

Opinnäytetyö AMK

Tieto- ja viestintäteknikka

2020

Ville Virtanen

# LANGATTOMAN AMR-VERKON ETÄHALLINTA JA -LUENTA



Ville Virtanen

## LANGATTOMAN AMR-VERKON ETÄHALLINTA JA -LUENTA

Tulevaisuudessa huoneistokohtainen vedenmittaus tulee olemaan yhä suuremmissa roolissa muuttuvan energiatehokkuusdirektiivin seurauksena. Huoneistokohtainen vedenmittaus toteutetaan kohteeseen asennettavan erillisen järjestelmän avulla ja lukemia hallitaan erillisen AMR-verkon välityksellä. Työn tavoitteena oli tutkia mahdollisuutta kehittää vedenmittausjärjestelmän AMR-verkon hallintaa ja luenta. Työssä käytiin läpi AMR-verkon etähallintaan ja -luentaan soveltuvia komponentteja ja ominaisuuksia.

Ensimmäinen tutkimus liittyi laitteeseen, jolla Siemensin langattomaan vedenmittausjärjestelmään oli mahdollista päästä kytkeytymään etätyöpöydän tavoin. Sen tarkoituksena oli helpottaa kohteissa tehtäviä huoltoja rikkoutuneiden vesimittareiden vaihdon yhteydessä ja säästää asiakkaan kustannuksia erityisesti matkakustannuksissa. Tutkimuksessa tutkittiin mahdollisen komponentin soveltuvuuksia toimia yhtenä AMR-verkon jäsenenä, jonka tehtävänä oli hoitaa verkon tilan muutos uuden mittarin konfigurointia varten. Teknisesti salattu AMR-verkko ei antanut mahdollisuuksia muuttaa sen tilaa erillisestä verkon komponentista.

Työn toisena tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia lukea AMR-verkon lukematietoja useammin, jotta päästäisiin lähemmäksi reaaliaikaisia lukematietoja. Vaikka lukematietoja onnistuttiin lukemaan halutulla lähetystiheydellä, AMR-verkon sisäisen viiveen seurauksena täysin reaaliaikaisten lukematietojen tallentaminen ei ollut mahdollista. Mittareilta tulleet tiedot olivat verkon hitauden vuoksi ajallisesti edelleen noin yhden päivän viiveessä luentahetkestä. Komponentti luotiin alusta loppuun käyttämällä hyväksi yhdellä piirilevyllä varustettua Raspberry Pi 3 -pienoistietokonetta. Komponentista luotiin täysin itsenäinen, jolloin käyttäjän valvontaa laitteeseen ei tarvittu.

Tulevaisuudessa AMR-verkon etähallinta olisi mahdollista toteuttaa, jos yhteistyö valmistajan teknisten asiantuntijoiden kanssa olisi mahdollista. Etähallinta olisi merkittävää lisä jo olemassa olevien tuotteiden joukkoon sen monipuolisuutensa ansiosta. Hallinta mahdollistaisi verkon hallinnoinnin lisäksi verkon lukematietojen hakemisen, joka toteutetaan nyt erillisen komponentin avulla. Luentakomponenttiin on mahdollista suunnitella päivitetty versio elektroniikan osalta, jotta laitteesta saadaan entistä suorituskykyisempi.

### ASIASANAT:

AMR-verkko, vedenmittaus, kustannustehokkuus, vesimittarilukemat, kulutustiedot

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and Communications Technology

2020 | 37 pages

Ville Virtanen

# REMOTE MANAGEMENT AND READING OF THE WIRELESS AMR NETWORK

The thesis was commissioned by Pajavirta Ltd, which is a Finnish provider and support organization of Siemens wireless water metering systems. The aim of this thesis was to explore and develop the possibility of remote management and reading of the *Automatic Meter Reading* (AMR) network. The AMR network is used to control consumption data of water and energy meters wirelessly. Water and energy meters are sending their consumption data to AMR network. The thesis goes through components and features that are used to remotely access and read the AMR network.

To make it possible to add a new water meter to AMR network, it is necessary to change the configuration state of the network. The research carried out in this thesis was about trying out a device which was supposed to make the change possible without physically going to the maintenance destination. The device would have saved customers' travel expenses and made the maintenances of broken water meters easier. As a result of this research, it was found out that the AMR network was technically encrypted so the change was not possible with a separate component inside the AMR network.

The other goal of the thesis was to explore possibilities to read the consumption values of water meters inside the AMR-network more often. The goal was to be able to retrieve more closer to real-time readings. Because of the delay inside the AMR network the consumption values of water meters can not be completely in real time. With information from the field, the network has approximately a delay of one day. As a result, the final component was created from the beginning to the end by utilizing a Raspberry Pi 3 minicomputer. Raspberry Pi 3 is a low cost minicomputer that runs Linux operating system and gives possibilities to implement for example Python programs from scratch. The software for reading the consumption values was created with Python programming language. Python is object-oriented, high-level programming language which was suitable for implement reading software due to its simplicity. The component was totally independent and there was no need for user control at all.

## KEYWORDS:

AMR network, water metering, cost-effectiveness, water meter readings, consumption

# SISÄLTÖ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>       | <b>6</b>  |
| <b>1 JOHDANTO</b>                           | <b>9</b>  |
| <b>2 AMR-VERKKO</b>                         | <b>10</b> |
| 2.1 Vesimittarit                            | 10        |
| 2.2 Tiedonkeruuyksiköt                      | 11        |
| 2.3 Etäluentayksikkö                        | 12        |
| 2.4 S- ja C-tila                            | 13        |
| 2.5 Ominaisuudet                            | 14        |
| <b>3 KÄYTETYT TEKNOLOGIAT JA LAITTEET</b>   | <b>15</b> |
| 3.1 Raspberry Pi                            | 15        |
| 3.2 Python                                  | 16        |
| 3.3 Visual Studio Code                      | 17        |
| 3.4 SFTP-protokolla                         | 17        |
| 3.5 M-Bus                                   | 18        |
| <b>4 LANGATTOMAN AMR-VERKON ETÄHALLINTA</b> | <b>19</b> |
| 4.1 Tutkimus                                | 19        |
| 4.2 Lopputulos                              | 21        |
| <b>5 LANGATTOMAN AMR-VERKON ETÄLUENTA</b>   | <b>23</b> |
| 5.1 Tutkimus                                | 23        |
| 5.2 Lopputulos                              | 25        |
| <b>6 YHTEENVETO</b>                         | <b>33</b> |
| <b>LÄHTEET</b>                              | <b>35</b> |

## KUVAT

|   |    |
|---|----|
| Kuva 1. Lähetinmoduuli (Pajavirta Oy n.d.).   | 10 |
| Kuva 2. Elektroninen vesimittari (Pajavirta Oy n.d.).                               | 11 |
| Kuva 3. Tiedonkeruuyksikkö (Pajavirta Oy n.d.).                                     | 12 |
| Kuva 4. Etäluentayksikkö (Pajavirta Oy n.d.).                                       | 13 |
| Kuva 5. Raspberry Pi 3 (Elfa Distrelec n.d.).                                       | 15 |
| Kuva 6. M-Bus-laitteiden virran ja jännitteen muutokset (M-Bus 2020).               | 18 |
| Kuva 7. Raspberry Pi 3 ja SIM -moduuli.   | 20 |
| Kuva 8. MBUS-PU3-tasomuunnin (Solvimus GmbH 2019).                                  | 24 |
| Kuva 9. Luentakomponentin funktio M-bus-väylän skannaamiseen.                       | 27 |
| Kuva 10. Tietojen pyyntö yksittäiseltä vesimittarilta.                              | 27 |
| Kuva 11. Luennan jälkeen luotavat kansiot varsinaisen tiedon lähettämiseksi.        | 28 |
| Kuva 12. Vesimittareiden sarjanumerot ja tyypit siivottuna erillisessä tiedostossa. | 28 |
| Kuva 13. readout.xml-tiedoston sisältö varsinaisista lähetettävistä tiedoista.      | 28 |
| Kuva 14. Kaksi esimerkkiä lähetetystä tiedostosta luentakomponentilta.              | 29 |
| Kuva 15. Lopputuote.  | 29 |

## KUVIOT

|  |    |
|--|----|
| Kuvio 1 Tiedonkeruuyksikön tilakaavio. | 30 |
| Kuvio 2 AMR-verkon luennan tilakaavio. | 31 |
| Kuvio 3 SFTP-lähetyksen tilakaavio.    | 32 |

# KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

|                        |  |
|------------------------|--|
| AMR                    | Automatic Meter Reading -teknologia, joka mahdollistaa langattomien vesi- ja energiamittareiden luennan radioverkon yli (Qundis GmbH n.d). |
| AMR-verkko             | Radioverkko, jolla vesi- ja energiamittarit kommunikoivat.   |
| Direktiivi             | Tavoite, joka koskee jokaista EU-maata (Europa n.d.).  |
| GSM                    | Global System for Mobile Communication -toisen sukupolven matkapuhelinverkko (Säteilyturvakeskus 2019).                                    |
| GPRS / EDGE            | General Packet Radio Service -matkapuhelinverkon laajennuksia, joilla parannetaan verkon suorituskykyä (Yle 2014).                         |
| Litiumparisto          | Pitkäikäinen paristo, jonka itsepurkautuvuus on pieni ja käyttölämpötila-alue on laaja (A-Paristopiste n.d.).                              |
| V                      | Voltti (V), jännitteen yksikkö (Sähköala 2020).  |
| A                      | Ampeeri (I), sähkövirran yksikkö (Sähköala 2020).  |
| Microsoft Azure DevOps | Pilvipalvelu, joka tukee yrityksen tiimejä uuden projektin eri osa-alueiden suunnittelussa ja luonnissa (Microsoft 2020).                  |
| Olio -ohjelmointi      | Object-Oriented Programming -ohjelmointia, jossa luodaan objekteja, jotka sisältävät dataa ja toimintoja (W3Schools n.d.).                 |
| Tekstieditori          | Ohjelma, jolla pystytään kirjoittamaan ja muokkaamaan puhtaasta tekstiä.   |
| Syntaksi               | Lauserakenteen ja sen sääntöjeen käytetty kuvaus (Finn Lectura 2001).  |

|                    |  |
|--------------------|--|
| SIM-kortti         | Subscriber Identity Module -älykortti, jonka avulla tallennetaan tilaajan yksilölliset tiedot turvallisella tavalla (Meegonetwork 2020). |
| RJ-45              | Verkkoliitäntään käytettävä kaapeli (Elisa Oyj n.d.).  |
| IoT                | Internet of Things -nimitys verkkoon kytketyistä laitteista ja esineistä (Telia 2018).   |
| Raspberry Pi 3     | Yhden piirilevyn pienoistietokone, joka on usein varustettu Linux -käyttöjärjestelmällä (Raspberry Pi n.d.).                             |
| Python             | Tulkittav ohjelmointikieli, jota voidaan käyttää esimerkiksi lyhyiden skriptien kirjoittamiseen (Python 2020).                           |
| Visual Studio Code | Microsoftin kehittämä edistynyt tekstieditori laajoilla lisäominaisuuksilla (Microsoft 2020).  |
| SFTP               | SSH File Transfer Protocol -protokolla tiedostojen lähettämiseen suojatun yhteyden avulla (SSH n.d.).                                    |
| SSH                | Secure Shell -protokolla salattuun tietoliikenteeseen (SSH n.d.).  |
| Parametri          | Ohjelmalle tai funktiolle annettavia tietoja käynnistyksen tai kutsun yhteydessä (Helsingin Yliopisto 2005).                             |
| Palvelin           | Virtuaalinen tietokone, jonka avulla ohjelmat suoritetaan (Suomen Internetopas n.d.).  |
| Komentorivi        | Tietokoneen hallinnointiin käytettävä ohjelma (Linux-kurssi n.d.).   |

|                   |   |
|-------------------|---|
| Käyttöjärjestelmä | Usein graafinen ohjelmisto tietokoneen sovellusten hallitsemiseen (Helsingin Yliopisto n.d.). |
| Ohjelmavirhe      | Tietokoneohjelmassa tapahtuva virhe, joka voidaan paikallistaa ohjelmakoodista.               |



