



Karelia-ammattikorkeakoulu
Talotekniikka

Kiinteistön kulutusmittausten tiedonsiirtomenetelmät etävalvoon

Viljami Laukkanen

Opinnäytetyö, Toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Viljami Laukkanen

Nimeke
Kiinteistön kulutusmittausten tiedonsiirtomenetelmät etävalvomoon

Toimeksiantaja
ISS Palvelut Oy (ISS HUB)

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli vertailla ja selvittää kiinteistön kulutusmittausten erilaisia tiedonsiirtotekniikoita kiinteistön ja etävalvomon välillä. Kiinteistön kulutusmittausten tiedonsiirto etävalvomoon mahdollistaa kiinteistön energiankulutusten valvonnan, analysoinnin ja optimoinnin asiantuntijoiden toimesta. Opinnäytetyössä selvitettiin toimeksiantajan asiakkaan toimitilakiinteistön kulutusmittausten tiedonsiirtomahdollisuuksia.

Työ suoritettiin selvittämällä toimitilakiinteistön nykyiset kulutusmittariratkaisut. Selvitys toteutettiin yhdessä kiinteistöhoitajien kuukausittaisen kulutusmittarien luennan yhteydessä. Kulutusmittariratkaisujen perusteella selvitettiin tiedonsiirtotekniikoihin tarvittavat laitteet ja liittymät. Selvitysten perusteella laadittiin ehdotus toimitilakiinteistön kulutusmittausten tiedonsiirtomenetelmien toteutuksesta.

Selvityksessä kävi ilmi, että osa toimitilakiinteistön kulutusmittareista tulisi uusia, jotta toimiva kulutusmittareiden etäluenta olisi mahdollista toteuttaa. Lisäksi työssä selvisi tiedonsiirtomenetelmiin tarvittavat laitteet ja niiden kustannukset sekä tiedonsiirtomenetelmien toteutettavuuden edellytykset ja haasteet. Työn tietoja ja tuloksia voi jatkossa hyödyntää myös muihin kiinteistöihin, joista halutaan siirtää erilaisia mittauksia etävalvomoon.

Kieli
suomi

Sivuja 40

Asiasanat
kiinteistöt, tiedonsiirto, energianhallinta, automaatio



THESIS
May 2022
Degree Programme in Building Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Viljami Laukkanen

Title
Data Transmission Techniques of Property Energy Metering to Automation Control Room

Commissioned by
ISS Palvelut Oy (ISS HUB)

Abstract

The aim of this thesis was to compare and discover the different kind of data transmission techniques in energy metering between property and automation control room. Property energy metering's data transmission to automation control room enables controlling, analysing, and optimizing the energy consumptions of the property by the professionals. The property in which energy metering's data transmission possibilities were studied was the client's office building.

The work was performed by surveying the present energy metering solutions of the office building. The survey was performed in conjunction with the monthly energy meter reading by the property maintenance workers. Based on the office building energy metering solutions, the required equipment and subscription for data transmission techniques were identified. On the basis of these studies a proposal was created about the feasibility of the office building energy metering's data transmission techniques.

The study revealed that some of the office building energy meters should be renewed to enable a functional remote reading of energy meters. Furthermore, the study showed the required equipment for data transmission techniques and their costs, as well as the requirements and challenges for the feasibility of data transmission techniques. In the future, the knowledge and results of this thesis can also be utilized in properties, where different kind of measurements is need to be transferred to automation control room.

Language
Finnish

Pages 40

Keywords
properties, data transmission, energy management, automation

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Kiinteistöjen etähallinta ja kulutusseuranta	6
3	Kulutusmittaukset.....	7
3.1	Lämpöenergian kulutusmittaus	7
3.2	Veden kulutusmittaus	8
3.3	Sähköenergian kulutusmittaus	9
4	Pulssilaskenta ja väyläteknikka	9
4.1	Pulssilaskenta.....	9
4.2	Väyläteknikka.....	10
4.3	Väylälaitteet	11
4.3.1	Toistin	11
4.3.2	Reititin.....	12
4.3.3	Väyläsovitin.....	12
4.3.4	Gateway	12
5	Tiedonsiirtomediat.....	13
5.1	Yleistä	13
5.2	Langaton tiedonsiirto	14
6	Tiedonsiirtoprotokollat.....	14
6.1	Yleistä	14
6.2	BACnet	15
6.3	Modbus	16
6.4	M-Bus	18
7	IoT-tiedonsiirto	19
7.1	Yleistä	19
7.2	LoRaWAN.....	19
7.3	NB-IoT	21
7.4	LTE-M.....	22
8	Arena Nx -ohjelmistoalusta	23
9	Kiinteistön kulutusmittausten selvitys.....	24
9.1	Yleistä	24
9.2	Lämpöenergian kulutusmittarit.....	24
9.3	Veden kulutusmittarit	26
9.4	Sähköenergian kulutusmittarit.....	27
10	IoT-tiedonsiirtolaitteet.....	28
10.1	Yleistä	28
10.2	NB-IoT- ja LTE-M-laitteet ja liittymät	29
10.3	LoRaWAN-laitteet	31
11	Toteutusehdotukset	33
12	Pohdinta.....	36
	Lähteet.....	38

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja vertailla kiinteistön kulutusmittausten erilaisia tiedonsiirtotekniikoita kiinteistön ja etävalvomon välillä. Etävalvomon siirrettyjen kulutusmittausten perusteella asiantuntijat pystyvät valvomaan, analysoimaan ja optimoimaan valvottavien kiinteistöjen energiankulutusta. Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantaja saa tietoa tiedonsiirtotekniikoiden ominaisuuksista, toteutettavuudesta ja kustannuksista, minkä perusteella voidaan valita toteutettava kulutusmittausten tiedonsiirtotekniikka.

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimi ISS Palvelut Oy:n HUB-etävalvomo. ISS HUB tuottaa olosuhde- ja energianhallintapalveluita ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä. ISS HUB valvoo, analysoi ja optimoi erilaisten kiinteistöjen taloteknisiä järjestelmiä ja energiankulutusta tuottaen toimivampia, terveellisempiä ja ympäristöystävällisempiä kiinteistöjä.

Työhön valittiin toimeksiantajan asiakas, jonka kiinteistön kulutusmittausten tiedonsiirtomahdollisuuksia työssä selvitettiin. Valittu kiinteistö on 2000-luvun aikana rakennettu toimitilakiinteistö, jossa on noin 300 erillistä kulutusmittausta. Kiinteistön kulutusmittaukset rajattiin työssä veden- lämmön- ja sähkönkulutukseen. Tiedonsiirtotekniikan täytyi olla yksinkertaisesti toteutettava ja kaikkialla Suomessa toimiva monistettava ratkaisu. Näin ollen tiedonsiirtomenetelmät kiinteistöjen ja etävalvomon välillä rajattiin esivalinnan jälkeen kolmeen erilaiseen langattomaan IoT-tiedonsiirtoprotokollaan, jotka ovat LoRaWAN, NB-IoT ja LTE-M.

