffin, kuorman ja etäkytkentälaitteiden ohjaukset. Gateware lukee mittaustietoja sekä tapahtumalokeja mittareilta ja välittää tiedot muihin järjestelmiin integraation kautta. Gatewaresta saadaan selville myös laitteen vikalokit, mikäli vikoja ilmenee. (6, s. 5.)

Asiakastietojärjestelmänä OSSV käyttää Enerim CIS:ää, jolla hoidetaan laskutus ja esimerkiksi uusien käyttöpaikkojen luonti. Generis on puolestaan mittaustiedonhallintajärjestelmä. Generiksessä seurataan mittaustietojen oikeellisuutta ja saatavuutta. Lisäksi tässä järjestelmässä lasketaan Fingridille lähetettävät myyjäkohtaiset summasarjat. Kuvassa 4 on esitetty OSSV:n nykyinen luentajärjestelmä. (6, s.5.)



Luentajärjestelmä :



KUVA 4. OSSV:n luentajärjestelmä (7)

2.3 Aidon One -palvelu

Aidon One on Aidonin tarjoama palvelu sähkönjakeluverkon ja siihen liittyvien kenttätöiden hallintaan. Aidon One hallintajärjestelmä yhdistää verkkoyhtiön eri järjestelmien tiedot yhteen karttapohjaiseen näkymään. Tämä mahdollistaa sujuvan työnkulun sekä tarvittavan tiedon jakamisen ihmis-

ten ja järjestelmien välillä. Esimerkiksi asentajille järjestelmä on todella hyvä työkalu, sillä kartta-pohjaisesta palvelusta saadaan selville jakeluverkon komponentit, käyttöpaikkojen tiedot ja sijainnit sekä työtehtävien tiedot. Aidon Onessa täytetyn työmääräimen tiedot siirtyvät integraatorajapinnan kautta luenta- ja asiakastietojärjestelmään. (8.)

OSSV:llä Aidon One on käytössä ja se on todettu erittäin tärkeäksi työkaluksi mittarointitöissä. Palvelu helpottaa kentällä työskentelevän asentajan tehtävien navigointia ja siitä saadaan myös selville käyttöpaikat, joissa mittalaitteen etäyhteys luenta- ja asiakastietojärjestelmään keskeytyy tai on heikko. Lisäksi palvelu mahdollistaa työmääräimien täytön reaaliaikaisesti työkohteessa. Esimerkiksi uuden mittalaitteen asennustilanteessa asentaja täyttää heti asennuksen jälkeen työmääräimen älylaitteella. Työmääräimen täytön jälkeen käyttöpaikalle lisätty mittalaite päivittyy integraatorajapinnan kautta luenta- ja asiakastietojärjestelmään. (8.)

3 MITTAREILLA TUOTETUT PALVELUT

Ensimmäisen sukupolven AMR-mittareilla voidaan jo kattavasti tuottaa asiakkaalle mittausdataan liittyviä palveluita, ja ne ovat tärkeä osa älykästä sähköverkkoa. Vaikka mittalaitteiden tärkein tehtävä on mitata sähköenergian kulutusta ja tuotantoa, niiden mittaamaa dataa voidaan hyödyntää usealla eri tavalla. Mittalaitteilla tuotettuja palveluita ovat esimerkiksi sähköenergian mittaustietoihin perustuvat hälytykset, kuormanohjaukset sekä vikadiagnostiikka.

3.1 Kuormanohjaus

Kuormanohjauksen tarkoitus on pyrkiä kytkemään paljon sähköä kuluttavia kuormia pois epäedulliseen aikaan. Esimerkkejä tällaisista kuormista ovat varaava sähkölämmitys ja lämminvesivaraaja. Sähkömittarin energiankulutuslukemat toimitetaan luentajärjestelmään aikajaksossa, joten mittalaitteessa on reaaliajassa oleva sisäinen kello. Mittarissa itsessään oleva kuormanohjausreleen kytkin sulkeutuu ja avautuu siis ennalta ohjelmoidun aikataulun mukaisesti. Kuormanohjaustoiminnallisuuden avulla voidaan esimerkiksi ohjata asiakkaan kuormia yöajalle, jolloin sähkön hinta on edullisempi kuin päivisin. OSSV tarjoaa asiakkaalle kuorman ohjaamiseen yösähköohjauksen, jolloin kuormanohjauskomento annetaan satunnaisviiveellä klo 22–23 ja ohjataan pois klo 07. Lisäksi kuormanohjauksella voidaan vähentää sähköverkon kulutuspiikkejä, kun asiakkaiden laitteet eivät kytkeydy yhtäaikaisesti päälle, jolloin niiden äkillinen kuormanmuutos ei rasita sähköverkkoa.

Kiinteistöissä, joissa on varaava sähkölämmitys ja ehkä myös sähköllä lämпиävä vesivaraaja, on todennäköisesti käytössä yösähköohjaus. Perusasetuksella käytössä oleva yösähköohjaus toimii klo 22–07. Lisäksi OSSV on asiakkailleen tarjonnut vaihtoehtoisen yösähköohjauksen, joka ohjaa kuormia edullisemmille aamuyön tunneille. Tästä hyötyvät erityisesti pörssihinnalla energiaa ostavat asiakkaat. Vaihtoehtoisessa yösähköohjauksessa kuormanohjauskomennot annetaan klo 01–07. (9.)