# 1 JOHDANTO

Huoneistokohtaisten vesimittareiden asentaminen on ollut pakollista vuodesta 2011 uusiin yli yhden huoneiston asuinkiinteistöihin. Saneerauskohteisiin niitä on veloitettu asennettavaksi vuodesta 2013 linjasaneerauksen yhteydessä. Huoneistokohtainen vedenmittaus nykyajan maailmassa on kasvava trendi. Taloyhtiöt pystyvät sen avulla pienentämään veden- ja energiankulutusta, sekä asukkaiden vedenkulutuksen laskuttaminen on oikeudenmukaisempaa. Laskutuksen perustuminen asukkaan todelliseen kuluutukseen pienentää myös kiinteistön vesilaskua (Omakiinteistö 2018). Direktiivistä huolimatta rakennusmääräykset eivät ole ottaneet kantaa mittareiden käyttöön, mutta niiden asentaminen on ollut pakollista. Energiatohokkuusdirektiivi on muuttumassa siten, että 25.9.2020 jälkeen uudet, sekä vanhat asuinkiinteistöt ovat varustettava käyttäjäkohtaisilla etäluettavilla mittareilla (Euroopan unioni n.d.).

Langaton vedenmittaus liittyy olennaisesti huoneistokohtaisiin vesimittareihin. Kiinteistössä voi olla asuntokohtaiset mittarit, mutta lukematietojen luenta voi silti tapahtua manuaalisesti mittarin näytöltä toistaiseksi voimassa olevien direktiivien mukaisesti. Vesimittareiden luenta etänä vaatii kiinteistöön oman itsenäisen AMR-verkon, joka hoitaa mittareiden lukematietojen lähettämisen internetin välityksellä pilvipalveluun. Kiinteistössä oleva verkko vaatii usein huoltotöitä, jotka liittyvät usein rikkoutuneeseen lähetinmoduuliin tai vesimittariin. Huoltotöiden suurin kustannus tulee matkakuluista, koska kohteessa tehtävä huolto on usein nopea ja yksinkertainen ammattilaisen suorittamana.

Pystytäänkö kustannuksia pienentämään ja voidaanko olemassaolevaa luenta vielä tehostaa? Tämä opinnäytetyö tutkii mahdollisuuksia muuttaa AMR-verkon tilaa etätyöpöydän tavoin vesimittareiden lisäämistä ja vaihtoa varten. Käydään läpi etäyhteyden positiivisia sekä negatiivisia puolia ja niiden merkityksiä asiakkaan kannalta. Tarkastellaan verkon ominaisuuksia, ja tutkitaan onko sen hallitseminen toimistoympäristöstä mahdollista. Etäyhteyden kautta pienet huollot olisivat asiakkaalle halvin ratkaisu, sillä matkakustannukset jäisivät tällöin pois. Työt voidaan tällöin laskuttaa siihen kuluviin osien ja huoltovalmisteluiden osalta. Työssä käsitellään myös kustannustehokkaan luentakomponentin toteutusta ja sen vaiheita. Molempien prototyyppien pohjana toimii Raspberry Pi 3 -pienoistietokone. Työn toimeksiantajana toimii Pajavirta Oy, joka vastaa Suomessa valtakunnallisesti Siemensin langallisten ja langattomien vedenmittausjärjestelmien toimituksista, huolloista ja uusien kohteiden asennuksista.

## 2 AMR-VERKKO

### 2.1 Vesimittarit

Langaton vedenmittaus liitetään yleensä huoneistokohtaisesti asennettuihin vesimittareihin. Siemensin järjestelmässä langattomuus vesimittareihin voidaan toteuttaa kahdella erilaisella mittarityypillä, mekaanisella tai elektronisella vesimittarilla. Mekaaninen vesimittari koostuu messinkisestä virtauksenmittausosasta, sekä kuivatoimisesta 8-numeroisesta summanäytöstä. Mittari voidaan liittää langattomaan vedenmittausjärjestelmään erillisen lähetinmoduulin (Kuva 1) avulla. Lähetinmoduuli asennetaan mittarin kannen päällä olevaan aukkoon ja sen tehtävänä on rekisteröidä vesimittarilta tulevat laskentapulssit ja lähettää ne edelleen AMR-verkon tiedonkeruuyksiköille. Elektroninen vesimittari koostuu myös messinkisestä virtauksenmittausosasta, mutta siinä summanäyttö on toteutettu digitaalisen näytön avulla (Kuva 2). Mittariin ei ole mahdollista asentaa erillistä lähetinmoduulia, sillä se on integroitu mittarin rakenteeseen jo tehtaalla. Elektroninen vesimittari on ominaisuuksiltaan monipuolisempi vaihtuvan digitaalisen summanäytön ja vuotovahdin johdosta (Pajavirta Oy n.d.).



Kuva 1. Lähetinmoduuli (Pajavirta Oy n.d.).



Kuva 2. Elektroninen vesimittari (Pajavirta Oy n.d.).

## 2.2 Tiedonkeruuyksiköt

AMR-verkko koostuu vesimittareiden lisäksi verkon rakentamiseen käytettävistä tiedonkeruuyksiköistä (Kuva 3). Yksiköiden tehtävänä on luoda rakennuksen sisään radioverkko, joiden kautta vastaanotetaan ja tallennetaan rakennukseen asennettujen vesimittareiden tietoja. AMR-verkon asennuksen alussa tiedonkeruuyksikölle esitellään kohteessa olevat vesimittarit, jonka jälkeen yksikkö osaa vastaanottaa mittareiden lähettämiä lukematietoja. Yksikkö vastaanottaa lukematietoja niiltä mittareilta, joiden signaalitasot ovat kantamaltaan sopivalla etäisyydellä yksiköstä. Yhdessä verkossa voi maksimissaan olla 12 yksikköä, ja yhdessä verkossa voidaan käsitellä 500 vesimittarin lukematietoja, vaikka verkossa olisi vain yksi tiedonkeruuyksikkö. Tiedonkeruuyksiköiden määrä usein kohteessa riippuu rakennuksessa käytetyistä rakennusmateriaaleista ja porraskäytävän rakenteesta. Kentältä tulleet kokemukset ovat osoittaneet usein vanhat 60 – 70 luvun talot olosuhteiltaan ihanteellisiksi, koska talojen rakenne on usein avonainen ja signaalin voimakkuus tiedonkeruuyksiköiden ja mittareiden välillä on voimakas. Tällöin usein selvittää noin 3 yksiköllä, vaikka porrasten määrä nousisi yli kuuden. Uusissa taloissa usein joudutaan asentamaan yksikkö joka kerrokseen, jotta signaali saadaan kantamaan yksiköiden ja mittareiden välillä ongelmitta rakenteiden tiheyden seurauksena. Tiedot replikoituvat yksiköltä toiselle neljän tunnin välein. Tiedonkeruuyksiköt kommunikoivat keskenään radioverkon välityksellä, joten johdotuksia yksiköiden välillä ei tarvita. Yksiköt on varustettu kahdella 3,6 V:n litiumparistolla, pää- ja ylläpitoparistolla.

Pääpariston tehtävänä on antaa tiedonkeruuyksikölle vähintään viiden vuoden elinkaari, jonka jälkeen paristo on vaihdettava verkon toimivuuden ylläpitämiseksi. Ylläpitöparisto nimensä mukaisesti huolehtii tilanteesta, jossa pääpariston kapasiteetti putoaa 0:aan. Sillä varmistetaan verkon tietojen säilyminen yksikössä. Ylläpitöpariston varauksen kesto on noin 10 vuotta, jotta pääparisto ehditään vaihtamaan ennen ongelmien muodostumista rakennettuun verkkoon (Siemens Switzerland Ltd 2019).



Kuva 3. Tiedonkeruuyksikkö (Pajavirta Oy n.d.).

### 2.3 Etäluentayksikkö

Verkon tietoja on mahdollista lukea langattomasti etäluentayksikön (Kuva 4) avulla tai suoraan vesimittareilta, jotka on varustettu lähetinmoduulilla. Etäluentayksikön avulla luettaessa luenta tapahtuu automaattisesti, sillä se kerää mittaritiedot radiokommunikointiverkosta automaattisesti ja lähettää ne GSM/GPRS/EDGE verkon kautta Vesipisara -luentapalveluun ja tarvittaessa sähköpostiin (Pajavirta Oy n.d.). Etäluentayksikkö pystyy lähettämään verkon tiedot palveluun maksimissaan neljä kertaa kuukaudessa. Lukemat voidaan määrittää lähetettäväksi saman viikon aikana, mutta lähetystiheys ei silti muutu. Suoraan mittareilta luettaessa yksikköä voidaan käyttää, jos AMR-verkon koko ja rakenne sen sallii. Silloin vesimittareiden on oltava kantamaltaan siten, että etäluentayksikkö pystyy vastaanottamaan jokaisen kohteessa olevan vesimittarin lukematiedot suoraan. Luenta soveltuu usein pieniin rivitalokohteisiin, jossa etäluentayksikkö voidaan sijoittaa esimerkiksi rakennuksen päässä olevaan lämmönjakohuoneeseen lähelle mittareita. Suoraan mittareilta luettaessa säästetään AMR-verkon rakennukseen tarvittavien komponenttien kustannuksista, koska kohteeseen asennetaan ainoastaan mittari ja yksi etäluentayksikkö (Siemens Switzerland Ltd 2018).



Kuva 4. Etäluentayksikkö (Pajavirta Oy n.d.).

#### 2.4 S- ja C-tila

AMR-verkon komponentit voidaan määrittää S- ja C-tilaan, joissa kummassakin on erityispiirteet verkon toiminnallisuuden kannalta. Järjestelmä toimii oletuksena S-tilassa, jossa vesimittareiden lähetystiheys on neljä tuntia. Neljän tunnin tiheydellä varmistetaan lukematietojen tallentaminen tiedonkeruuyksiköihin takautuvasti 18 kuukauden ajalta ja samalla tallennetaanluentahetken lukematiedot (Pajavirta Oy n.d.).