2 Kiinteistöjen etähallinta ja kulutusseuranta

Kiinteistöjen järjestelmien monipuolistuminen, lait, asetukset sekä muuttuvat asenteet luovat tarpeen aktiivisempaan kiinteistöjen hallintaan. Aktiivisella kiinteistön hallinnalla ja ylläpidolla saavutetaan toimivampia, terveellisempiä ja energiatehokkaampia kiinteistöjä. Hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten pienentämiseksi kiinteistöjen energiankulutukseen kiinnitetään jatkuvasti enemmän huomiota. Hiilidioksidipäästöjen ja kustannusten pienentämiseksi myös kiinteistön omistajat ovat kiinnostuneita kiinteistön energiankulutuksista. (ST 669.10, 2021,7.) Kustannusten ja päästöjen vähentämiseksi kiinteistöjen valvonta ja hallinta ulkoistetaan usein ammattilaisille. Kiinteistöjen etähallintaan on olemassa valvomopalveluita tuottavia yrityksiä, jotka seuraavat etäkäytön kautta kiinteistöjen toimintaa, hälytyksiä ja energiankulutuksia. Seurannassa ilmenneiden havaintojen, vikojen ja poikkeamien perusteella valvomopalvelut ehdottavat korjausehdotuksia ja tekevät muutoksia kiinteistön taloteknisiinjärjestelmiin. (ST 669.10, 2021, 15.)

Etähallinta tarkoittaa kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän tai muiden järjestelmien kautta etänä tapahtuvaa kiinteistön järjestelmien hallintaa, ohjausta, seurantaa, analysointia sekä hälytyksiin reagoimista (ST 701.61, 2016, 3). Energiankulutusten, olosuhteiden mittausten, järjestelmien toimintojen ja vika-hälytyksien perusteella kiinteistöjen lämmitys-, vesi-, ilmanvaihto-, automaatio- ja sähköjärjestelmien toimintaa voidaan valvoa, optimoida ja ohjata.

Usein etähallintapalvelu myös tuottaa kulutusraportteja, joissa on esitetty kiinteistön kulutuslukemat. Kiinteistöjohto määrittää kiinteistöjen omistajien kanssa kulutustavoitteet lämmitysenergian, veden ja sähkön kulutukselle sekä tavoitteet sisälämpötiloille. Kulutusseuranta tulisi toteuttaa siten, että kiinteistöjohtolla on käytössään vähintään jokaiselta kuukaudelta päivitetty kulutusraportti. Kulutuspoikkeamat havaitaan vertaamalla kulutuksia tavoitetasoon sekä edellisiin vuosiin. (KiinteistöRYL 2021, luku 1.2.4.3.1.) Kulutuslukemien analysoinnin perusteella voidaan reagoida poikkeaviin kulutuksiin, paikantaa kiinteistöjen sähkön pohjakulutukseen vaikuttavia laitteita ja järjestelmiä, todentaa

energiaoptimointien vaikutuksia sekä verrata kulutuslukemia olosuhteisiin ja olosuhdetavoitteiden toteutumiseen (ST 21.34, 2015, 8). Kulutuspoikkeamiin reagoidaan ja tarvittavat korjaustoimenpiteet suoritetaan mahdollisimman nopeasti. Säännöllinen kulutusseuranta sekä nopea reagointi poikkeamiin ovat avaintekijöitä energiatehokkuuden saavuttamiseksi kiinteistöissä. (KiinteistöRYL 2021, luku 1.2.4.3.1.)

3 Kulutusmittaukset

3.1 Lämpöenergian kulutusmittaus

Kiinteistöissä lämpöenergiaa tarvitaan tilojen, ilmanvaihdon ja käyttöveden lämmitykseen. Yleisin lämpöenergian kulutusmittaus on kiinteistön lämpöenergian kokonaiskulutus, mutta lisäksi kiinteistöissä voi olla alamittauksia. Alamittaukset voivat mitata esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämmitykseen kulunutta lämpöenergiaa tai ilmanvaihdon kuluttamaa lämpöenergiaa. Lämpöenergian kulutusta mitataan ostetun lämpöenergian laskuttamista varten, mutta lisäksi lämpöenergian kulutusmittauksista saadaan tietoa kiinteistön rakenteiden ja järjestelmien kunnosta sekä toimivuudesta. Toisaalta kaikkien kulutusmittausten osalta on aina huomioitava kiinteistön järjestelmien säädöt ja käyttötavat. Esimerkiksi lämpöenergian kulutus saadaan pienemmäksi lyhentämällä ilmanvaihdon käyttöaikoja ja laskemalla sisälämpötiloja, mutta nämä muutokset vaikuttavat heikentävästi sisäilman laatuun. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 126–127.)

Lämpöenergian mittaus perustuu virtausmäärän ja verkoston meno- ja paluuvirtauksen lämpötilaeron mittaukseen, josta saadaan laskettua teho ja kulutettu lämpömäärä ajanjaksolla (ST-käsikirja 17, 2018, 88–89). Mittausdatan tiedon siirto rakennusautomaatiojärjestelmään tapahtuu pulssitietona tai väyläpohjaisena. Väyläliitännäisestä mittarista saadaan luettua myös muuta hyödyllistä tietoa kuten verkostojen meno- ja paluulämpötilat. Lämpöenergiamittarit voivat olla etäluettavia tai mittarista paikallisesti luettavia. (ST 21.34, 2015, 6.)

Lämpöenergian mittausten tiedonsiirrossa yleisesti käytettyjä väyliä ovat esimerkiksi M-Bus, Modbus ja BACnet.

3.2 Veden kulutusmittaus

Kiinteistöjen veden kulutusmittaus toteutetaan yleisesti päävesimittarilla ja alamittauksilla. Päävesimittari mittaa rakennuksen kylmän veden kokonaiskulutusta ja alamittaukset kylmän ja lämpimän veden kulutusta erikseen esimerkiksi huoneistokohtaisesti. Motivan ja Työtehoseuran Kestävä veden käyttö -projektin tutkimuksen mukaan suomalaisten kotitalouksien keskimääräinen vedenkulutus vuorokaudessa oli 120 litraa henkilöä kohden vuosina 2019–2020 (Motiva 2021). Veden kulutusmittaus on välttämätöntä vesiyhtiöiden ja rakennusten omistajien laskutusta varten, mutta lisäksi veden kulutusmittauksen on todettu vähentävän rakennuksen käyttäjien vedenkulutusta. Vedenkulutusmittaus paljastaa myös kiinteistöjen vesivuodot tehokkaasti. (Aatsalo 2020.)

Yleinen mittarityyppi on yksisuihkuinen kuivalaskuri, jossa veden virtaus pyörittää siipiratasta ja laskurikoneistoa (kuva 1). Virtausmittaukseen on myös muita menetelmiä, kuten pyörrevanamittaus, ultraäänimittaus tai magneettinen mittaus. (ST-käsikirja 17, 2018, 88.) Mittausdatan tiedonsiirto rakennusautomaatiojärjestelmään tapahtuu pulssitietona tai väyläpohjaisena. Vesimittarit voivat olla etäluettavia tai paikallisesti mittarista luettavia. Vedenkulutusmittausten tiedonsiirrossa yleisesti käytettyjä väyliä ovat esimerkiksi M-Bus, Modbus ja BACnet.