3.2 Tekstiviestipalvelut

Mittalaitteet valvovat pienjänniteverkon kuntoa ja laatua. Laitteelta voidaan halutessa saada reaaliaikaisia hälytyksiä pienjänniteverkon tilasta. Aktiivisesti diagnosoivista laitteista hälytys välittyy luentajärjestelmän kautta käytöntukijärjestelmään, jossa hälytystiedot näytetään. Joissakin hälytyksissä on myös mahdollista määrittää automaattinen katkaisu eli sähkökatkaistaan laitteen kytkentälaitteella hälytysehtojen täytyessä automaattisesti. OSSV tarjoaa asiakkailleen palvelun, jonka avulla asiakas saa tietyistä hälytyksistä tekstiviestin. Hälytysehtojen täytyttyä luentajärjestelmä rekisteröi hälytyksen ja integraatioalusta lähettää käyttöpaikan asiakkaalle tekstiviestin hälytyksestä.

3.2.1 Pääsulakkeen palovaara

Mittalaitteen kyky tunnistaa sähköverkon vikoja perustuu laitteen vaihekohtaisten virtojen ja jännitteiden mittausominaisuuteen. Pääsulakkeen palovaara on yksi OSSV:n käytössä olevista pienjänniteverkon hälytyksistä, joka lähettää asiakkaalle tekstiviestin. Hälytys on käytössä 63 A liittymäkoon asti. Hälytys perustuu Aidon PIHA-tuotteiden FFU (Fast Fuse) eli nopean sulakkeen havaitsemisalgoritmiin. Hälytys havaitaan, mikäli vaihekohtaisen virran raja-arvo ylitetään ja se täyttää aikarajan. Virran raja-arvona käytetään kulutuskohteen pääsulakekoon 180 %:n ylitystä ja tämän jatkuessa yli 30 sekuntia hälytys lähetetään. Integraation kautta hälytystieto siirtyy luentajärjestelmästä integraatioalustalle ja asiakkaalle lähetetään tekstiviesti pääsulakkeen palovaarasta. (10.)

Tämä tekstiviestihälytys on todettu toimivaksi ratkaisuksi, sillä esimerkiksi sähköautonlataus lisää liittymien kuormitusta ja pääsulake ei välttämättä riitä ilman vuorottelua. Tekstiviestin avulla on mahdollista, että asiakas huomaa liiallisen kulutuksen ja voi estää sulakkeen palamisen.

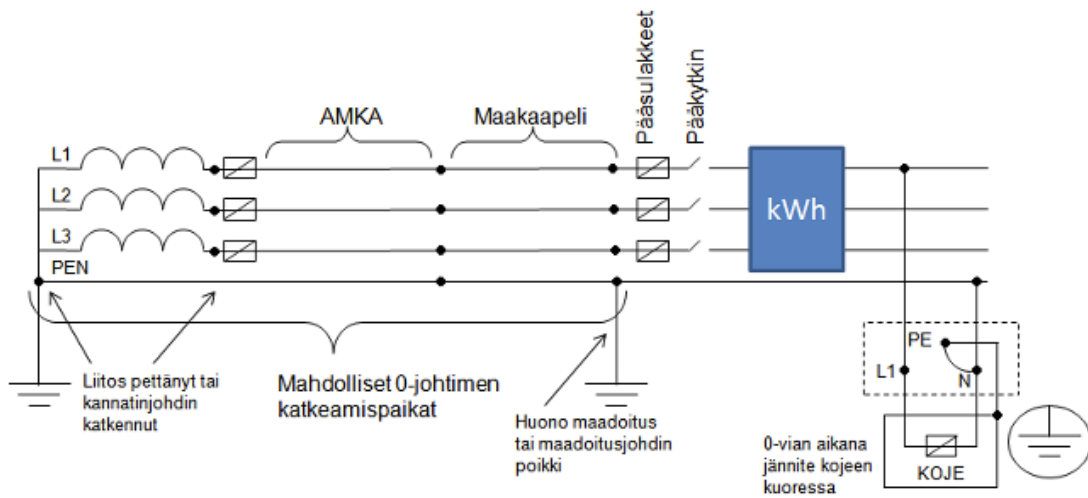
3.2.2 Pääsulakepalo

Mittalaitteen yhden tai kahden vaihejännitteen katoamisesta tulleesta hälytyksestä voidaan päätellä mahdollinen sulakepalo. Vaihejännitteen ollessa alle 69 V mittalaite antaa 600 sekunnin viiveellä hälytyksen luentajärjestelmään. Raja-arvo on asetettu niin alhaiseksi, että esimerkiksi keskijännitejohtimen katkeamistapauksissa ei saada vääriä hälytyksiä. Raja-arvoa ei ole kuitenkaan asetettu nollassa, koska muista vaiheista voi indusoitua pieni jännite johtimeen, josta sulake on palanut. (6, s. 25.)

Integraatioalustalla hälytyksen tila tarkastetaan saman muuntopiirin muiden mittalaitteiden osalta, jotta saadaan tieto vian sijainnista. Mikäli samassa muuntopiirissä on muitakin vaihekatkoja, se voi johtua verkossa ilmenneestä viasta, esimerkiksi muuntajan tai jakokaapin sulakkeen palosta. Tällöin asiakkaalle lähtevässä tekstiviestissä ilmoitetaan vian olevan jakeluverkossa. Jos vaihekatkoja ei muualla ole, saa asiakas tekstiviestin mahdollisesta oman sähkölaitteiston pääsulakepalosta.