C-tilassa vesimittareiden lähetystiheys voidaan muuttaa lähettämään langattomaan verkkoon lukematietoja 7,5 min:n välein. Lähetystiheyden muutos nopeammaksi estää takautuvien tietojen tallentamisen tiedonkeruuyksikölle, koska käsiteltävää dataa tulee huomattavasti enemmän. C-tilassa mittareilta pystytään tallentamaan vain ja ainoastaanluentahetken tiedot. C-tilan ongelmaksi muodostuu tiedonkeruuyksiköiden keskinäisen kommunikoinnin viive, jos verkossa on enemmän kuin yksi tiedonkeruuyksikkö. Yksiköt vastaanottavat niiltä vesimittareilta tietoa, jotka ovat kuuluvuudeltaan parhaimmassa sijainnissa. Syntyy tilanne, jossa ensimmäiselle tiedonkeruuyksikölle lähetetyt tiedot eivät replikoidu ennen neljää tuntia toiselle yksikölle. Toiselle yksikölle replikoituu ainoastaan viimeinen lähetetty tieto vesimittarilta ensimmäiselle yksikölle (Pajavirta Oy n.d.).

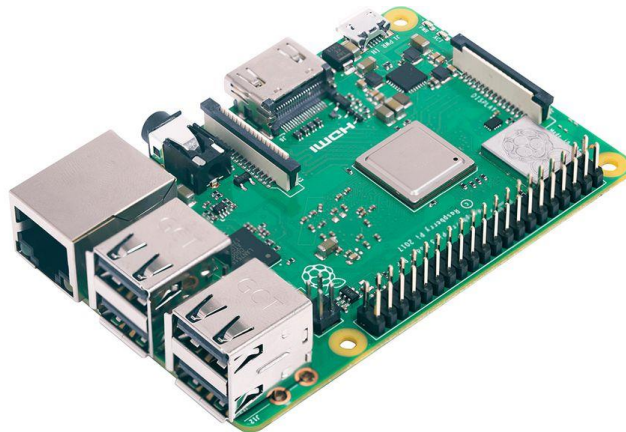
## 2.5 Ominaisuudet

Siemensin langaton vedenmittaus perustuu kuukauden viimeisen päivän lukematietojen hallitsemiseen, jotka tallennetaan takautuvasti tiedonkeruuyksiköihin 18 kuukauden ajalta. Takautuvasti tallentuvien lukematietojen avulla voidaan tarkastella esimerkiksi mittarissa tapahtuvia vuotoja tai luoda kuukausiperusteista laskutusta. Järjestelmän ongelma muodostuu, kun verkosta halutaan lukea tietyn päivän lukemat, koska mittareiden lähetystaajuuudet ovat oletuksena asetettu lähettämään tietoja tiedonkeruuyksiköille neljän tunnin välein ja etäluentayksikkö pystyy lähettämään tietoja eteenpäin pilvipalveluun maksimissaan neljä kertaa kuukaudessa. Vaikka järjestelmä tallentaa myös lukemahetken lukematiedot mittareilta, ei voida varmistua siitä, että mittari on lähettänyt tietojaan itsestään tiedonkeruuyksikölle juuri halutulta ajalta. Kentällä tehtyjen kokemusten perusteella lukematiedot ovat noin yhden päivän sisällä halutustaluentahetkestä. Viivettä aiheuttaa lisää tiedonkeruuyksiköiden keskinäinen kommunikointi, sillä yksiköt pystyvät replikoimaan tietoja toisilleen vain neljän tunnin välein. Suuressa verkossa, jossa tiedonkeruuyksiköitä on useita, kaikkien mittaritietojen kerääntyminen verkon viimeiselle yksikölle saattaa kestää kokonaisen päivän lähetystaajuuden pituuden seurauksena. Lähetystaajuutta on pakko rajoittaa, jotta järjestelmän komponentteja pystytään pitämään aktiivisena vähintään viiden vuoden ajan ja tulevan datan määrää voidaan hallita (Siemens Switzerland Ltd 2019).

## 3 KÄYTETYT TEKNOLOGIAT JA LAITTEET

### 3.1 Raspberry Pi 3

Yhden piirilevyn pienoistietokone, jossa on integroituna suoritin, muisti ja grafiikkapiiri (Kuva 5). Käyttöliittymän käyttö vaatii erillisen näytön ja näppäimistön. Niiden avulla on mahdollista avata SSH -yhteys oman tietokoneen ja Raspberryn välille, jolloin ohjaaminen onnistuu suoraan omalta koneelta esimerkiksi komentirivin välityksellä. Kyseisellä mallilla ominaista aikaisempiin versioihin verrattuna on 64-bittinen suoritin 32-bittisen suorittimen sijasta. Parempi suoritin pystyy laskennallisesti parempiin suorituksiin, eli tietokoneen tehokkuus on parempi, koska tietokoneen suoritin pystyy suorittamaan laskennallisia toimintoja enemmän. Lisäksi 64-bittisen suorittimen kapasiteetti hallita RAM-muistia on parempi. Raspberry Pi 3 sisältää neljä USB-porttia, HDMI-näyttöliitännän, LAN-portin ja kytkentäpinnit. Laitetta voidaan käyttää itsenäisesti toimivana tietokoneena tai sen avulla voidaan luoda palvelimia eri käyttötarkoituksiin. Molemmissa opinnäytetyön toteutuksissa käytettiin kyseistä komponenttia prototyypin luomisen pohjana monipuolisen käytettävyydensä ansiosta (Raspberry Pi n.d.).



Kuva 5. Raspberry Pi 3 (Elfa Distrelec n.d.).

## 3.2 Python

Ohjelmointikielenä vahva, sekä helposti opittava, joka sisältää korkean tason tietorakenteiden lisäksi yksinkertaisia ja tehokkaita lähestymistapoja olio-ohjelmointiin. Pythonin syntaksi on helposti tulkittavaa ja se soveltuu erityisesti nopeiden skriptien luomiseen useimmilla alustoilla. Laajoissa sovelluksissa on kuitenkin perehdyttävä kielen muuttujatyyppeihin ja funktioiden periytymisiin, jotta ymmärtää muuttujien siirtymisen kansiosta toiseen.

Python perustuu standardikirjastoihin, jotka ovat vapaasti ladattavissa verkosta lähde- tai binäärimuodossa mahdollistamaan yhteensopivuuden useimmille alustoille. Kirjastot itsessään sisältävät sisäänrakennettuja moduuleja, joiden avulla helpotetaan skriptien ja sovellusten hallitsemista antamalla pääsyn Pythonin toiminnallisuuksiin. Kirjastojen avulla voidaan toteuttaa ratkaisuja jokapäiväiseen ohjelmointiin nopeasti ja tehokkaasti. Niiden muokkaaminen voidaan toteuttaa C tai C++ -ohjelmointikielten avulla (Python 2020).

Python soveltui opinnäytetyön ohjelmointikieleksi sen yksinkertaisuuden ja yhteensopivuuden ansiosta. Komentoriviltä suoritettu koodi nopeutti ohjelmavirheiden havaitsemista ja niiden korjaamista. Lisäksi Linux-käyttöjärjestelmä antoi täyden tuen Pythonin standardikirjastoille ja sen kehittämiseksi. Ongelmaksi muodostui käyttöjärjestelmän tekstieditorien yksinkertaisuus. Editoreissa ei ollut mahdollisuuksia kytkeä päälle koodin kirjoitukselle ominaista ennakoitua, jonka avulla olisi estetty turhat syntaksivirheet. Paras tapa puhtaan koodin kirjoittamiseen oli testata koodia aina luodun funktion tai toiminnallisuuden jälkeen.



### 3.3 Visual Studio Code

Microsoftin kehittämä edistynyt tekstieditori, joka tavallisen tekstin kirjoittamisen lisäksi antaa mahdollisuudet eri ohjelmointikielien syntaksin tarkastamiseen ja virheiden tarkastamiseen. Editori täydentää kirjoitettavan ohjelmointikielen syntaksia automaattisesti ennakoiden ja väärin kirjoitetut syntaksit merkkautuvat automaattisesti virheellisiksi. Editori jäsentää koodin automaattisesti huomioiden tarvittavat sisennykset ja aaltosulkeet rakenteen oikeellisuuden säilyttämiseksi. Lisäksi kirjoitetulle koodille on mahdollista suorittaa editorin sisällä virheenkorjausta. Siinä voidaan tarkistaa esimerkiksi funktioiden toiminnallisuuksia tai yksittäisten muuttujien arvoja (Microsoft 2020).

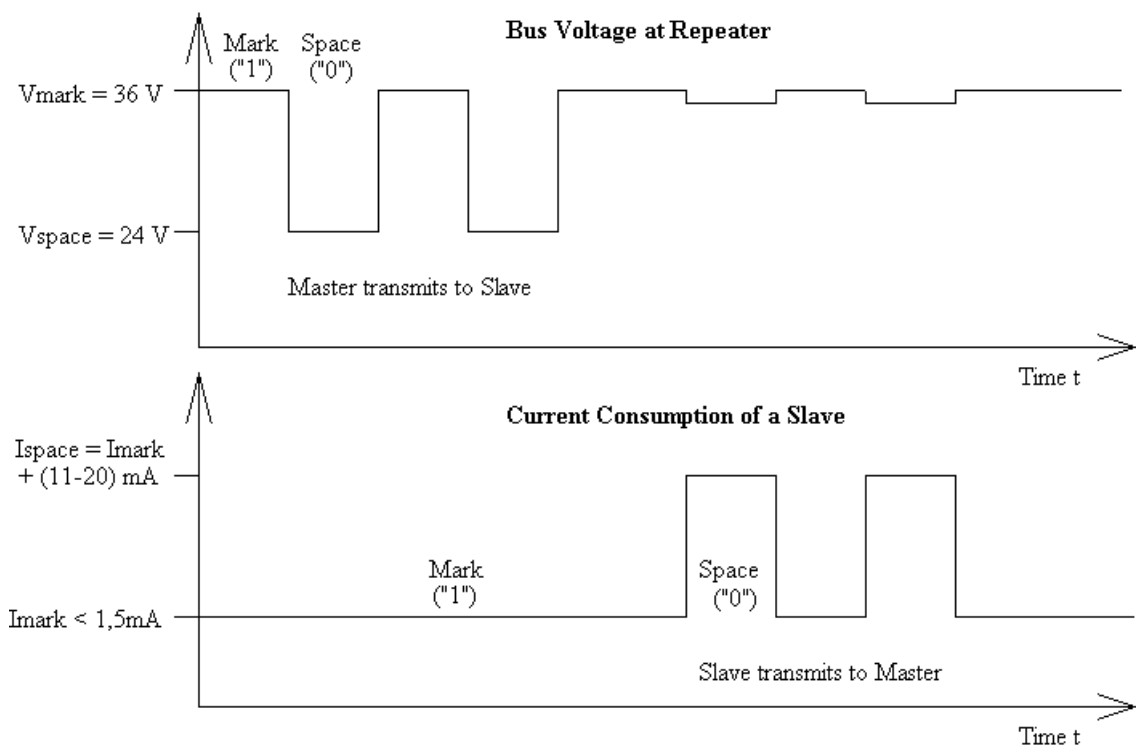
Opinnäytetyössä editoria käytettiin koodin kirjoittamiseen ja luotujen versioiden tallentamiseen. Editorissa oli mahdollista lähettää tehdyt muutokset versionhallintaan, jossa jokainen luotu tiedosto oli tallessa. Tilanteessa, jossa haluttiin palata aikaisempaan koodiin ohjelmavirheen tai muun syyn seurauksena, koodi oli mahdollista palauttaa haluttuun tilaan. Muuttujien arvojen tarkastelu tehtiin editorin virheenkorjaustyökalun avulla, jotta mahdollisimman virheetön koodi saatiin ladattua suoraan luodulle komponentille.