Kuva 1. Vesimittari (Koka Oy. 2022).

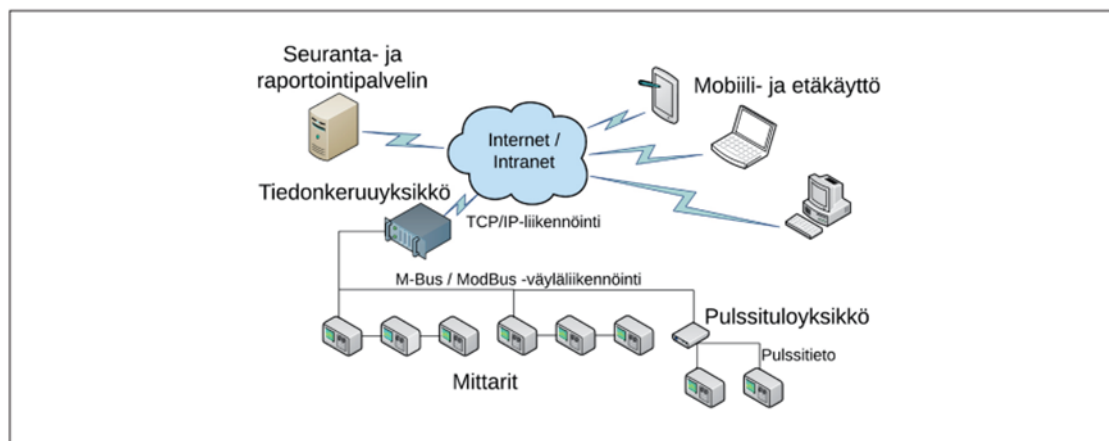
3.3 Sähköenergian kulutusmittaus

Sähkömittarit sijaitsevat kiinteistön sähköpääkeskuksessa tai ryhmäkeskuksessa. Päämittaus mittaa kiinteistön sähkön kokonaiskulutusta ja alamittaukset mittaavat kiinteistön käyttäjien tai erillisten taloteknisten järjestelmien sähkönkulutusta. Taloteknisten järjestelmien alamittauksissa mitataan tyypillisesti valaistuksen, ilmanvaihdon tai jäähdytyksen sähkönkulutusta. Alamittauksista saa arvokasta tietoa kiinteistön järjestelmien toimivuudesta ja käyttötavoista. Kulutus-tietojen lisäksi mittareista voidaan saada myös muita sähkönmittaustietoja väyläteknikalla (ST-käsikirja 17, 2018, 89). Sähkönsyötön muita mitattavia suureita ovat esimerkiksi vaihejännitteet ja -virrat, harmoniset säröt, loise-energian kulutus ja taajuus. Mittausdatan tiedonsiirto rakennusautomaatiojärjestelmään tapahtuu pulssitietona tai väyläpohjaisena. Sähköenergiamittarit voivat olla etäluettavia tai paikallisesti mittarista luettavia. (ST-21.34, 2015, 6–7.) Sähköenergian mit- tausten tiedonsiirrossa yleisesti käytettyjä väyliä ovat esimerkiksi M-Bus, Mod- bus ja BACnet.

4 Pulssilaskenta ja väyläteknikka

4.1 Pulssilaskenta

Pulssilaskentatuloja hyödynnetään rakennusautomaatiossa kulutusmittareiden tiedonsiirtoon. Kulutusmittarin kosketinlähde synnyttää sykäyksen tiettyä kulu- tusmäärää kohden. Pulssit lasketaan yhteen pulssilaskentapisteen muistipaik- kaan ja muunnetaan vastaamaan todellisia kulutusyksiköitä, esimerkiksi veden kulutusmittauksessa 10 pulssia vastaa 100 litraa. Kulutusten aikajaksot laske- taan ohjelmallisesti tiedonkeruuyksiköissä raportointia varten. (ST-käsikirja 17, 2018, 88.) Tiedonkeruuyksiköt keräävät ja tallentavat mittalaitteiden mittaustie- dot ja välittävät ne eteenpäin käytössä oleviin järjestelmiin (kuva 2).

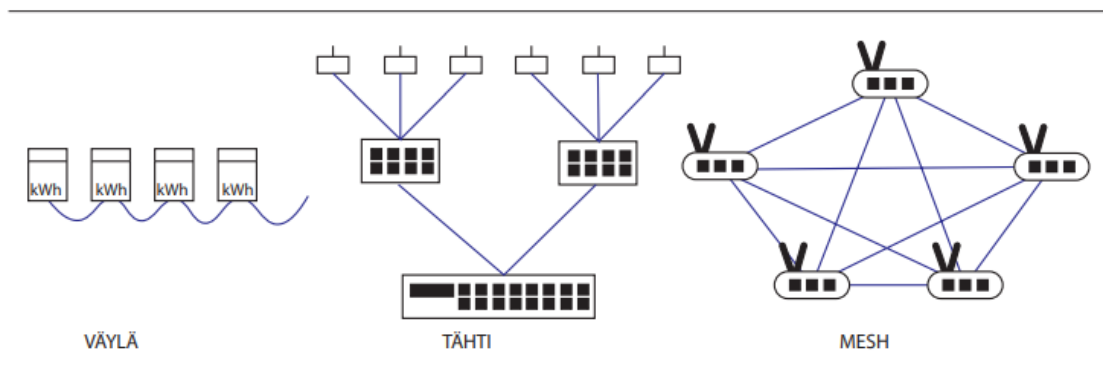


Kuva 2. Mittausten tiedonsiirron periaate (ST-21.34, 2015).

Tiedonkeruuyksiköihin on mahdollista liittää suoraan pulssituloja, jotka yleisesti muunnetaan tiedonkeruuyksiköissä väylämuotoon tiedonsiirtoa varten. Vaihtoehtoisesti on olemassa väyläliitännäisiä mittareita tai erillisiä pulssitulosyksiköitä, joihin voi tuoda toisilta mittareilta pulssilaskentatuloja, jotka muuttavat pulssitulot väylämuotoon jo ennen tiedonkeruuyksikköä. (ST-21.34, 2015, 7.) Pulssimitauksen luotettavuus on mittariväylää epävarmempaa, koska itse pulssinsiirtoyhteyttä ei pystytä valvomaan (Paasisalo 2014, 24). Väylätekniikan luotettavuuden ja monipuolisempien ominaisuuksien vuoksi kulutusmittausten tiedonsiirto on järkevämpi toteuttaa väylätekniikalla pulssitiedon sijaan (ST-käsikirja 17, 2018, 74).