3.2.3 Nollavika

Nollaviaksi kutsutaan tilannetta, jossa yhdistetty suojamaadoitus- ja nollajohtin (PEN) katkeaa. Nollavian tyypillinen aiheuttaja on riippukierrehjon (AMKA) päälle kaatunut puu, joka katkaisee siinä kannatinlankana toimivan eristeettömän nollajohtimen. Nollavika voi syntyä myös maakaapeliverkossa esimerkiksi johdon liittimen huonon kontaktin vuoksi. Esimerkkejä nollajohtimen mahdollisista katkeamispaikoista esitetään kuvassa 5.



KUVA 5. Nollajohtimen mahdolliset katkeamispaikat sekä kuvaus TN-C järjestelmästä (6, s. 21)

Nollavian vakavuus riippuu vikapaikan takana olevan kiinteistön maadoituksesta. Maadoituksen ollessa kunnossa ei nollavika välttämättä näy asiakkaalla millään tavalla. Nollajohtimen vikavirralla on tällöin muuntajan maadoituksen lisäksi muu yhteys maahan. Maadoituksen ollessa puutteellinen tilanne voi olla hengenvaarallinen, sillä se voi aiheuttaa vaarallisen kosketusjännitteen. (6, s. 20.)

Mittalaitte havaitsee nollavian jännite-epäsymmetrian perusteella. Jos mittalaitteelle tulevasta kolmesta vaiheesta vähintään yhdessä on ylijännite ja vähintään yhdessä alijännite, nollajohtimen katkeaminen havaitaan. Nykyisin käytössä olevassa Aidonin pienjänniteverkon valvontapalvelussa alijännitteen raja on 218 V ja ylijännitteen 264 V. Mittalaitte lähettää nollaviasta aiheutuneen hälytyksen integraatioalustalle, ja sitä kautta asiakkaalle lähetetään tekstiviesti mahdollisesta nollaviasta. (10.)

3.2.4 Muuttunut kulutus

OSSV tarjoaa asiakkailleen palvelun, jossa asiakas saa tekstiviestin oman käyttöpaikkansa kulutuksen muutoksesta. Käyttöpaikan kulutuslukemia tarkastellaan mittaustiedon hallintajärjestelmässä, jossa muutokset havaitaan. Kulutuslukemaa verrataan edellisen seitsemän vuorokauden keskiarvoon. Kulutuksen alarajana käytetään 40:ää kWh. Alaraja tarkoittaa, että vertailtavan päivän kulutuksen tulee olla vähintään 40 kWh. Muuttuneen kulutuksen raja-arvon kerroin on 10 eli kulutuksen täytyy muuttua yli kymmenkertaiseksi, jotta hälytyssehto täyttyy. Hälytyssehtojen täytyttyä asiakkaalle lähetetään tekstiviesti kulutuksen muutoksesta. (11.)

Kulutuksen muutos voi viitata sähkölämmitystehon lisääntymiseen, joka voi johtua esimerkiksi vapaa-ajan kohteen ikkunan rikkoutumisesta. Tekstiviestihälytyksen ansiosta asiakas voi säästyä mm. vesijohtoputkien jäätymiseltä. Lämmityslaitteen vikaantuminen voi myös aiheuttaa kulutukseen muutoksen.

4 AMR 2.0 -MITTAUSJÄRJESTELMÄN OMINAISUUKSIA

AMR 2.0 on Valtioneuvoston asetuksen 767/2021 vaatimuksien mukainen seuraavan sukupolven älykäs mittausjärjestelmä. Asetuksen asettamat uudet vaatimukset perustuvat nykyiseen energiamurrokseen, jossa sähkön tuotantorakenne muuttuu uusiutuvien energiamuotojen lisääntymisen ja markkinoilta poistuvien helposti säädettävien fossiilisten tuotantomuotojen takia. Merkittävimmät asetuksen vaatimat muutokset ovat varttimittaukseen siirtyminen, asiakasrajapinta eli HAN-portti sekä pakolliseksi ominaisuudeksi tuleva kuormanohjaus.

4.1 Varttimittaus

Sään mukaan vaihtelevan sähköntuotannon lisääntyminen sekä perinteisen säätökykyisen tuotannon vähentyminen tekee sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottamisesta haastavaa. Sähköä pitää kuitenkin tuottaa joka hetki sama määrä kuin sitä kulutetaan. Aiemmin tehotasapainoa on ylläpidetty tunnin aikajaksoissa, mutta edellä mainittujen syiden vuoksi se on nykypäivänä liian pitkä aikajakso. Ratkaisu tähän haasteeseen on siirtyminen malliin, jossa sähköjärjestelmän tehotasapainoa tarkastellaan 15 minuutin aikajaksoissa. Sähkömarkkinaosapuolet voivat suunnitella tuotantonsa ja kulutuksensa sekä käydä kauppaa 15 minuutin tarkkuudella. Lyhyempään 15 minuutin tarkkuuteen siirtymisen ansiosta sähköjärjestelmää voidaan hallita entistä markkinaehtoisemmin ja kustannustehokkaammin, sekä sen tehokkuus paranee. (12.)

Varttitaseella tarkoitetaan 15 minuutin taseselvitysjaksoa. Sähköenergian käyttöhetken jälkeen tehtävässä taseselvityksessä selviää sähkömarkkinoilla toimivien osapuolten väliset sähkön toimitukset. Sähkötaseella tarkoitetaan sähkön tuotannon, kulutuksen, hankinnan ja myynnin tasapainoa. Fingrid vastaa Suomen hetkellisen tehotasapainon ylläpidosta sekä valtakunnallisesta taseselvityksestä. Suomessa varttitaseeseen siirryttiin 22.5.2023.