### 3.4 SFTP-protokolla

Suojattuun tiedonsiirtoon käytetty protokolla SSH yhteyden yli. SSH protokollalla tarkoitetaan metodia kommunikoida turvallisesti etänä tietokoneelta toiselle. Se tarjoaa vaihtoehtoisia vaihtoehtoja vahvalle todennukselle, ja se suojaa tietokoneiden välistä tiedonsiirtoa/kommunikointia voimakkaalla suojauksella (SSH n.d.). SFTP tarjoaa samat funktionaalisuudet, kuin SSH, mutta vielä luotettavammin ja turvallisemmin helpommalla konfiguraatiolla. Se suojaa myös salasanaaappauksilta ja hyökkäyksiltä salaus -protokollia vastaan. Salasanaaappauksissa hyökkääjä pyrkii varastamaan henkilöiden käyttäjätunnuksia ja salasanoja verkosta, kun taas salaushyökkäyksissä hyökkääjä yrittää murtaa salauksia syöttämällä erilaisia parametreja käyttäjän koneelle tai suoraan palvelimelle. SFTP suojaa siirrettävän datan, käyttäjän ja palvelimen erilaisten salausfunktioiden avulla. SFTP kuuntelee porttia 22, jonka välityksellä tiedot siirtyvät. Yksinkertaisuudessaan portti on SSH palvelin, johon käyttäjän on kirjauduttava ennen kuin SFTP-protokolla muodostuu aktiiviseksi (SSH n.d.).

### 3.5 M-Bus

Eurooppalainen standardi (EN 13757-2 ja EN 13757-3) vesi-, kaasu- ja sähkömittareiden langattomaan luentaan ainoastaan kahden kaapelin välityksellä. M-Bus on hierarkkinen järjestelmä, jossa master- eli isäntälaitte hallitsee kommunikointia slave- eli orjalaitteiden välillä. Järjestelmässä voi olla vain yksi master-laitte, joka kuitenkin pystyy vastaanottamaan tietoja useilta slave-laitteilta. Slave-laitteet kaapeloidaan master-laitteeseen, josta virta jaetaan kaikille kytketyille laitteille. Tiedon siirtyminen M-Bus-väylässä laitteiden välillä tapahtuu jännitteen ja virran muutosten avulla (Kuva 6) (M-Bus 2020).



Kuva 6. M-Bus-laitteiden virran ja jännitteen muutokset (M-Bus 2020).

## 4 LANGATTOMAN AMR-VERKON ETÄHALLINTA

AMR-verkko pitää sisällään erilaisia huoltoja. Huollot vaihtelevat noin 15 min:n minuutin huolloista kaksi päivää kestäviin huoltoihin riippuen verkon suuruudesta ja viallisten komponenttien määrästä. Huollot vaativat aina käynnin kohteessa riippumatta huollon laajuudesta, koska verkon konfigurointi ja komponenttien vaihtaminen vaatii siihen tarvittavia erikoistyökaluja. Tapauksessa, jossa kohteessa on viallinen vesimittari, siihen tarvittavat huoltovalmistelut on usein mahdollista suorittaa toimistolla ennen kohteeseen siirtymistä. Huoltovalmisteluihin mittarin vaihdon osalta kuuluu etäluentamoduulin ohjelmointi, jotta lähetin pystyy lähettämään sitä vastaavan mittarin sarjanumeron tietoja AMR-verkkoon. Paikan päällä on suoritettava verkon konfigurointi, jossa viallinen vesimittari poistetaan AMR-verkosta ja uusi mittari lisätään verkkoon. Kokemusten perusteella mittareihin kohdistuvat huollot suuntautuvat usein pitkän matkan päähän. Asiakkaalle tehtävä työn osuus jää tällöin hyvin pieneksi ja kohteeseen matkustamisesta aiheutuvat matkakustannukset ovat kuitenkin suuret. Matkaan käytetty aika ja mahdolliset hotellimajoitukset on katettava, vaikka työn osuus olisi kuinka pieni. Verkon etähallinta toimistolta käsin soveltuisi erityisesti mittarin vaihtoon liittyvissä huolloissa. Silloin uusi vesimittari olisi mahdollista lähettää postituksena kohteeseen, jossa paikallisen alueen putkimies vaihtaisi uuden vesimittarin rikkoutuneen vesimittarin tilalle ja verkon konfigurointi tapahtuisi kokonaan etänä toimiston sisäverkon välityksellä. Näin ollen asiakkaan kustannukset pienenisivät, koska laskutettavat kulut pitäisivät sisällään vaihdettavan mittarin, siihen liittyvät osat ja putkimiehen työhön kuluvaan ajan.

### 4.1 Tutkimus

Etähallinnan rakentamista lähdettiin suunnittelemaan etätyöpöytämaisella ratkaisulla, jossa kohteen päässä olevaan komponenttiin otettaisiin yhteys toimiston sisäisen verkon välityksellä. Tutkimuksessa käytettiin Raspberry Pi 3 -pienoistietokonetta, joka oli tarkoitus kytkeä kohteessa olevaan tiedonkeruuyksikköön AMR-verkkoon kytkeytymistä varten. Ensimmäinen vaihe tutkimuksessa oli ratkaista pienoistietokoneen verkkoyhteyden muodostaminen siten, että kokonaisuudessaan laite olisi kompaktin kokoinen ja sen ympärille olisi helppo rakentaa toimiva suojakotelo. Raspberry Pi 3 sisälsi valmiiksi LAN-liitännän, josta testattiin laitteen kytkeytyminen ensin toimiston sisäiseen verkkoon (Raspberry Pi n.d.). Pelkkä LAN-portti ei kuitenkaan riittänyt, sillä pienoistietokoneella oli

oltava mahdollisuus kytkeytyä verkkoon SIM-kortin avulla kustannusten ja asennuspaikkojen ahtauksien seurauksena. Kohteeseen asennetut tiedonkeruuyksiköt sijaitsevat usein alaslasketun välikaton yläpuolella, johon langallisen verkkoyhteyden rakentaminen olisi haastava toteuttaa tilan- ja kustannusten puitteissa. Verkkoyhteyden muodostamista lähdettiin toteuttamaan erillisen SIM-kortti-moduulin avulla. Moduulissa oli mahdollisuus kytkeä se USB-johdon kanssa tietokoneen USB-porttiin, jonka avulla pystyttiin testaamaan moduulin toiminta ja kytkeytyminen verkkoon SIM-kortin asennuksen jälkeen. Windowsin komentoriviltä oli helppo huomata, että moduuli sai julkisen osoitteen ja sen avulla myös langallisesta verkosta irroitettu tietokone pääsi verkkoon moduulin välityksellä. Seuraavaksi moduuli kytkettiin suoraan Raspberry Pi -pienoistietokoneen kytkentäpinneihin, jota kautta moduuli sai myös virran toimiakseen. Kytkemisen jälkeen moduuli näkyi käyttöjärjestelmän sisällä erillisenä laitteena, mutta IP-osoite ei välittynyt moduulin läpi. Tilanne parani, kun moduuli kytkettiin suoraan USB-kaapelilla pienoistietokoneen USB-portteihin. Tässä kohtaa ajatus pienestä ja kompaktista laitteesta kariutui, sillä moduulin antenni ja tarvittavat johdotukset vaativat suuren tilan (Kuva 7). Verko-ongelmissa pienoistietokoneen olisi pitänyt toimia verkon siltana, jolloin se olisi saanut suoraan saman osoitteen moduulin kanssa, mutta tämä ei ollut mahdollista toteuttaa yhdessä moduulin kanssa.



Kuva 7. Raspberry Pi 3 ja SIM -moduuli.

Verkko-ongelmaan oli keksittävä uusi ratkaisu. Toisena vaihtoehtona Raspberryn kanssa testattiin nettimokkulaa, johon asennettiin operaattorin SIM-kortti. Mokkulaa testattiin ensin tavallisen tietokoneen kanssa, jonka kanssa yhteys muodostui ilman tarvittavia ajureita. Mokkulassa oli myös konfigurointiportaali, jota pystyttiin ohjaamaan verkkoselaimen avulla. Portaalista pystyttiin esimerkiksi määrittämään haluttu IP-osoite mokkulalle tai pakotettiin mokkula hakemaan automaattisesti verkkoyhteyttä uudelleen mahdollisen katkon seurauksena. Mokkula kytkettiin seuraavaksi Raspberry Pi:n USB porttiin ja selvitettiin laitteen näkyvyys käyttöjärjestelmän sisällä. Ensimmäisen kytkemisen jälkeen laite ei näkynyt suoraan järjestelmän laitehallinnasta, mutta kyse oli ajurien puuttumisesta järjestelmässä. Uudelleenkäynnistyksen jälkeen mokkula rekisteröityi suoraan uudeksi laitteeksi järjestelmään ja laite rekisteröityi verkkoon ilman toimenpiteitä, joka testattiin yhteyskokeilulla Googlen nimipalvelinten pingaamiseen.

Verkkoyhteyden onnistuneen luonnin jälkeen tutkittiin Raspberry Pi:n avulla mahdollisuuksia päästä yhteyteen AMR-verkon kanssa kytkemällä se suoraan tiedonkeruuyksikköön. Kytkentä tapahtui tiedonkeruuyksikköön M-bus -väyläliitännän kautta, joka mahdollistaa kenttäolosuhteissa pääsyn laitteeseen. Tarkoituksena oli pystyä vaihtamaan verkon konfigurointitilaa, jotta vesimittarin lisääminen ja poistaminen verkosta oli mahdollista. Normaalitylanteessa verkon tilaa muutetaan Siemensin omien ohjelmien avulla, jonka avulla yritin myös selvittää funktioita tilanteesta, jossa verkon tilaa muutetaan napin painalluksella. Funktioiden rakennetta en kuitenkaan saanut selville, eikä koodin kieltä pystynyt jäljittämään.