4.2 Väylätekniikka

Taloteknisten laitteiden ja järjestelmien tiedonsiirtoon tarvitaan tiedonsiirtoverkko. Tiedonsiirtoverkkoa kutsutaan rakennusautomaatiojärjestelmien yhteydessä termillä väylä. Termi väylä perustuu alun perin tietoverkon topologiarakenteeseen eli fyysisen kaapeloinnin rakenteeseen, jossa laitteet kytketään samaan kaapeliin ja kaapeli päätetään päätevastuksin. Väylätopologia ei kuitenkaan ole ainoa topologiarakente väylätekniikassa. (ST-käsikirja 21, 2022, 9.) Erilaisia topologiarakenteita ovat esimerkiksi väylä-, tähti- ja mesh-topologia (kuva 3).



Kuva 3. Topologiarakenteet (ST-käsikirja 21, 2022, 10).

Väyläpohjaisessa järjestelmässä järjestelmän osat välittävät tietoa digitaalisena tiedonsiirtona (ST-709.00, 2017, 2). Väylät rakentuvat kaapeloinnista tai langattomasta yhteydestä, tiedonsiirron välittämiseen tarvittavista laitteista ja väylään liitettävistä päätelaitteista (ST-käsikirja 21, 2022, 38). Tyypillisiä väyläpohjaisen järjestelmän laitteita ovat toistimet, reitittimet, väyläsovittimet ja gatewayt. Kaapelointia tai langatonta yhteyttä kutsutaan termillä tiedonsiirtomedia (ST-käsikirja 21, 2022, 44). Väylän laitteet kommunikoivat keskenään käyttäen tiedonsiirtoprotokollia. Tiedonsiirtoprotokollien käyttö mahdollistaa suurten tietomäärien siirron yhtä kaapelia käyttäen. Tiedonsiirtoprotokollat ovat standardoituja, joten alan eri toimijat ja laitevalmistajat voivat hyödyntää niitä sovelluksissaan ja laitteissaan. Eri laitevalmistajien laitteet voivat kommunikoida toistensa kesken, jos ne käyttävät samaa tiedonsiirtoprotokollaa. (ST-710.01, 2016, 5.) Rakennusautomaation tunnetuimpia tiedonsiirtoprotokollia ovat BACnet, Modbus, M-Bus, KNX, Lonworks ja DALI.

4.3 Väylälaitteet

4.3.1 Toistin

Väyliä tiedonsiirto perustuu signaalien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Signaalit vaimenevat kaapelien resistanssin, kaapeliliitosten ja langattomissa ratkaisuuissa esimerkiksi rakennuksen seinien aiheuttamana. Signaalin vaimetessa liikaa, järjestelmän laitteet eivät pysty lukemaan enää niitä. Signaalin vahvistamiseen käytetään toistimia. Toistin lukee väylässä kulkevan viestin ja

lähettää sen vahvistettuna eteenpäin. Toistimien avulla saadaan laajennettua yksittäisten verkkojen ulottuvuutta esimerkiksi ratkaisuihin, joissa on pitkiä kaapelivetoja. (ST-käsikirja 21, 2022, 39.)

4.3.2 Reititin

Reititin on laite, joka yhdistää tietoverkot toisiinsa. Reitittimen avulla verkon ulottuvuutta ja laitteiden lukumäärää voidaan kasvattaa. Reitittimiä voi olla liitettynä useita yhdessä verkossa. Reititin liittää verkot yhteen, mutta lisäksi se voi toimia toistimena. Reitittimen käyttö kasvattaa myös verkon toimintavarmuutta. Reitittimellä yhdistetyt verkon osat ovat itsenäisiä, jolloin jonkin osan toimintahäiriö ei vaikuta verkon muihin osiin. Reitittimen sijaan verkkoja voidaan yhdistää myös sillalla. Silta toimii periaatteessa samoin kuin reititin, mutta reititintä käytetään suurissa verkkojärjestelmissä ja siltoja vain muutamien verkkojen järjestelmissä. (ST-käsikirja 21, 2022, 40–41.)

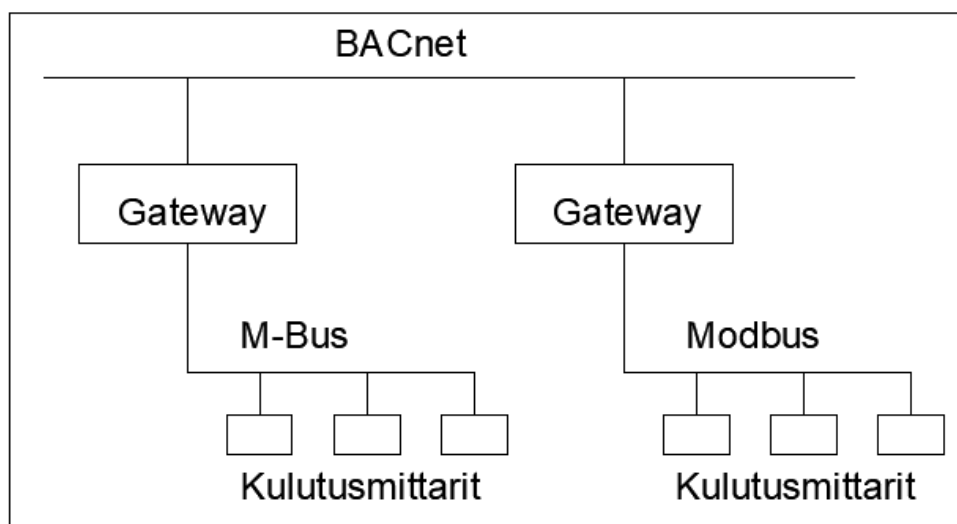
4.3.3 Väyläsovitin

Väyläsovitin on adapteri, joka kytkee laitteen tai järjestelmän väylään. Väyläsovitin lähettää ja vastaanottaa laitteen tai järjestelmän viestejä halutussa muodossa. Väyläsovittimella määritetään käytettävä tiedonsiirtoprotokolla. (ST-709.00, 2017, 6.) Lisäksi väyläsovittimien avulla voidaan rakentaa kaksi rinnakkaisista järjestelmää, jotta yksittäisen järjestelmän kuormittavat tekijät pysyvät hallinnassa (ST-käsikirja 21, 2022, 44).

4.3.4 Gateway

Gateway eli yhdyskäytävä on protokollamuunnin, jonka avulla saadaan liitettyä kaksi eri tiedonsiirtoprotokollaa käyttävää verkkoa yhteen (kuva 4). Näin ollen eri tiedonsiirtoprotokollan omaavat järjestelmät voivat välittää viestejä keskenään. (ST-käsikirja 21, 2022, 42.) Usein gateway-laitteisiin on myös mahdollista liittää moduulien avulla erilaisia tuloja kuten esimerkiksi analogisia ja digitaalisia tuloja. Gatewayn avulla analogiset ja digitaaliset tulot ovat mahdollista muuntaa väylämuotoon.

Gateway on monipuolinen laite, joka voi toimia myös toistimena, siltana ja reitittimenä. Gatewayn monipuolisten ominaisuuksien takia niiden ongelmana on usein monimutkaisuus, joten niiden toiminnan ymmärtäminen vaatii erityisosaamista. (ST-käsikirja 21, 2022, 42–43.) Käytännössä gatewayn avulla voidaan siirtää esimerkiksi kiinteistön kulutusmittaukset pilvipalveluun ja pilvipalvelusta etävalvomoon. Gatewayn suorittamat muunnokset voivat olla hankalia ja niiden suorittaminen vie aikaa, joten on tärkeää huomioida, että gatewayn siirtokyky määrittää koko järjestelmän läpäisykyvyn (ST-käsikirja 21, 2022, 42–43).