15 minuutin tasapainotus ja kaupankäyntijakso edellyttää siirtymistä 15 minuutin tarkkuuteen myös sähköenergian mittauksessa, jotta toteutunut sähköntoimitus ja kustannukset saadaan selvitettyä taseselvityksessä. Varttimittauksessa sähkön määrää mitataan 15 minuutin jaksoissa ja tämä mitaustieto rekisteröidään mittauslaitteiston muistiin siten, että tunnin ensimmäinen 15 minuutin jakso alkaa tasatunnin alusta. 15 minuutin sarjaan etänä päivitettävät laitteet on päivitetty varttisarjaan

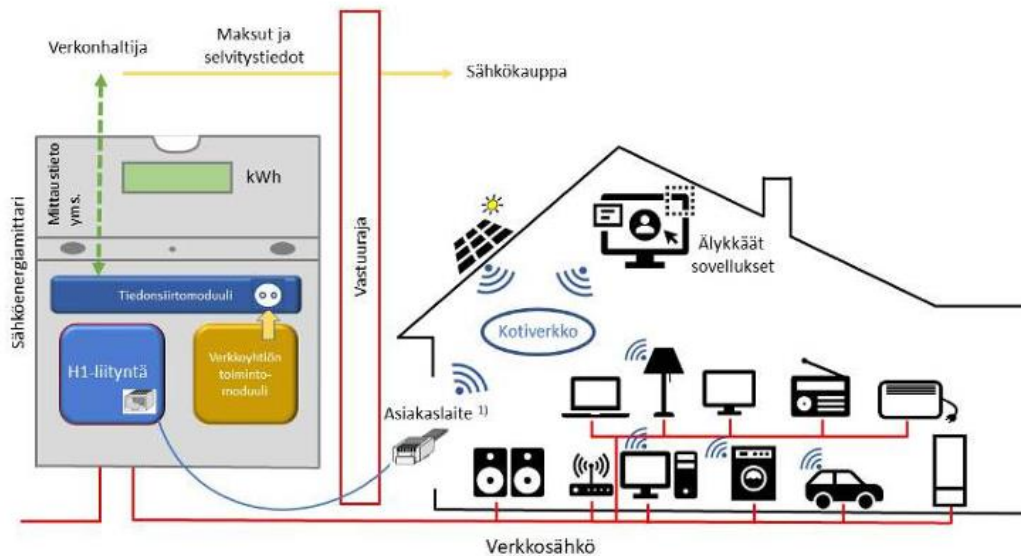
viimeistään 22.5.2023 ainoastaan erityistapauksia lukuun ottamatta. Varttimittaukseen kykenevät vanhan sukupolven mittalaitteet on korvattava uuden sukupolven AMR 2.0 mittalaitteilla 4.7.2031 mennessä (1, 8 luku 5 §). Mittalaitteet, jotka eivät ole päivitettävissä varttisarjaan ja toimittavat kulutuslukemat tunnin jaksoissa, on poistettava kentältä 31.12.2028 mennessä (1, 7 luku 3 §).

4.2 Asiakasrajapinta eli HAN-portti

Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta 767/2021 uuden etämittauslaitteiston toiminnallisissa vaatimuksissa sähköverkossa mainitaan, että muussa kuin jännitemuuntajamittauslaitteistossa täytyy olla jänniteulostulolla varustettu asiakasrajapinta, joka mahdollistaa yksisuuntaisen tiedonsiirron loppukäyttäjälle. Rajapinta perustuu avoimeen ja päivitettävään eurooppalaiseen standardiin. (1, 6 luku 5 §.)

RJ12-liittimen välityksellä asiakasrajapinnasta on saatavilla ASCII-merkkimuotoisella tiedonsiirtotavalla sähköverkosta otetun ja sähköverkkoon syötetyn pätötehon, loistehon, virran ja jännitteen tehollisarvot vaihekohtaisesti 10 sekunnin välein tai tiheämmin. Rajapinnasta on saatavilla myös mittauslaitteiston kumulatiivinen kulutuslukema minuutin välein tai tiheämmin. (1, 6 luku 5 §.) Liitäntä mahdollistaa nämä mittalaitteesta saatavat tiedot asiakkaan omaan käyttöön. Kuvassa 6 kuvataan yleisesti asiakasrajapinnan toimintoja.

Uuden sukupolven mittalaitteissa tämä asiakasrajapinta toteutetaan HAN-portilla (engl. Home Area Network). HAN-portti on siis RJ12-liitin, jonka kautta asiakkaalla on mahdollisuus saada mittalaitteelta käyttöpaikkansa sähköön kulutukseen liittyvää dataa omaan käyttöönsä. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi älykodin kuormituksen ohjaukseen tai energian käytön seurantaan. Asiakkaan täytyy vain hankkia tiedon luentaan sopiva erillinen laite, jonka avulla mittalaitteesta saadaan kerättyä tietoa. Asiakas voi itse kytkeä ja irrottaa laitteensa mittalaitteesta. Asiakkaan täytyy huomioida, että rajapinnasta saatua dataa ei voi käyttää laskutuksen perusteena, sillä näille kulutustiedoille ei ole tehty verkonhaltijan laaduntarkastuksia.