## 4.2 Lopputulos

Etähallintaa ei ollut mahdollista toteuttaa, sillä Siemensin järjestelmän AMR-verkon muuttaminen omalla sovelluksella oli teknisesti mahdotonta salattujen protokollien seurauksena. Funktioihin ja mahdollisiin kansioihin ei ollut mahdollista päästä käsiksi siten, että ohjelman funktionaalisuutta verkon tilan muutoksesta olisi saanut selvitettyä. Vaihtoehtoksi jäi asentaa alkuperäinen sovellus suoraan pienoistietokoneelle, mutta ohjelman vaatimukset tietokoneen tehon ja käyttöjärjestelmän suhteen eivät antaneet mahdollisuuksia sen suoraan asentamiseen. Laitteen olisi vaatimuksiltaan pitänyt muistuttaa tavallista tietokonetta, jotta prosessorin teho, sekä käyttöjärjestelmän yhteensopivuus olisivat vastanneet ohjelman asennuksen vaatimuksia.

Etähallinta olisi tuonut säästöjä asiakkaalle, sekä huoltajalle matkakustannusten muodossa. Tehtyjen tutkimusten perusteella huomasi AMR-verkon olevan haavoittuvainen, joka vahvisti käsitystäni huoltokohteen käynnin merkityksellisyydestä. Verkon tilan muuttaminen konfigurointitilaan saattoi kestää useita minutteja talon rakenteista riippuen, jonka seurauksena osa tiedonkeruuyksiköistä oli varmistettava ohjelmointityökalun kanssa oikeaan tilaan. Etäohjauksen kanssa olisi ollut mahdotonta selvittää jokaisen tiedonkeruuyksikön tilan muuttuminen ja siinä pysyminen. Jos verkossa sattuu olemaan yksikin viallinen tiedonkeruuyksikkö, verkon tilan muuttuminen saattaa katketa ja muodostaa virhetilan. Verkko on mahdollista saada vikatilaan, jos sitä ei pystytä varmistamaan. Siemensin omassa konfigurointiohjelmassa ei ole oikaisua tarkastaa jokaisen tiedonkeruuyksikön tilaa yhden napin painalluksella. Kentällä on havaittu usein ongelmia tilanteessa, jossa oletetaan tiedonkeruuyksiköiden tilan muuttuneen halutunlaiseksi, vaikka todellisuudessa niin ei ole tapahtunut ja uuden mittarin tiedot eivät ole tästä syystä replikoituneet kaikkien verkossa olevien tiedonkeruuyksiköiden välillä.

Vaikka verkon tilaa olisi pystytty muuttamaan, täydellisestä onnistumisesta ei olisi voinut olla varma. Kokemusten perusteella verkon lukematiedostossa saattaa olla usein tilanne, jossa yksiköiltä ei ole lainkaan tullut virheilmoituksia, mutta kohteessa on ilmennyt viallisia tiedonkeruuyksiköitä. Yksikkö voi mennä tilaan, jossa tietojen vastaanottaminen päättyy ja toiminta haavoittuu, mutta yksikkö esittelee silti itsensä verkossa yhtenä jäsenenä. Paras lopputulos saavutetaan paikan päällä käydessä, jolloin mahdolliset virheet voidaan todeta ilman arvailuja. Paikan päällä pystytään myös todentamaan mahdolliset ongelmakohdat huoltoraporttiin asiakkaalle ja varmistamaan huollon komponenttien asianmukaisesta asennuksesta. Vastuu on aina huollon toimittajalla, jonka on varmistettava asennettujen komponenttien oikea toiminnallisuus. Asennetulle tuotteelle voidaan näin myöntää takuu ja samalla vältetään ongelmatilanteet, kun ollaan paikan päällä varmistamassa järjestelmän toimivuus.

## 5 LANGATTOMAN AMR-VERKON ETÄLUENTA

Siemensin langattomassa vedenmittausjärjestelmässä verkon tietojen luenta tapahtuu etäluentayksikön avulla. Etäluentayksikkö on varustettu viiden vuoden tehtaalta tulleella tietoliikennekortilla, joka hoitaa tietojen lähetyksen pilvipalveluun. Yksikkö on tietoliikenteensä vuoksi kallis ja sen viiden vuoden käyttöikä usein mietityttää asiakasta. Etäluentayksikön avulla verkon tiedot voidaan lukea maksimissaan neljä kertaa kuukauden aikana. Lähetys voidaan toteuttaa esimerkiksi neljä kertaa saman viikon aikana, mutta kuukauden aikana lähetettyjen tiedostojen määrä pysyy edelleen neljässä. Ongelmaksi usein muodostuu tilanne, jossa esimerkiksi isännöitsijä haluaa lukea lukemat halutulta päivältä haluttuun aikaan. AMR-verkon viiveen vuoksi täysin täsmällinen luenta ei ole mahdollista. Viive aiheutuu S-tilassa olevista vesimittareista ja tiedonkeruuyksiköiden keskinäisen kommunikoinnin hitaudesta (Siemens Switzerland Ltd 2019). Luenta voidaan toteuttaa halutulta päivältä, jos lukematiedot pystytään lukemaan suoraan AMR-verkosta yhdeltä tiedonkeruuyksiköltä. Luennassa on huomioitava verkossa tapahtuva viive kohteissa, joissa tiedonkeruuyksiköitä on useampia.

### 5.1 Tutkimus

Tutkimuksessa etsittiin ratkaisua luoda AMR-verkon etäluennan komponentti kustannustehokkaasti, joka pystyi lukemaan verkon tiedot täsmällisesti halutulta päivältä. Työn pohjana käytettiin Raspberry Pi 3 -pienoistietokonetta, joka kustannuksiltaan oli järkevässä hintaluokassa ja Linux-pohjainen käyttöjärjestelmä antoi hyvät mahdollisuudet kehittää luentaohjelmaa Python -ohjelmointikielen avulla. Ensimmäinen vaihe oli tutustua pienoistietokoneessa käytettävään käyttöjärjestelmään. Vakiona asennettu käyttöjärjestelmä oli varustettu graafisella käyttöliittymällä ja sovelluksilla, jotka olivat tarpeettomia luentakomponentin sovellusta ajatellen. Käyttöjärjestelmä vaihdettiin Raspbian Buster Lite -versioon, jossa kaikki suoritettavat komennot ohjattiin käyttöjärjestelmän komentorivin välityksellä. Uusi käyttöjärjestelmä ei pitänyt sisällään mitään ylimääräisiä sovelluksia tai erillistä käyttöliittymää. Halutut lisäosat ja paketit olivat täysin itsenäisesti hallittavissa, jolloin muistin kontrollointi oli helppoa.

Raspberry Pi 3 -pienoistietokoneen verkkoyhteys hoidettiin aikaisemmassa tutkimuksessa käytetyllä mokkulalla, joka osoittautui luotettavaksi verkon ylläpidon kannalta.

Verkolle ehdoton ominaisuus oli kytkeytyä uudelleen automaattisesti matkapuhelinverkkoon katkeamisensa jälkeen. Mokkulaan oli automaattisesti rakennettu funktio, joka palautti yhteyden sen menettämisen jälkeen. Jatkuvan luennan edellytyksenä oli varmistettava verkon kytkeytyminen matkapuhelinverkkoon. Ilman verkkoyhteyttä lukematietoja ei pystytty lähettämään ja kohteeseen oli tehtävä huoltokäynti.

Käyttöjärjestelmän valinnan jälkeen tutkittiin mahdollisia koodikirjastoja, joiden avulla tiedonkeruuyksikön väylän lukeminen olisi toteutettu. Tiedonkeruuyksikön väylätekniikka itsessään oli toteutettu M-bus väylätekniikan avulla (Siemens Switzerland Ltd 2019). M-bus väylätekniikka perustuu master-slave-tiedonsiirtomalliin, jota voidaan käyttää tähti-, kehä- tai viivatopologian mukaisesti. Etäluentakomponentin tapauksessa M-Bus-väylää käytettiin Raspberry Pi 3:n kytkemisessä tiedonkeruuyksikköön tietojen luennan mahdollistamiseksi. Tässä tapauksessa Raspberry Pi 3:n oli toimittava järjestelmässä master-laitteena ja tiedonkeruuyksikön oli oltava slave-laite järjestelmän hierarkisuuden vuoksi, jossa master-laite kontrolloi slave-laitetta. Pienoistietokoneesta luotiin M-bus-master-laite Solvimus GmbH yrityksen valmistamalla M-Bus-PU3 -tasomuuntimen avulla. Tasomuunnin kytkettiin Raspberry Pi 3:n USB-väylään, joka muutti väylän tunnistamaan tiedonkeruuyksikön M-Bus liikennettä. Muunnin muistutti ulkomuodoltaan tavallista USB-muistitikkoa, jonka toinen pää oli varustettu M-bus väyläliitäntään sopivalla liittimellä (Kuva 8) (Solvimus GmbH 2018).



Kuva 8. MBUS-PU3-tasomuunnin (Solvimus GmbH 2019).

Väylän todellinen luenta toteutettiin avoimen lähdekoodin libmbus-kirjaston avulla. Kirjasto oli suunniteltu M-bus standardeihin soveltuvien erilaisten mittalaitteiden tiedon luentaan. Kirjaston tehtävänä oli huolehtia tasomuuntimen ja tiedonkeruuyksikön välisestä



tietoliikenteestä. Kirjasto oli luotu M-Bus -laitteilta tulevien tietojen tulkitsemiseen, jonka avulla tulkittiin tiedonkeruuyksikön lukematietoja (Raditex Control AB 2011).

Luenta tiedonkeruuyksiköltä tapahtui kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa M-bus väylään ajettiin koko väylän skannaus (Kuva 9), joka antoi tuloksena tiedonkeruuyksikköön määriteltyjen vesimittareiden sarjanumerot ja niitä vastaavat osoitteet. Jokaisella mittarilla oli yksilöllinen osoite, jonka avulla pystyttiin hakemaan mittarin todelliset tiedot (Kuva 10). Jokaisen vesimittarin yksittäinen osoite oli käytävä läpi ja funktion avulla oli pyydettävä kyseisen osoitteen tietoja, jotta ne pystyttiin kirjoittamaan selkokielisenä tekstitiedostoon. Lukematiedoston lisäksi luotiin lista vesimittareiden sarjanumeroista, jonka avulla varmistettiin verkossa olevien mittareiden olemassaolo (Kuva 12). Toisessa vaiheessa valmiiksi kirjoitetut tekstitiedostot lähetettiin SFTP-yhteyden avulla Pajavirta Oy:n sisäiseen tietokantaan ja sieltä edelleen pilvipalveluun (Kuva 14).