Kuva 4. Gatewayn toimintaperiaate.

5 Tiedonsiirtomediat

5.1 Yleistä

Tiedonsiirtomediat perustuvat fyysisiin kaapelointeihin tai langattomiin ratkaisuihin. Kaapelointiratkaisuissa johtimien ominaisuudet ovat tärkeät siirto-ominaisuuksien kannalta, kun taas langattomissa ratkaisuissa lähettimen ominaisuudet ja radiotien häiriöttömyys takaavat toimivan tiedonsiirron. Tiedonsiirtoverkon kaapeloinnit toteutetaan tyypillisesti kierretyllä parikaapelilla, koaksiaalikaapelilla tai optisella kuidulla. Rakennusautomaation langattomat ratkaisut

perustuvat usein radioaaltoihin, joissa signaalit kulkevat vapaasti ilmassa. (ST-käsikirja 21, 2022, 44–46.) Fyysiset kaapeloinnit ja langattomat järjestelmät ovat molemmat toimivia ja perusteltuja ratkaisuja oikein toteutettuna.

5.2 Langaton tiedonsiirto

Langattomat tiedonsiirtojärjestelmät yleistyvät jatkuvasti talotekniikan ratkaisuissa. Langattomuutta hyödynnetään tyypillisesti talotekniikan muutostöissä ja saneerauskohteissa, mutta nykyisin myös uudisrakentamisessa. Langattomien järjestelmien etuja ovat laitteiden asentamisen yksinkertaisuus, kaapeloinnin välttäminen, järjestelmien muutosjoustavuus ja esteettisyys. Langattomien järjestelmien ongelmia ja haasteita voivat olla, laitteiden ylläpito kuten akkujen vaihtaminen, signaalin vaimeneminen, ulkopuolisten lähteiden tuottamat häiriöt, toimimattomuus kuuluvuusalueen ulkopuolella, tiedonsiirron viiveet, pienet datamäärät ja hitaat tiedonsiirtonopeudet. Langattomien tiedonsiirtojärjestelmien ongelmat ja haasteet minimoidaan valitsemalla käyttötarkoitukseen sopiva langaton järjestelmä sekä panostamalla langattoman järjestelmän suunnitteluun. (ST-käsikirja 21, 2022, 94–97.)

6 Tiedonsiirtoprotokollat

6.1 Yleistä

Protokolla eli yhteiskäytäntö mahdollistaa laitteiden, järjestelmien tai ohjelmien keskinäiset yhteydet. Ilman protokollaa väylän laitteet eivät ymmärtäisi toistensa viestejä. Valittu protokolla määrittää järjestelmän keskustelukielen ja toimintalogiikan. Tiedonsiirtoprotokollat voivat käyttää fyysisiä tai langattomia tiedonsiirtomedioita. Rakennusautomaatiojärjestelmissä käytetään useita erilaisia tiedonsiirtoprotokollia, joiden ominaisuudet ja käyttötarkoitukset poikkeavat toisistaan. Esimerkiksi BACnet on kehitetty LVI-tekniikan ohjaukseen, kun taas M-Bus on kehitetty kiinteistön erilaisten mittareiden tiedonsiirtoon. (ST-käsikirja 21, 2022, 71–79.)

6.2 BACnet

BACnet (Building Automation and Control Network) on erittäin yleinen rakennusautomaatiossa käytetty väylä. BACnet on alun perin kehitetty LVI-järjestelmien ohjaukseen, mutta sillä voidaan ohjata myös muita kiinteistön järjestelmiä. (ST-käsikirja 21, 2022, 72.)

Tiedonvälitys BACnet-laitteiden välillä on joko yksi- tai kaksisuuntaista. Tiedon siirto laitteiden välillä perustuu tietoa tarvitsevan asiakaslaitteen tiedon kysymiseen palvelinlaitteelta, johon palvelinlaite vastaa. Laitteiden viestintää kutsutaan termillä palvelut (services), joka voi olla tiedon kyselyn lisäksi käsky toisille laitteille suorittaa tehtävä tai ilmoitus toisille laitteille tapahtuneesta tapahtumasta. BACnet-väylän laitteet esitetään objekteina (object), jotka rakentuvat ominaisuuksista (properties). Objekteja ovat esimerkiksi järjestelmäpisteet, asetusarvot, aikaohjelmat ja kalenteriohjelmat. Objektin ominaisuutena voi olla esimerkiksi lämpötilamittaus. (Swan 2022.) BACnet rakentuu kahdeksasta erilaisesta laiteprofiilista (taulukko 1). Profiilien tarkoituksena on määrittellä laitteiden ja ohjelmistojen BACnet-protokollan ymmärryksen tasoa. Toisin sanoen eri automaatiotasolla käytettävissä olevilla laitteilla ja ohjelmistoilla täytyy olla oikeanlainen BACnet-profiili, jotta järjestelmän osat ymmärtävät toisiaan. (ST-käsikirja 21, 2022, 72–74.)

Standardoitu laiteprofiili	Kuvaus
BACnet Operator Workstation (B-OWS)	Valvomotyöasema eli operaattorin ikkuna BACnet-järjestelmään
BACnet Advanced Operator Workstation (B-AWS)	Kehittynyt valvomotyöasema teknisesti haastavampiin toimintoihin
BACnet Building Controller (B-BC)	Vapaasti ohjelmoitava säädin eli yleiskäyttöinen, kentällä ohjelmoitava laite, joka pystyy erottelemaan rakennusautomaation ja säädön
BACnet Advanced Application Controller (B-AAC)	Ohjelmoitava piensäädin eli jossain määrin B-BC:hen verrattavissa oleva säädin, joka on tarkoitettu tiettyihin sovelluksiin ja niiden ohjelmointiin
BACnet Application Specific Controller (B-ASC)	Sovelluskohtainen piensäädin eli jossain määrin B-AAC:hen verrattavissa oleva yksinkertaisempi säädin
BACnet Smart Actuator (B-SA)	Älykäs toimilaite
BACnet Smart Sensor (B-SS)	Älykäs anturi
BACnet Gateway (B-GW)	Protokollamuunnin eli portti muihin järjestelmiin

Taulukko 1. BACnet laiteprofiilit (ST-käsikirja 21, 2022, 74).