KUVA 6. Yleiskuvaus asiakasrajapinta toiminnosta (13)

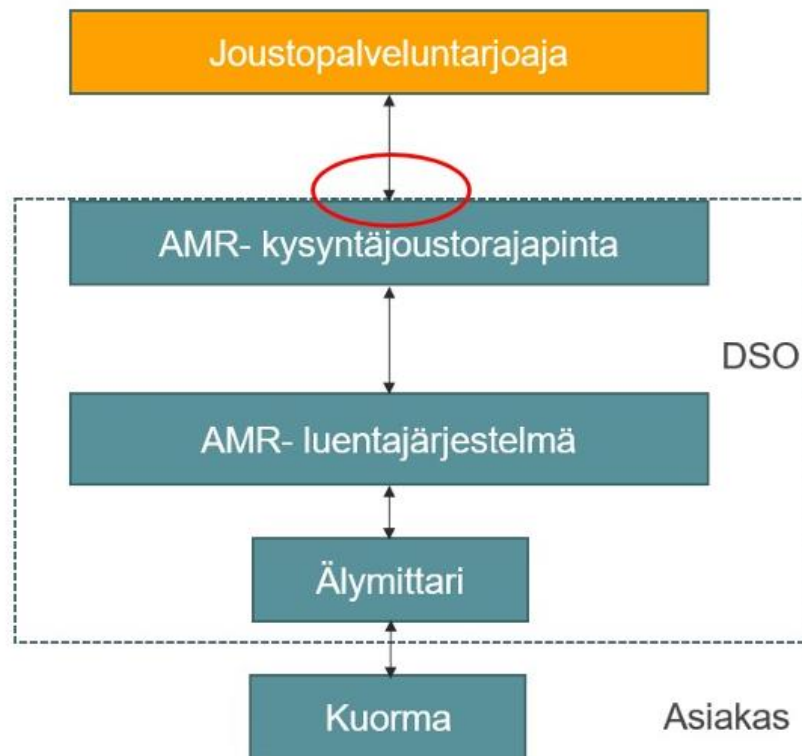
Verkonhaltija aktivoi rajapinnan loppukäyttäjän pyynnöstä. Liitännän kautta tietoa voidaan lähettää ainoastaan mittarista ulos eli se on yksisuuntaista. Tietojen lähettäminen mittalaitteeseen rajapinnan kautta ei saa olla mahdollista, jottei millään tavoin vaikuteta mittausyksikköön. (13.)

4.3 Kuormanohjausrajapinta

Valtioneuvoston asetus määrää kuormanohjaustoiminnallisuuden pakolliseksi ominaisuudeksi uuden sukupolven mittalaitteessa pois lukien käyttöpaikat, jotka sijaitsevat yli 3 x 63 ampeerin pääsulakkeella varustetussa sähkölaitteistossa, tai jos käyttöpaikka sijaitsee yli kahden asunnon asuinrakennuksessa tai teollisuus-, varasto-, liike- tai toimistorakennuksessa (1, 6 luku 6 §). OSSV:llä kuormanohjausreleen toiminta-aika perustuu ainoastaan yöohjaukseen, mutta mitä jos jatkossa asiakas tai sähkönmyyjä voisi muokata kuormanohjausreleen toiminta-aikoja?

Pakolliseksi ominaisuudeksi tuleva kuormanohjaustoiminnallisuus mahdollistaa sen, että sähkönmyyjä tai joku muu joustopalveluntarjoaja voisi hyödyntää verkkoyhtiön mittalaitteessa olevaa kuormanohjausrelettä. Tällöin kuormanohjaukseen täytyisi luoda rajapinta, jotta joku muu toimija kuin verkkoyhtiö voisi ohjata relettä (kuva 7). Joustopalveluntarjoaja voisi hyödyntää kuormanohjausta osana tasehallinnan ja sähkönmynnin optimointia. Lisäksi kuormanohjausmahdollisuutta voisi hyödyntää osana uusia vähittäismarkkinatuotteita tai osana eri sähkömarkkinoiden kaupankäyntiä. Pienasiakkaiden tapauksessa vähittäismarkkinatuotteet ovat varmasti yleisin kuormanohjauksen

muoto. Näillä ohjaukset voitaisiin tehdä esimerkiksi perustuen spot-hintaan, uusiutuvan energian tuotantoon, energiansäästötavoitteisiin tai hinnan optimointiin. (14.)



KUVA 7. Rajaus markkinatoimijan (sähkönmyyjä tai muu joustopalveluntarjoaja) ja verkkoyhtiön väliseen kuormanohjaukseen käytettävästä rajapinnasta (14)

Empowerin luomassa Kuormanohjausrajapinnan määrittely -raportissa määritellään mahdollista rajapintaa joustopalveluntarjoajia varten. Asiakkaan kuormanohjauksen kannalta on tärkeää pysyä selvillä siitä, millä taholla on oikeus ohjata asiakkaan kuormia. Kuormanohjaus tarvitsisi oman erillisen sopimuksen, jossa palveluntarjoajan kanssa sovitaan kuormanohjauksen toteuttamisen rajoituksista sekä mahdollisista hyvyksistä. Lisäksi voi tulla virhetilanteita, joissa kuormanohjausko-mento ei jostain syystä toteudu, ja sen vuoksi yön jälkeen ei tulekaan lämmintä vettä hanasta. Näissä tilanteissa täytyy määritellä, kuka on vastuussa, ja verkkoyhtiön sekä palveluntarjoajan tulisi määritellä yhteinen toimintatapa virheen selvittämiseksi. Raportissa määritetään, että verkkoyhtiön vastuulla olisi palveluntarjoajan pyyntöjen toteuttaminen mittalaitteen releelle asti. Kuormanohjaus-rajapinnan toteutukseen liittyy vielä avoimia asioita ja aikataulu sen toteutukselle on vielä avoin. Uuden sukupolven mittalaitteiden asennusaikataulut määrittävät sen, milloin kullakin verkkoyhtiöllä kuormanohjausreleet ovat käytettävissä. (14.)