## 5.2 Lopputulos

Työn tuloksena oli valmis tuotteistettu tuote, jossa komponentit ja johdotukset ovat kaapeloitu kiinteästi tiedonkeruuyksikön kannen alle ja Raspberry Pi 3 on kiinnitetty tiedonkeruuyksikön yläosaan (Kuva 15). Luodun luentalaitteen avulla pystytään lukemaan AMR-verkon lukematiedot halutulta päivältä luentamääristä riippumatta. Luennassa on kuitenkin huomioitava AMR-verkossa tapahtuva viive, joka estää täysin reaaliaikaisten lukematietojen tallentamisen lähetystiheyksistä johtuen.

Verkolle tyypillinen toiminta perustuu S-tilaan, jossa lähetetään neljän tunnin välein lukematietoja mittareilta tiedonkeruuyksikölle. Neljän tunnin lähetystiheys riittää Siemensin omalle etäluentayksikölle, koska sen avulla tarkoituksena on hallita ainoastaan kuukauden viimeisen päivän lukematietoja. Siemensin etäluentayksikkö pystyy lähettämään tiedot pilvipalveluun ainoastaan neljä kertaa kuukaudessa.

Luodun luentakomponentin avulla mittareiden lähetystiheyttä voidaan pienentää 7,5:een minuuttiin, koska komponentti toimii verkkovirralla, eikä keräämiseen ja lähetykseen tarvittavaa energian määrää tarvitse huomioida. Mittareiden lähetystiheyttä pienentämällä lukematietoja pystytään vastaanottamaan tiheämmin, jolloin päästään lähemmäksi reaaliaikaisia lukemia. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin tiedonkeruuyksiköille saapuvan tiedon määrä sillä, jos tietoa saapuu yksikölle 7,5 min:n välein, sitä on mahdotonta tallentaa takautuvasti langattomaan tiedonkeruuyksikköön. Tietoa voidaan kuitenkin lähettää

luodun luentakomponentin avulla eteenpäin pilvipalveluun, jossa dataa voidaan tallentaa haluttu määrä.

Vaikka luentaa pystytään tihentämään huomattavasti, on huomioitava tiedonkeruusiköiden keskinäinen kommunikointi. Yksiköt replikoivat lukematietoja keskenään neljän tunnin välein ja keskinäistä lähetystiheyttä ei voida muuttaa (Siemens Switzerland Ltd, 2019). Viiveestä syntyy tilanne, jossa esimerkiksi ensimmäisessä kerroksessa sijaitseva tiedonkeruuyksikkö on vastaanottanut 7,5 min:n välein kymmenen mittarin tietoja, mutta ylimmäisessä kerroksessa sijaitseva tiedonkeruuyksikkö ei tiedä ensimmäisen kerroksen mittareista mitään neljän tunnin replikoinnin seurauksena. Tilanne on mahdollista kiertää luodun etäluentakomponentin avulla, mutta kustannukset nousevat tällöin kohtuuttoman suureksi. Suuressa verkossa komponentti olisi asennettava tällöin jokaiseen tiedonkeruuyksikköön, jotta lukematiedot saataisiin jokaiselta mittarilta yhtä tiheästi. Tiheään halutut lukematiedot toimivat parhaiten pienissä verkoissa, jossa mittareiden luenta hoidetaan vain yhden tiedonkeruuyksikön avulla. Normaalissa tilanteessa luenta tapahtuu neljän tunnin viiveellä, jolloin luotua etäluentakomponenttia voidaan käyttää yhdessä tiedonkeruuyksikössä alkuperäisen etäluentayksikön tavoin. Luenta voidaan edelleen toteuttaa neljästi kuukaudessa, mutta luenta voidaan suorittaa kohteesta myös haluttuna aikana SSH-yhteyden avulla.

Luentakomponentin kotelointi ratkaistiin Raspberry Pi 3:n omalla koteloinnilla, joka soveltui tehtävään ulkomuotonsa ansiosta. Testausten aikana suurin huoli syntyi Raspberry Pi 3:n prosessorin lämpötilasta, joka ei saanut nousta liian korkeaksi. Alkuperäinen kotelointi mahdollisti riittävän ilman virtauksen piirilevyn komponentteihin, jonka ansiosta prosessorin lämpö pysyi haluttujen arvojen sisällä. Muistikortin korruptoituminen oli mahdollinen tilanteessa, jossa kortti jouduttiin ottamaan laitteesta pois ja laittamaan takaisin. Tilanne aiheutti tiedostojen tyhjenemisen ja kortilla oli jäljellä vain käyttöjärjestelmän runko. Tilanteessa kortti piti alustaa uudelleen, jonka jälkeen komponentti toimi ongelmitta. Tilanteiden välttämiseksi laitteeseen voidaan asentaa A2 luokituksellinen muistikortti, joka suunniteltu erilaisia IoT -laitteita varten. Sen laatu ja riski korruptoitua on pienempi, kuin tavallisella muistikortilla.

Yksi merkittävä ero Siemensin etäluentayksikköön on kuukausivelotuksellinen laskutus luentakomponentin osalta. Siemensin etäluentayksikköön on tehtaan tietoliikennekortin vuoksi laskettu mukaan siitä aiheutuvat kustannukset. Kertaostos voi asiakkaasta tuntua liian suurelta, varsinkin kun ei tiedetä tilannetta viiden vuoden jälkeen tietoliikenteen lakkautta tehtaan SIM-kortista. Luentakomponentti voidaan laskuttaa asiakkaalle

kuukausperusteisella laskutuksella, johon voidaan laskea tietoliikenteestä aiheutuvat kulut sisälle. Kuukausittain maksettavan hinnan on kuitenkin oltava järkevä, jotta asiakas kokee sen kannattavaksi muihin kustannuksiin verrattuna.

```
pi@raspberrypi:~/Vesipisara/src $ mbus-serial-scan-secondary -b 2400 /dev/ttyUSB0
Found a device on secondary address 104781506532290E [using address mask 10FFFFFFFFFFFFFFF]
Found a device on secondary address 1200847365321607 [using address mask 12FFFFFFFFFFFFFFF]
Found a device on secondary address 2319466365323307 [using address mask 231FFFFFFFFFFFFFFF]
Found a device on secondary address 2322004765323306 [using address mask 232FFFFFFFFFFFFFFF]
pi@raspberrypi:~/Vesipisara/src $
```

Kuva 9. Luentakomponentin funktio M-bus-väylän skannaamiseen.

```
pi@raspberrypi:~/Vesipisara/src $ mbus-serial-request-data -b 2400 /dev/ttyUSB0 12FFFFFFFFFFFFFFF
<MBusData>
  <SlaveInformation>
    <Id>12008473</Id>
    <Manufacturer>LSE</Manufacturer>
    <Version>22</Version>
    <ProductName></ProductName>
    <Medium>Water</Medium>
    <AccessNumber>14</AccessNumber>
    <Status>00</Status>
    <Signature>0000</Signature>
  </SlaveInformation>
  <DataRecord id="0">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Volume (m m^3)</Unit>
    <Value>10</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:17:48</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="1">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Volume (m m^3)</Unit>
    <Value>10</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:17:48</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="2">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Time Point (date)</Unit>
    <Value>2019-12-31</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:17:48</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="3">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Volume flow (m m^3/h)</Unit>
    <Value>0</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:17:48</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="4">
    <Function>Value during error state</Function>
    <Unit>Time Point (date)</Unit>
    <Value>2127-15-31</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:17:48</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="5">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Time Point (time & date)</Unit>
    <Value>2020-04-08T06:57:00</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:17:48</Timestamp>
  </DataRecord>
```

Kuva 10. Tietojen pyyntö yksittäiseltä vesimittarilta.

```

pi@raspberrypi:~ $ cd Vesipisara/src/
pi@raspberrypi:~/Vesipisara/src $ python Mbus_Readout.py
pi@raspberrypi:~/Vesipisara/src $ cd /home/pi/readings/
pi@raspberrypi:~/readings $ ls
devices.plt  readout.xml
pi@raspberrypi:~/readings $ █

```

Kuva 11. Luennan jälkeen luotavat kansiot varsinaisen tiedon lähettämiseksi.

```

pi@raspberrypi:~/readings $ more devices.plt
104781506532290E
1200847365321607
2319466365323307
2322004765323306
pi@raspberrypi:~/readings $ █

```

Kuva 12. Vesimittareiden sarjanumerot ja tyypit siivottuna erillisessä tiedostossa.

```

<MbusData>
  <SlaveInformation>
    <Id>12008473</Id>
    <Manufacturer>LSE</Manufacturer>
    <Version>22</Version>
    <ProductName></ProductName>
    <Medium>Water</Medium>
    <AccessNumber>10</AccessNumber>
    <Status>00</Status>
    <Signature>0000</Signature>
  </SlaveInformation>
  <DataRecord id="0">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Volume (m m^3)</Unit>
    <Value>10</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:09:20</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="1">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Volume (m m^3)</Unit>
    <Value>10</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:09:20</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="2">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Time Point (date)</Unit>
    <Value>2019-12-31</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:09:20</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="3">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Volume flow (m m^3/h)</Unit>
    <Value>0</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:09:20</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="4">
    <Function>Value during error state</Function>
    <Unit>Time Point (date)</Unit>
    <Value>2127-15-31</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:09:20</Timestamp>
  </DataRecord>
  <DataRecord id="5">
    <Function>Instantaneous value</Function>
    <Unit>Time Point (time &amp; date)</Unit>
    <Value>2020-04-08T06:57:00</Value>
    <Timestamp>2020-04-08T12:09:20</Timestamp>
  </DataRecord>

```

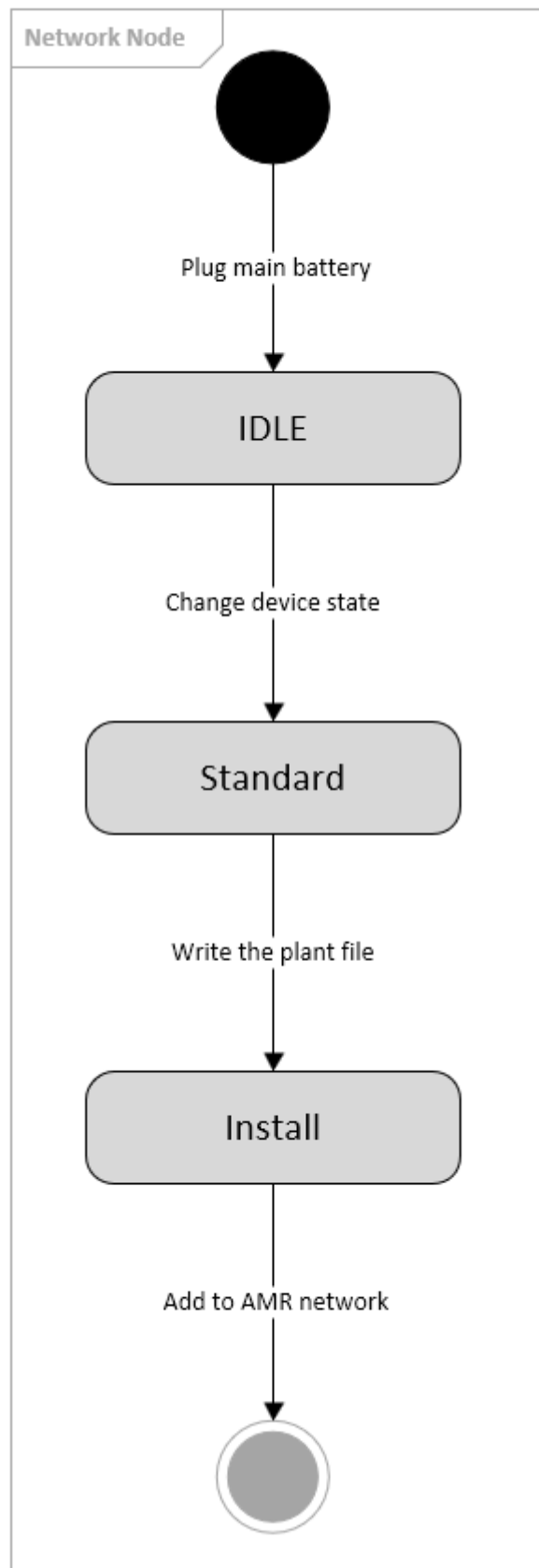
Kuva 13. readout.xml-tiedoston sisältö varsinaisista lähetettävistä tiedoista.