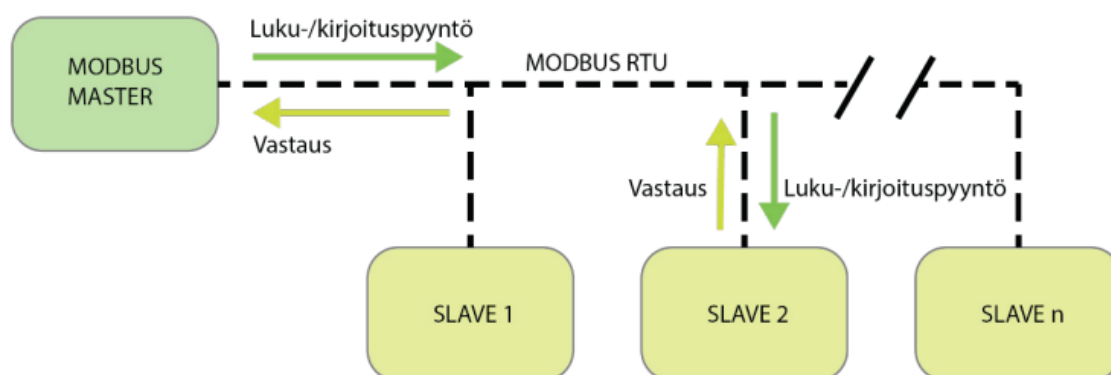
BACnet-väylän erilaisten käyttötarkoitusten vuoksi on kehitetty erilaisia kehysrakenteita. Siirrettävän tiedon määrän ollessa suuri käytetään BACnet/IP-kehystä. BACnet/IP voi käyttää kiinteistön yleiskaapelointia, jolloin järjestelmän laitteille annetaan yksilöllinen IP-osoite sisäverkossa toimimista varten. Kyseessä olevaa tekniikkaa käytetään esimerkiksi alakeskusten välillä. (ST-käsikirja 21, 2022, 72–74.) Laitteiden liitännät toteutetaan yleisesti RJ-45-porttia käyttäen. BACnet/IP-kehystä hieman muistuttava kehysrakenne on BACnet Ethernet, jonka toiminta perustuu IP-osoitteiden sijaan MAC-osoitteisiin. BACnet Ethernet-kehystä ei voi reitittää, joten sen laitteet on oltava samassa aliverkossa. Kenttäväylä tasolla yleinen kehysrakenne on BACnet MS/TP. BACnet MS/TP-kehyksessä kaapelointi toteutetaan yleisesti kierretyllä parikaapelilla ja liitänä RS485-sarjaportilla. Edellä mainittujen lisäksi on olemassa muitakin harvinaisempia kehysrakenteita kuten esimerkiksi BACnet ARCNET ja BACnet Point-to-Point. (BACnet International 2014, 5–6.)

6.3 Modbus

Modbus-protokollaa käytetään laaja-alaisesti eri käyttötarkoituksiin. Modbus-väylää hyödynnetään rakennuksissa, teollisuudessa, energian

optimointijärjestelmissä ja pitkän matkan tiedonsiirrossa. Kustannuksiltaan Modbus-väylä on verrattain edullinen väyläratkaisu. (ST-käsikirja 21, 2022, 77.)

Modbus-väylä toimii primääri-sekundaari- eli isäntä-renki-protokollan mukaisesti. Yhteen primäärilaitteeseen on mahdollista liittää 247 sekundaarilaitetta. Sekundaarilaite voi olla esimerkiksi lämpötila-anturi tai toimilaite. Tiedonsiirto laitteiden välillä tapahtuu siten, että primäärilaite lähettää kyselyn tai dataa sekundaarilaitteelle, johon sekundaarilaite vastaa (kuva 5). Viestien lähettämistä ja vastaanottoa varten jokaiselle Modbus-väylään kytkettävälle laitteelle annetaan yksilöllinen osoite sekä asetetaan samanlaiset tiedonsiirtoasetukset. Tiedonsiirron aloittaa aina primäärilaite eivätkä sekundaarilaitteet kommunikoi keskenään. (ST-käsikirja 21, 2022, 77–79.)



Kuva 5. Modbus-protokollan tiedonsiirto (ST-käsikirja 21, 2022, 78).

Modbus-kehysrakenteita on kolme: Modbus RTU, Modbus ASCII ja Modbus TCP/IP. Modbus TCP/IP on internetin yli toimiva kehysrakenne. Modbus TCP/IP -laitteet liitetään yleisesti verkkoon käyttäen RJ-45-porttia. (ST-käsikirja 21, 2022, 77). Modbus RTU ja Modbus ASCII ovat sarjaliikennöintiin perustuvia kehysrakenteita. Nämä kehysrakenteet eroavat toisistaan viestin bittisisällöltään. (Modbus 2006, 12–16.) Modbus ASCII-kehysrakenne on alun perin kehitetty viestintään. Tämän takia Modbus RTU ja Modbus TCP/IP ovat talotekniikan automaatiassa yleisesti käytetyt kehysrakenteet. (Thomas 2008, 2–3.) Modbus-sarjaväylien kaapelointina käytetään yleisesti sarjaliikenne standardin mukaisia parikaapeleita. RS-485 on ominaisuuksiltaan monipuolisin liitäntä väylään. Myös RS-232 ja RS-422 liitännät ovat mahdollisia, mutta tällöin

lähettävien ja vastaanottavien laitteiden määrä on pienempi ja kaapelin maksimipituus lyhyempi. RS-232-järjestelmässä on mahdollista käyttää vain yhtä primäärilaitetta ja yhtä sekundaarilaitetta kaapelin maksimipituuden rajoituessa 15 metriin. RS-485-järjestelmässä voi sen sijaan olla yksi primäärilaitte ja enintään 31 sekundaarilaitetta samassa sarjaväylässä kaapelin maksimipituuden ollessa 1200 metriä. Toistimien avulla RS-485-järjestelmän sekundaarilaitteiden määrä saadaan nostettua 247. (ST-käsikirja 21, 2022, 77–78.)

6.4 M-Bus

M-Bus-väylä on tarkoitettu erilaisten mittareiden tiedonsiirtoon. M-Bus-väylään liitettäviä laitteita ovat vesi-, energia-, sähkö- ja kaasumittarit, pulssinkeruuyksiköt, toimilaitteet ja anturit. (ST-käsikirja 21, 2022, 79.) M-Bus tunnetaan yleisesti myös nimellä Meter-Bus.

M-Bus-laitteet toimivat kahdella johtimella. Johtimia pitkin syötetään tiedonsiirron lisäksi myös päätelaitteille käyttöjännite. Käyttöjännitteen on oltava vähintään 24 V. M-Bus-väylän kaapelointi voi olla useita kilometrejä pitkä. Väylään kytkettyjen laitteiden lukumäärä, tiedonsiirron nopeus ja kaapelin tyyppi ovat vaikuttavia tekijöitä väylän pituuteen. M-Bus-väylä on saatavilla myös langattomana ratkaisuna. Langattomasta ratkaisusta käytetään nimeä Wireless M-Bus. Langattomissa ratkaisuissa mittareissa käytetään paristojen jännitettä. (ST-käsikirja 21, 2022, 79–80.)