IoT-tekniikat mahdollistavat myös mittalaitteiden tiedonsiirron. LTE-M (engl. Long-Term Evolution Machine Type Communication) ja NB-IoT (engl. Narrow Band IoT) ovat erityisesti IoT-tiedonsiirtoon kehitettyjä mobiiliverkkopohjaisia tekniikoita, joiden operoinnista vastaavat teleoperaattorit. LTE-M- ja NB-IoT-mobiilitekniikat on optimoitu laitteiden väliseen (M2M) tiedonsiirtoon sekä sen vaatimalle datamäärälle. Nämä tekniikat mahdollistavat luotettavan ja kustannustehokkaan tiedonsiirron älykkääseen mittausjärjestelmään ja myös moniin muihin IoT-käyttötapauksiin. (16.)

NB-IoT soveltuu pienempien datamäärien siirtoon (250 kbps) ja se on optimaalinen sensoreiden tuottamalle mittausdatalle. NB-IoT sopii erityisesti harvoin dataa lähettäviin ja paikallaan oleviin laitteisiin, joiden akkujen tulee kestää vuosia. NB-IoT-yhteys on lepotilassa, kun sitä ei käytetä, eli sen merkittävin hyöty on energiatehokkuus. Tekniikka mahdollistaa myös erinomaisen kuuluvuuden, joten se on hyvä ratkaisu esimerkiksi harvaan asutuilla asuinalueilla ja sisätiloissa. Yksinkertaisen rakenteen ja matalan tiedonsiirtokapasiteetin ansiosta NB-IoT-verkkoon voi kytkeytyä paikallisesti suuria määriä laitteita sekä antureita. (17.)

LTE-M-tekniikka mahdollistaa suuremman datansiirtokyvyn (1 Mbps) lyhyemmässä ajassa. Se soveltuu sellaisille reaaliaikaisille sovelluksille, jotka vaativat ajoittain korkeampaa kapasiteettia. Se soveltuu myös liikkuviin laitteisiin eli mahdollistaa mobiiliteetin. (17.)

Uuden sukupolven mittalaitteissa mobiiliyhteyden muodostamiseen käytetyn SIM-kortin (engl. Subscriber Identity Module) lisäksi on saatu elektroninen vaihtoehto eli eSIM. Se on laitteeseen sisäänrakennettu piiri, jonka avulla saavutetaan operaattoririippumattomat yhteydet. eSIM-ratkaisua käyttävät mittalaitteet voidaan siirtää toisen operaattorin palvelun piiriin ilman fyysisesti tehtävää SIM-kortin vaihtoa. Tämän avulla saadaan varmistettua tarvittava palvelutaso sekä myös kustannustaso saadaan pidettyä kilpailukykyisenä. (18; 19, s. 25.)

5 SIIRTYMINEN AMR 2.0 -JÄRJESTELMÄÄN

Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta vaatii verkkoyhtiöiden mittausjärjestelmiltä muutoksia. Mittausjärjestelmän päivitys ja mittalaitteiden massavaihto on jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta mittava investointi ja siihen kannattaa panostaa kunnolla. Mittalaitteiden pitkän elinkaaren vuoksi täytyy katsoa pitkälle tulevaisuuteen miettiessä ratkaisuja mittausjärjestelmään ja mittalaitteiden teknisiin ominaisuuksiin. OSSV:ssa on päätetty, että mittalaitteiden ominaisuuksiin halutaan panostaa ja asiakkaille halutaan tarjota laadukkaita palveluita tulevaisuudessaakin. Paljon asioita tulee ottaa huomioon jo laitetoimittajan valintavaiheessa.

Vanhan sukupolven tuntimittarit on poistettava kentältä vuoden 2028 loppuun mennessä. Vuoteen 2031 mennessä kentältä täytyy poistaa laitteet, jotka ovat päivitettävissä varttimittaukseen, mutta eivät ole AMR 2.0-vaatimuksien mukaisia. OSSV on päättänyt, että vaikka varttimittareilla olisi aikaa vuoteen 2031 asti, kannattaa nekin korvata uuden sukupolven AMR 2.0-mittalaitteilla samalla, kun tuntimittareiden massavaihto toteutetaan. Eli koko mittarikanta vaihdetaan suoraan mittausasetuksen vaatimusten mukaiseksi. (1.)

5.1 Mittalaittehankinnan kilpailutus

Mittalaittehankinnan kilpailutuksen tavoitteena on suorittaa mittausasetuksen mukaisten uuden sukupolven mittalaitteiden ja niihin liittyvien mittauspalvelujen julkinen hankinta. Aiheesta toteutetaan julkinen hankinta, jossa valitaan toimittaja uusille mittalaitteille ja niihin liittyville mittauspalveluille. Julkiset hankinnat ovat sellaisia tavara-, palvelu- ja rakennusurakkahankintoja, joita valtio, valtion liikelaitokset, kunnat ja kuntayhtymät sekä muut hankintalainsäädännössä määritetyt hankintayksiköt tekevät oman organisaationsa ulkopuolelta. (20.)