10478150\_20200214093409.xml  
10478150\_20200228111158.xml

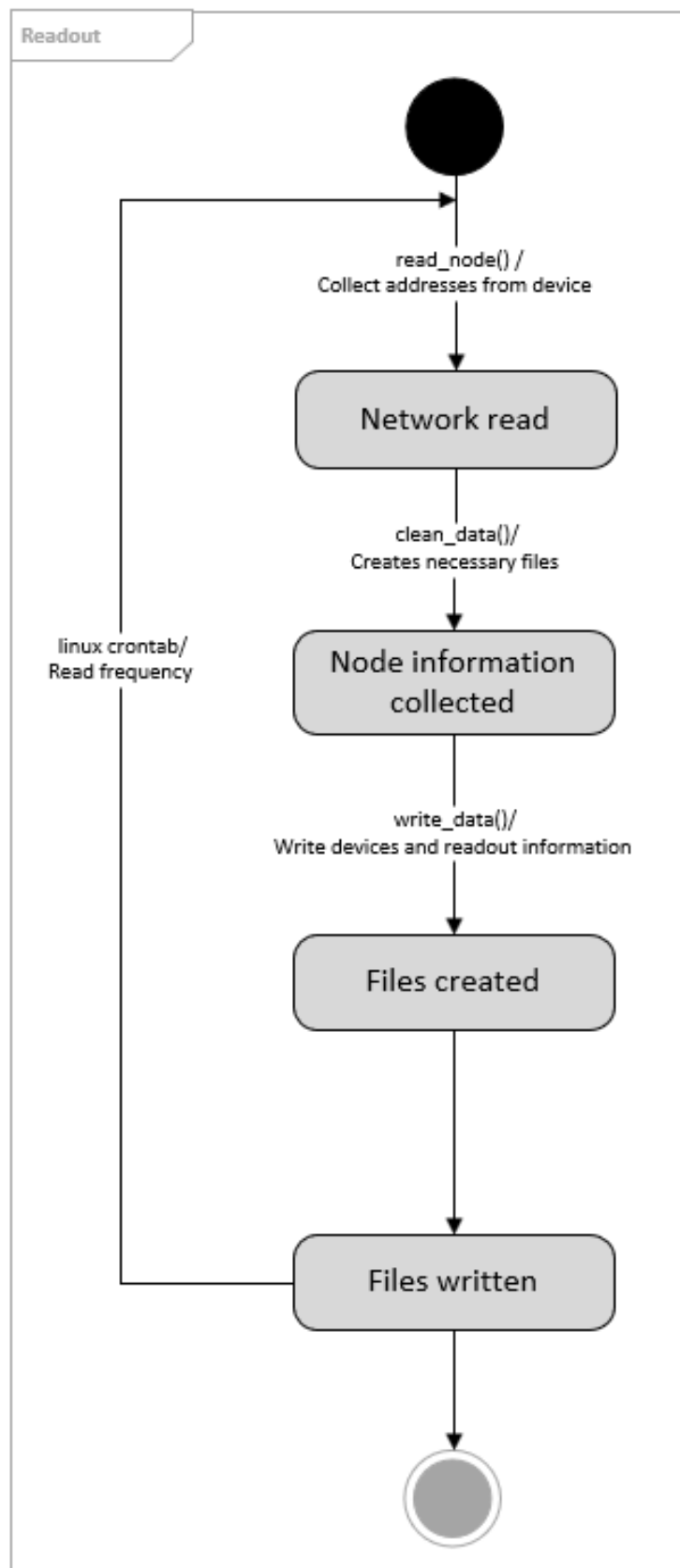
Kuva 14. Kaksi esimerkkiä lähetetystä tiedostosta luentakomponentilta.



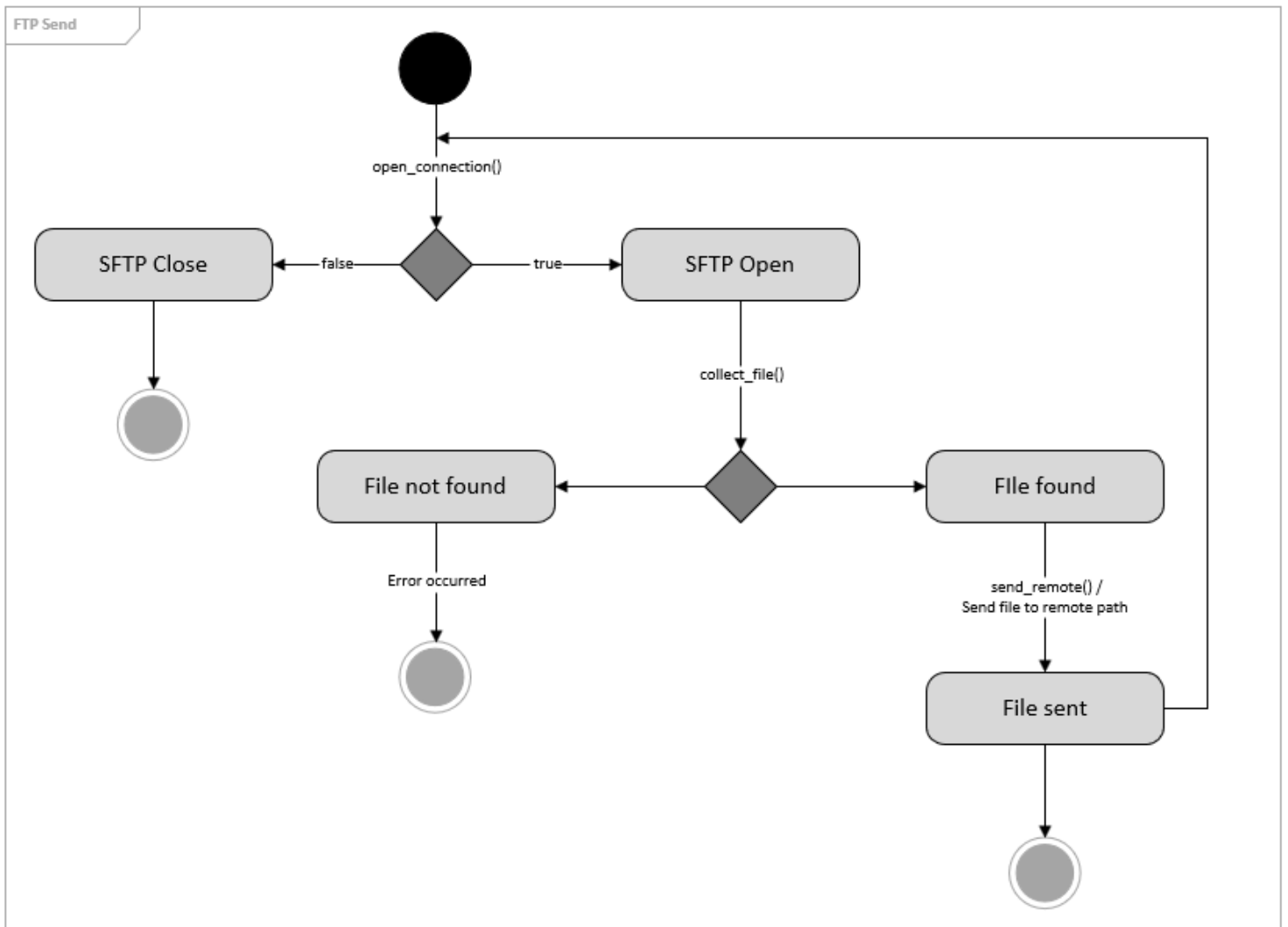
Kuva 15. Lopputuote.



Kuvio 1 Tiedonkeruuyksikön tilakaavio.



Kuvio 2 AMR-verkon luennan tilakaavio.



Kuvio 3 SFTP-lähetyksen tilakaavio.



## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää AMR-verkon tilan muuttamista ja kustannustehokkaan luentakomponentin rakentamista. Verkon tilan muuttaminen yritettiin toteuttaa etätyöpöytänä, jossa toimiston sisäverkon välityksellä olisi otettu yhteys kohteessa olevaan AMR-verkkoon. Tutkimuksella haettiin helpotuksia loppuasiakkaan kustannuksiin, koska erityisesti pienissä huolloissa kustannuksista iso osa muodostui matkakustannuksista. Huoltoon tarvittavat valmistelut olisi sovelluksen avulla suoritettu toimistolta käsin, ja laitteen varsinaisen vaihdon kohteessa olisi suorittanut alueen paikallinen putkimies. Tutkimusten perusteella verkossa huomattiin olevan salattuja tiedostoja ja komponentteja, jotka eivät antaneet mahdollisuuksia muokata verkkoa oman sovelluksen avulla. Sovelluksen onnistuneen prototyypin luominen olisi vaatinut tiivistä yhteistyötä tehtaan kehittäjien ja tukihenkilöiden kanssa. Kokemukseni perusteella tekninen yhteistyö olisi ollut haastavaa, sillä tehtaan pääkonttori sijaitsee Saksassa ja sovellukseen tarvittavat tekniset tiedot eivät ole julkista tietoa. Järjestelmän teknisten tietojen pyytäminen tehtaalta herättää usein myös ajatuksia järjestelmän kopioinnista. Ollessani yritysvierailulla tehtaalla otin esille teknisesti hyvin vaativia kysymyksiä, joihin osaan vastattiin ympäryöreästi tiedon salassapidon säilyttämiseksi. Lopputuloksena Pajavirta Oy sai tärkeää tietoa AMR-verkon tilan muuttamisesta ja siitä, että huoltoa vaativissa kohteissa on tilanteen vakavuudesta huolimatta käytävä.