M-Bus-väylä koostuu keskuksesta ja päätelaitteista. Päätelaite voi olla esimerkiksi vesimittari ja keskuslaite näytöllä varustettu keskusyksikkö tai tasomuunnin. Tasomuunnin muuttaa M-Bus-protokollan esimerkiksi Ethernet tai RS-485-liitynnäksi, jolloin mittarien luenta tapahtuu tietokonetta tai rakennusautomaatiota käyttäen. (Saint-Gobain PAM, 2018, 2–5.) Tiedonsiirto toteutuu primääri-sekundaari-protokollan mukaisesti eli keskus lähettää kyselyn päätelaitteelle, jolloin päätelaite vastaa takaisin keskukselle. Viestintä tapahtuu vain yhteen suuntaan ja samanaikaisesti vain yhden keskuksen ja päätelaitteen välillä. M-Bus väylästä on tärkeää muistaa, että se on alun perin kehitetty mittaustietojen

siirtämiseen, joten sen käyttötarkoitukset ja ominaisuudet ovat rajalliset. (ST-käsikirja 21, 2022, 79–80.)

7 IoT-tiedonsiirto

7.1 Yleistä

Internet of things (IoT) eli esineiden internet on teknologia, joka hyödyntää tiedonsiirrossa käytettäviä verkkoratkaisuja esineiden väliseen kommunikointiin. Verkkoyhteys laitteiden välillä mahdollistaa laitteiden hallinnan etänä tai laitteen tuottamaa dataa voidaan hyödyntää erilaisiin käyttötarkoituksiin. Esineiden internet on älykäs infrastruktuuri, joka pystyy käsittelemään kerättyä dataa ja tekemään muutoksia ja tarvittavia päätöksiä. Esineiden internetin haasteena on valtava tiedonsiirron määrä. Tiedonsiirron määrän ollessa suuri on tiedonsiirto myös hitaampaa riippuen yhteyden kaistanleveydestä. Lisäksi IoT-laitteet vaativat tiedonsiirtoon virtaa, joten laitteiden virrankulutus kasvaa tiedonsiirron määrän ja nopeuden kasvaessa. (Yasser 2019, luvut 1–2.5.)

IoT-teknologian potentiaali eri käyttötarkoituksiin on valtava. Kiinteistö-, teollisuus-, logistiikka- ja terveydenhuoltoala ovat esimerkkejä aloista, joissa IoT-teknologiaa hyödynnetään. Tällä hetkellä talotekniikan ratkaisuissa hyödynnetään IoT-tekniikkaa esimerkiksi älykodeissa erilaisten antureiden tiedonsiirrossa. Antureiden keräämän tiedon perusteella voidaan ohjata älykodin erilaisia taloteknisiä järjestelmiä kuten esimerkiksi valaistusta. (Yasser 2019, luku 3.) IoT-sovellukset tulevat yleistymään tulevaisuudessa globaalisti kaikilla aloilla.

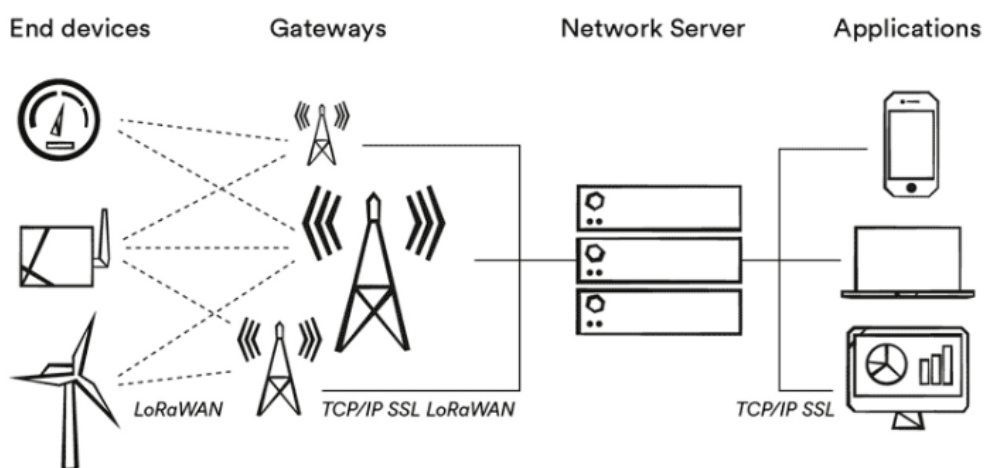
7.2 LoRaWAN

LoRaWAN (Long Range Wide-Area Network) on langaton tiedonsiirtoverkko, joka on kehitetty nopeaan mutta vähätehoiseen tiedonsiirtoon. LoRaWAN-verkko soveltuu parhaiten pienten datamäärien kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon. (Digita 2020a.) LoRaWAN käyttää alle gigahertsin lisensoimattomia

radiotaajuusalueita perustuen LPWAN-verkkoteknologiaan (Low Power Wide Area Network) (Digita 2020b). LPWAN-verkkoteknologia on IoT-tekniikka, jonka peruseriaatteet ovat vähävirtaisuus, pitkä kantama ja laitteiden matala kustannus (Dna 2021). LoRaWAN-teknologian kehityksestä vastaa LoRa Alliance -järjestö. Suomessa LoRaWAN-verkon palveluita tuottaa ja ylläpitää Digita Oy. (Digita 2020a.)

LoRaWAN toimii ISM-taajuusalueella (Industrial, Scientific and Medical). ISM-taajuusalue on lisenssivapaa, joten sitä voi käyttää tietyin rajoituksin kuka tahansa ilman kalliita lisenssimaksuja. LoRaWAN-verkon käyttämät taajuuskaistat vaihtelevat maantieteellisen sijainnin mukaan. Euroopassa LoRaWAN käyttää 863–870 MHz:n ja 433 MHz:n taajuuskaistoja. (The Things Network 2022.)

LoRaWAN-verkkoon kytkettävät anturit ovat langattomia, joten ne eivät vaadi kaapelointia. Anturit käyttävät akkuja tai paristoja, jotka kestävät ilman vaihtoa jopa yli 10 vuotta. LoRaWAN-verkko rakennetaan tähtitopologiana, jolloin gateway toimii antureiden ja verkkopalvelimien välillä (kuva 6). Gatewayt siirtävät LoRaWAN-laitteiden lähettämän datan verkkopalvelimille käyttäen esimerkiksi IP-protokollaa. Verkkopalvelimille siirretty data saadaan välitettyä eteenpäin kolmannen osapuolen järjestelmiin. LoRaWAN käyttää salattua tiedonsiirtoa, joten se on tietoturvallinen ratkaisu. LoRaWAN-verkon tiedonsiirtonopeus on yleensä 0,3–50 Kb/s riippuen anturin ja verkkopalvelimen etäisyydestä ja datamäärästä. (Digita 2020a.)



Kuva 6. LoRaWAN-verkon topologia (Actility 2022).

LoRaWAN soveltuu useisiin erilaisiin IoT-ratkaisuihin. Käyttökohteita ovat esimerkiksi kiinteistöjen valvonta, infrastruktuurin valvonta, ympäristön valvonta sekä tässä opinnäytetyössä käsiteltävä kiinteistöjen kulutustietojen etäluenta. (Digita 2021.)