Julkisen hankinnan hankintailmoitusta täydentää tarjouspyyntö, jonka tarkoituksena on kuvata hankinnan kohde sekä pyytää toimittajia esittämään tarjouksensa määräaikaan mennessä. Tarjouspyynnössä ilmoitetaan ne tiedot, joilla on olennainen merkitys hankintamenettelyssä ja tarjouksen tekemisessä. (21.)

Yksi tarjouspyyntöön liitettävistä hankinta-asiakirjoista on vaatimusmäärittely. Vaatimusmäärittely on dokumentaatio, johon kirjataan ominaisuuksia, joita hankittavalta kokonaisuudelta halutaan. Se sisältää tiedot hankittavalta kokonaisuudelta edellytetyistä vaatimuksista sellaisella tasolla kuin hankintayksikkö pystyy ne siinä vaiheessa tunnistamaan. Dokumentaation pohjalta toimittaja saa selville, millaista ratkaisua ollaan hankkimassa ja samalla selviää, onko toimittaja tosiasiallisesti kykenevä tarjoamaan sellaisen ratkaisun, joka täyttää dokumentissa esitetyt vähimmäisvaatimukset.

Mittalaitehankintaan liittyvässä vaatimusmäärittelyssä esitetään mittalaitteiden tekniset vaatimukset sekä niihin liittyvien palveluiden vaatimukset. Määrittelyssä esitetyt vaatimukset jaotellaan sillä perusteella, että onko vaatimus pakollinen vai optio. Pakollinen vaatimus on toiminnallisuus tai muu ominaisuus, joka hankinnan kohteen tulee täyttää. Optio on taas pyydetty toiminnallisuus tai ominaisuus, jonka tarjoaja voi sisällyttää tarjoukseensa, mutta sen lunastamisesta päättävät tilaajat. Tarjoaja vastaa vaatimusmäärittelyn vaatimuksiin sillä perusteella, täyttääkö hankinnan kohde vaatimukset. Vastausvaihtoehdot ovat kyllä, osittain ja ei. Osittain tarkoittaa sitä, että vaatimus täyttyy olennaisin osin tai sille on vaihtoehtoinen toteutustapa, jolla saadaan sama toiminnallisuus.

OSSV:n mittalaitehankinnan kilpailutus on tällä hetkellä käynnissä ja sen odotetaan valmistuvan vuoden 2024 aikana.

5.2 Massavaihto

OSSV:n tapauksessa kaikille 33 000 sähkönkäyttöpaikalle toteutetaan mittalaitteen vaihto. Massavaihto on laaja projekti ja sen onnistuneeseen läpivientiin tarvitaan hyvin tehty suunnitelma sekä selkeä projektinhallinta. OSSV:n suunniteltu massavaihto tapahtuu alueittain vuosien 2026–2027 aikana. Massavaihdon aikatauluun voi myös vaikuttaa 2G-tietoliikenneverkkojen alasajo. Nykyiset P2P-yhteydellä kommunikoivat laitteet käyttävät juuri näitä verkkoja. Suomessa toimivat teleoperaattorit ovat ilmoittaneet 3G-verkkojen sulkemisesta vuosien 2023 ja 2024 aikana. Nykyisen mittalaittekannan osalta tämä ei ole ongelma, sillä laite voi vaihtoehtoisesti käyttää 2G-verkkoa eikä sen sulkemisesta ei ainakaan vielä ole informoitu. Mikäli 2G-verkko suljettaisiin, OSSV:n P2P-kommunikaatiotapaa käyttävät laitteet tulisi korvata uusilla. Mikäli 2G-verkko säilyy vuoteen 2028 asti, se ei tuota massavaihdon aikatauluun muutoksia.

6 POHDINTA

Energiamurros sekä sähköenergian tuotantorakenteen muuttuminen asettaa uusia vaatimuksia Suomen sähköjärjestelmälle. Tuotannon siirtyminen helposti säädettävistä fossiilisista tuotantomuodoista säästä riippuviin tuotantomuotoihin on osa vihreää siirtymää ja keino hillitä ilmastonmuutosta. Tämä tarkoittaa kuitenkin sitä, että sähköntuotannon ja kulutuksen tehotasapainon ylläpitäminen muuttuu haastavaksi ja vaikeasti ennustettavaksi. Näiden ongelmien vuoksi nykyinen sähköjärjestelmä vaatii muutoksia.

Verkkoyhtiön mittausjärjestelmän ominaisuuksia ja palveluita voidaan hyödyntää osana älykästä sähköverkkoa. Mittalaitteiden teknisten ominaisuuksien kehittyminen mahdollistaa sähköverkon laadun tarkempaa seuranta ja tehokkaampaa käyttöä sekä lisää asiakaspalvelun laatua. 15 minuutin taseselvitysjaksoon siirtyminen helpottaa sähköntuotannon tehotasapainon ylläpitämistä. Paikallinen asiakasrajapinta mahdollistaa asiakkaalle oman sähkönkäytön seurannan, ja heillä tulee myös olemaan paremmat mahdollisuudet vaikuttaa oman sähköenergian kulutuksen kustannuksiin.