AMR-verkon luentakomponentti saatiin toteutettua valmiiksi tuotteeksi ja Pajavirta Oy sai vaihtoehtoisen etäluentakomponentin alkuperäisen etäluentayksikön rinnalle. Asiakkaalle voidaan tarjota tulevaisuudessa luentaa kahdella tavalla, jotka voidaan nyt määrittellä kohteen tyyppin mukaisesti haluttujen vaatimusten perusteella. Omien kokemusteni perusteella tulleet tiedot kentältä usein viittasivat reaaliaikaisiin lukemiin, mutta ne ovat usein vaatineet täysin kaapeloidun järjestelmän. Kentältä tullut tieto antoi idean opinnäytetyön toteutukselle, ja samalla Pajavirta Oy pystyi tuotteistamaan kustannuksiltaan edullisemmän vaihtoehdon etäluentaan. Komponenttia luotaessa oli otettava huomioon AMR-verkossa tapahtuva viive, joka oli huomioitava erityisesti tuotteistuksen yhteydessä. Langaton järjestelmä ei pysty toimimaan langallisen järjestelmän tavoin, jolloin lukematietoja pystyttäisiin seuraamaan täysin ilman viivettä. Suoritin työtä tehdessäni testausta langallisilla mittareilla, jotta pystyin havainnollistamaan langattoman järjestelmän ominaisuuksia.

Tulevaisuudessa langattoman AMR-verkon etähallintaa olisi mahdollista tutkia ja toteuttaa, jos tehdas olisi valmis tekniseen yhteistyöhön sovelluksen loppuun saattamiseksi. Olen kuitenkin aika varma siitä, että Euroopan mittakaavaan verrattuna Suomessa tapahtuvat ponnistelut tuotekehityksen osalta ei kiinnosta isoa yritystä. Markkinoiden olisi myynniltään oltava merkittävää Euroopassa toimivan yrityksen kannalta, jotta suurella yrityksellä olisi intohimoa käyttää resursseja Suomessa toimivaan yritykseen. Luenta-komponenttia on mahdollista kehittää lisää kenttäolosuhteiden testausten jälkeen. Kenttäolosuhteet voivat paljastaa komponentista ominaisuuksia, jotka eivät ole tulleet esille laboratorioympäristössä. Kokemusteni perusteella kenttäolosuhteissa voi olla kuuma, tai ilmankosteus voi olla suuri. Nämä tekijät voivat vaikuttaa esimerkiksi piirilevyn toimintaan ja suoritusten tehokkuuteen. Pääkomponentin päivittäminen tai kotelon muuttaminen saattavat olla edessä ensimmäisenä, jos komponentin sisällä nouseva lämpö aiheuttaa ongelmia.

## LÄHTEET

A-Paristopiste N. Litiumparistot. Viitattu 23. maaliskuu 2020 <https://www.a-paristopiste.fi/tuotteet/litiumparistot/>

Elfa Distrelec N. Raspberry Pi 3. Viitattu 31. maaliskuu 2020 [https://www.elfadistrelec.fi/fi/raspberry-pi-model-1gb-ram-raspberry-pi-raspberry-pi-3b/p/30109158?channel=b2c&price\\_gs=49.724&source=googleps&pup\\_e=1&pup\\_cid=36045&pup\\_id=30109158&ext\\_cid=shgooaqfifi-P-Shopping-MainCampaign&gclid=EAlalQobChMIhZGg\\_dbE6AIV](https://www.elfadistrelec.fi/fi/raspberry-pi-model-1gb-ram-raspberry-pi-raspberry-pi-3b/p/30109158?channel=b2c&price_gs=49.724&source=googleps&pup_e=1&pup_cid=36045&pup_id=30109158&ext_cid=shgooaqfifi-P-Shopping-MainCampaign&gclid=EAlalQobChMIhZGg_dbE6AIV)

Elisa Oyj N. RJ45, AUX, HDMI, USB - Tunnistatko nämä johdot? Viitattu 24. maaliskuu 2020.] <https://yksityisille.hub.elisa.fi/rj-45-aux-hdmi-usb-tunnistatko-nama-johdot/>

Euroopan unioni N. Euroopan unionin virallinen lehti. *Lainsäädäntö*. Viitattu: 20. maaliskuu 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2018:328:FULL&from=PT>. ISSN 1977-0812

Europa N. Euroopan unioni. *Asetukset, direktiivit ja muut säädökset*. Viitattu 20. maaliskuu 2020. [https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts\\_fi](https://europa.eu/european-union/eu-law/legal-acts_fi)

Finn Lectura. 2001. Lauseoppi eli syntaksi. 2001. Viitattu 23. maaliskuu 2020. <https://fl.finnlectura.fi/verkkosuomi/Syntaksi/sivu3.htm>

Helsingin Yliopisto. 2005. 2.5. Metodeista. *Parametrit*. 26. toukokuu 2005. Viitattu 25. maaliskuu 2020. <https://www.cs.helsinki.fi/u/wikla/Ohjelmointi/Sisalto/2/Metoista.html#3>

Helsingin yliopisto N. Käyttöjärjestelmä ja käyttöliittymä. Viitattu 31. maaliskuu 2020. <https://blogs.helsinki.fi/opiskelijan-digitaidot/1-tietokoneen-kayton-perusteet/1-1-tietokoneen-toimintaperiaate/kayttojarjestelma-ja-kayttoliittyma/>

Linux-kurssi N. Komentorivi. Viitattu 31. maaliskuu 2020. <https://petrit.net/Linux-kurssi/komentorivi/>

M-Bus. 2020. Physical Layer. *Principles of Operation*. 2020. Viitattu 23. maaliskuu 2020. <https://m-bus.com/documentation-wired/04-physical-layer>

—. 2020. The Basics of Serial Bus Systems. 2020. Viitattu 25. maaliskuu 2020. <https://m-bus.com/documentation-wired/02-the-basics-of-serial-bus-systems>

Meegonetwork. 2020. Mikä SIM-kortti? 2020. Viitattu 24. maaliskuu 2020. <https://www.meegonetwork.fi/mika-sim-kortti-on/>

Microsoft. 2020. What is Azure DevOps? 2020. Viitattu 23. maaliskuu 2020. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/devops/user-guide/what-is-azure-devops?view=azure-devops>

—. 2020. Visual Studio Code. 2020. Viitattu 27. maaliskuu 2020. <https://code.visualstudio.com/>

Omakiinteistö. 2018. Huoneistokohtainen vedenmittaus haltuun. 6. Maaliskuu 2018. Viitattu 20. maaliskuu 2020. <http://www.omakiinteisto.com/huoneistokohtainen-vedenmittaus-haltuun/>

Pajavirta Oy N. Elektroniset vesimittarit. *Radioverkon ominaisuudet*. Viitattu 31. maaliskuu 2020. <https://www.pajavirta.fi/Vesimittarit/qwater55>

—. Langattoman AMR-Verkon komponentit. *Etäluentayksikkö*. Viitattu 22. maaliskuu 2020. <https://www.pajavirta.fi/Talotekniikka/AMRVerkko>

—. Mittariin asennettavat etäluennan komponentit. Viitattu 31. maaliskuu 2020. <https://www.pajavirta.fi/Vesimittarit/WFX30>

—. Vesimittarit huoneistokohtaiseen vedenmittaukseen. Viitattu 20. maaliskuu 2020. <https://www.pajavirta.fi/Vesimittarit/WFX30>

Python. 2020. The Python Tutorial. 7. tammikuu 2020. Viitattu 23. maaliskuu 2020. <https://docs.python.org/2/tutorial/>

—. 2020. The Python Tutorial. 31. maaliskuu 2020. Viitattu 1. huhtikuu 2020. <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>

Qundis GmbH. N Remote meter reading by Qundis. Viitattu 20. maaliskuu 2020. <https://qundis.com/solutions/q-amr/>

Raditex Control AB. 2011. libmbus. 2011. Viitattu: 31. maaliskuu 2020. <http://www.rscada.se/libmbus/>

Raspberry Pi. N Raspberry Pi 3. Viitattu 27. maaliskuu 2020. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

Siemens Switzerland Ltd. 2019. Network node. 14. marraskuu 2019. Viitattu 23. maaliskuu 2020.

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/83/pdf/ENG\\_690604.pdf](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/83/pdf/ENG_690604.pdf)

Siemens Switzerlands Ltd. 2018. M-bus RF gateway. 1. lokakuu 2018. Viitattu 23. maaliskuu 2020.

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/83/pdf/ENG\\_681170.pdf](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/83/pdf/ENG_681170.pdf)

Solvimus GmbH. 2018. Mbus-PU3. 24. tammikuu 2018. Viitattu 31. maaliskuu 2020.

[https://www.solvimus.de/fileadmin/downloads/handbuecher/MBUS\\_PU\\_UG\\_1.10\\_EN.p](https://www.solvimus.de/fileadmin/downloads/handbuecher/MBUS_PU_UG_1.10_EN.pdf)

[df](https://www.solvimus.de/fileadmin/downloads/handbuecher/MBUS_PU_UG_1.10_EN.pdf)

—. 2019. Solutions for your collection of consumption data. *M-Bus level converters*. 2019. Viitattu 9. huhtikuu 2020. <https://www.solvimus.de/en/m-bus-products/>

SSH. N SFTP - SSH Secure File Transfer Protocol. Viitattu 25. maaliskuu 2020. <https://www.ssh.com/ssh/sftp>

—. SSH Protocol. [Online] [Viitattu: 25. maaliskuu 2020.] <https://www.ssh.com/ssh/protocol>.

Suomen Internetopas. N Viitattu 25. maaliskuu 2020. <http://www.internetopas.com/yleistietoa/rakenne/>

Sähköala. 2012. Mitä eroa on voltilla ja ampeerilla? 22. helmikuu 2012. Viitattu 23. maaliskuu 2020.

[https://www.sahkoala.fi/koti/energiatehokkuus/fi\\_FI/mita\\_sahkolaitteet\\_kuluttavat/](https://www.sahkoala.fi/koti/energiatehokkuus/fi_FI/mita_sahkolaitteet_kuluttavat/)

Säteilyturvakeskus. 2019. Matkapuhelinverkon toiminta ja tukiasemat. 18. Joulukuu 2019. Viitattu 22. maaliskuu 2020. <https://www.stuk.fi/aiheet/matkapuhelimet-ja-tukiasemat/matkapuhelinverkko/matkapuhelinverkon-toiminta-ja-tukiasemat>

Telia. 2018. IoT - Esineiden internet. *Mikä IoT on?* 2018. Viitattu 24. maaliskuu 2020. <https://www.telia.fi/yrityksille/iot/etusivu>

W3Schools. N C++ OOP. *C++ What is OOP?* Viitattu 23. maaliskuu 2020. [https://www.w3schools.com/cpp/cpp\\_oop.asp](https://www.w3schools.com/cpp/cpp_oop.asp)

Yle. 2014. Uutiset. *LTE, 4G, H, E - eli mitä kaikkea kännykän näytöllä voikaan lukea*. 18. Marraskuu 2014. Viitattu 22. maaliskuu 2020. <https://yle.fi/uutiset/3-7611761>