OSSV:n nykyinen hyvin toimiva mittausjärjestelmä ja sillä tuotetut palvelut halutaan ylläpitää myös uuden sukupolven AMR 2.0 -järjestelmässä. Lisäksi uuden mittausjärjestelmän tuomia uusia ominaisuuksia ja mahdollisia uusia asiakkaille tarjottuja palveluita pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Uuden sukupolven mittalaitteiden keräämän datan lisääntyessä vaaditaan toimivaa ja riittävän kapasiteetin omaavaa tiedonsiirtoa. Mittaustiedon siirtämisen täytyy olla sujuvaa ja integraatioiden tulee toimia saumattomasti.

Tämä opinnäytetyö mahdollisti tarkemman syventymisen verkkoyhtiön mittausjärjestelmään ja sen ominaisuuksiin. Työn vuoksi karttunut osaaminen verkkoyhtiön mittausjärjestelmästä kasvoi tämän työn ansiosta ja sähköenergian kulutukseen liittyvän datan siirtyminen eri järjestelmien välillä tuli erittäin tutuksi. Työn avulla sain mittalaitteiden teknisiin ominaisuuksiin liittyvää osaamista, joka tulee varmasti olemaan arvokasta tulevaisuuden työelämässä.

Haluaisinkin kiittää OSSV:tä mahdollisuudesta sekä mielenkiintoisesta toimeksiannosta. Erityiskiitos kuuluu Heikki Kurjelle ja Tatu Kuroselle työni ohjaamisesta ja kaikesta avusta siinä. Lisäksi haluan kiittää myös Timo Patanaa tämän työn mahdollistamisesta.

LÄHTEET

1. Valtioneuvoston asetus sähköntoimitusten selvityksestä ja mittauksesta VN 767/2021. Hakupäivä 16.10.2023. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210767>.
2. Oulun Seudun Sähkö. Tietoa Oulun Seudun Sähköstä. Hakupäivä 16.10.2023. <https://www.oulunseudunsahko.fi/yritys/oulun-seudun-sahko/tietoa-oulun-seudun-sahkosta.html>.
3. OSSV. Uuden työntekijän perehdytysmateriaali. Sisäinen lähde.
4. Sähkömarkkinalaki 588/2013. Hakupäivä 16.10.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>.
5. Aidon Oy. AMR-topologian vaihtoehdot. Sisäinen lähde.
6. Kuronen, Tatu 2012. Asiakaspalvelun ja vianhoidon kehittäminen. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 16.10.2023. <https://www.theseus.fi/handle/10024/45205>.
7. OSSV 2023. OSS luentajärjestelmä_2023. Sisäinen lähde.
8. Aidon Oy. Aidon One. Kenttätyöprosessien hallintaratkaisu. Hakupäivä 22.10.2023. <https://aidon.com/fi/ratkaisut/aidon-one/>.
9. Oulun Seudun Sähkö. Vaihtoehtoinen yösähköohjaus. Hakupäivä 16.10.2023. <https://www.oulunseudunsahko.fi/sahkoverkko/vaihtoehtoinen-yosahkoohjaus.html>.
10. Aidon Oy. PIHA-parametrit. Sisäinen lähde.
11. Kuronen, Tatu 2023. Kunnossapitopäällikkö. Oulun Seudun Sähkö Verkkopalvelut Oy. Haastattelu 15.11.2023.

12. Fingrid Oyj. Varttitase eli 15 minuutin taseselvitysjakso. Hakupäivä 26.10.2023. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/pohjoismainen-tasehalinta/varttitase/>.
13. SESKO. SK 13-1:2022. Suositus sähköenergiamittareiden paikallista asiakasrajapintaa varten. Hakupäivä 30.10.2023. https://sesko.fi/wp-content/uploads/2022/12/Suositus-SK-13-1_H1-asiakasrajapinta-suomenkielinen_2022-12-13.pdf.
14. Empower IM Oy 2020. Kuormanohjausrajapinnan määrittely. Raportti. Sähkötutkimuspoolin julkaisu 24.10.2018. Hakupäivä 10.11.2023. https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/Kuormanohjausrajapinta_loppuraportti.pdf.
15. Pösö, Katri 2022. IoT ja sen teollisuuteen tarjoamat liiketoimintamahdollisuudet. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 11.11.2023. <https://www.theseus.fi/handle/10024/780773>.
16. Landis&Gyr 2020. NB-IoT ja LTE-M-tekniikoiden hyödyt etäluennassa. Hakupäivä 10.11.2023. <https://eu.landisgyr.com/blog-fi/nb-iot-ja-lte-m-tekniikoiden-hyodyt-etaluennassa>.
17. Dna. Iot-tekniikat. Hakupäivä 11.11.2023. <https://www.dna.fi/yrityksille/iot/iot-tekniikat>.
18. Aidon Oy. IoT-laiteyhteydet. Hakupäivä 11.11.2023. <https://aidon.com/fi/ratkaisut/iot-laiteyhteydet/>.
19. Lehminiemi, Arttu 2022. Uuden sukupolven sähkömittauslaitteet Elenia Oy:n verkossa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 8.11.2023. <https://www.theseus.fi/handle/10024/754367>.

20. Työ- ja elinkeinoministeriö. Julkiset hankinnat. Hakupäivä 15.11.2023. <https://tem.fi/julkiset-hankinnat>.

21. Julkisten hankintojen neuvontayksikkö. Tarjouspyyntö. Hakupäivä 15.11.2023. <https://www.hankinnat.fi/kansallinen-hankinta/tarjouspyynto>.