7.3 NB-LoT

NB-LoT (Narrowband Internet of things) on matkapuhelinverkkojen taajuusalueetta käyttävä laitteiden ja pilvipalveluiden välinen langaton tiedonsiirtoverkko (Digita 2020b). NB-LoT-taajuuksia on maailmanlaajuisesti 26, joista yli 60 % on alle GHz:n taajuusalueella ja alle 30 % yli 1800 MHz taajuusalueella (Haltian 2019). NB-LoT soveltuu kahden suuntaiseen pienien datamäärien ja pitkien kantamien tiedonsiirtoon. Televiestintäalan standardisoimisyhdistykset 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ja GSMA johtavat ja kehittävät NB-LoT-tekniikkaa. (Digita 2020b.) Suomessa NB-LoT-operaattoreita ovat Elisa, Telia ja Dna.

NB-LoT käyttää lisensoituja matkapuhelinverkon taajuuksia toisin kuin LoRaWAN. Kustannukseltaan korkeitten lisenssimaksujen takia NB-LoT-yhteyksiä tarjoavat tällä hetkellä vain suuret teleoperaattorit. (Digita 2020b.) Lisensoidut taajuudet mahdollistavat korkean tiedonsiirron laadun, tietoturvan, vakauden, skaalautuvuuden ja nopeuden. Esimerkiksi kotiverkon WiFi-reititin käyttää lisensoimattomia taajuuksia, jolloin yhteyden käytön kasvaessa yhteys hidastuu. Näin ollen lisensoitujen taajuuksien käyttö luo joissain tilanteissa etua lisensoimattomiin taajuuksiin nähden, mutta se myös nostaa kustannuksia. (Tele2 IoT 2022.)

NB-LoT-järjestelmä ei tarvitse erillistä gatewaytä. Tämä laskee järjestelmän laitteiden hankintakustannuksia. (Thales 2022.) NB-LoT-tekniikassa suurin tiedonsiirtonopeus on 250 Kb/s, joten tiedonsiirto on nopeampaa kuin LoRaWAN-verkossa (taulukko 2). Nopeampi tiedonsiirto vaikuttaa laitteiden virrankulutukseen. Näin ollen NB-LoT-laitteiden virrankulutus on hieman suurempaa kuin LoRaWAN-laitteiden, mikä tarkoittaa suurempia paristoja tai enemmän paristojen vaihtoja. (Digita 2020b.) NB-LoT on tietoturvallinen ratkaisu, koska siinä käytetään vastaavaa tekniikkaa kuin 4G-mobiililiikenteessä (Telia 2022).

NB-IoT on usein ratkaisu käyttökohteisiin, joissa siirrettävän tiedon koko on hieman suurempi tai useampien viestien lähettäminen on tarpeellista. NB-IoT soveltuu myös hyvin haasteellisiin sijanteihin, jotka ovat syrjässä tai maanalaisia. (i-Scoop 2022). Esimerkiksi kiinteistöjen päävesimittarit voivat sijaita lämmönjakohuoneissa maan alla, joten NB-IoT on toimiva ratkaisu juuri tällaisiin kohteisiin.

7.4 LTE-M

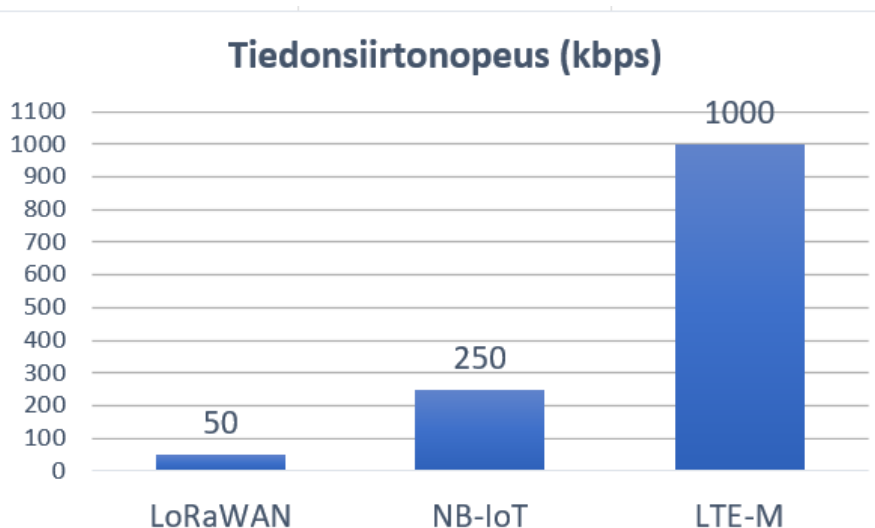
LTE-M eli LTE-Machine Type Communication tunnetaan myös lyhenteillä LTE-MTC ja LTE Cat M. LTE-M on 3GPP:n ja GSMA:n hallinnoima LPWAN-standardi kuten myös NB-IoT. NB-IoT-tekniikan tapaan myös LTE-M-tekniikka toimii lisensoituilla taajuusalueilla. (Telia 2022.) LTE-M-taajuuksia on maailmanlaajuisesti 29 (Haltian 2019). Suomessa LTE-M-operaattoreita ovat Elisa, Telia ja Dna.

LTE-M-tekniikan merkittävämmät edut NB-IoT-tekniikkaan verrattuna on sen suurempi datansiirtokyky (taulukko 2), soveltuvuus liikkuvien laitteiden seurantaan ja valmius puheensiirtoon. Lisäksi LTE-M on soveltuvampi laite- ja ohjelmistopäivitysten suorittamiseen. (Telenor Connexion 2022a.) LTE-M-tekniikan suurin tiedonsiirtonopeus on 1 Mb/s, joten se soveltuu reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon, joka vaatii ajoittain korkeampaa kapasiteettia (Telia 2022). LTE-M-laitteiden virrankulutus on hieman suurempaa kuin NB-IoT-laitteiden, johtuen nopeammasta tiedonsiirrosta (i-Scoop 2022).

Vanhoiden tiedonsiirtotekniikoiden kuten 3G:n ja 2G:n poistuessa markkinoilta on korvaavia tekniikoita löydettävä tilalle. Tällä hetkellä LTE-M ja NB-IoT toimivat jo 4G-verkossa, mutta lisäksi ne ovat täysin yhteensopivia tulevaisuuden ratkaisuihin. Esimerkiksi SIM-kortteja ei tarvitse vaihtaa, kun 5G-verkot yleistyvät. (Dominique, 2020.)

LTE-M-tekniologia on LoRaWAN- ja NB-IoT-tekniologiaan verrattuna soveltuvin tulevaisuuden tarpeisiin. LTE-M-tekniologian nopeampi tiedonsiirtonopeus tukee todennäköisemmin tulevaisuuden käyttötarkoituksia. LTE-M on myös valmiimpi

ratkaisu maailmanlaajuiseen tiedonsiirtoon, koska siihen sisältyy roaming eli verkkovierailu. (Dominique, 2020.) Kulutusmittareiden mittausdatan tiedonsiirrossa osa LTE-M-tekniikan ominaisuuksista eivät ole relevantteja. Kulutusmittarit ovat staattisia ja mittausdata kooltaan pientä, joten LTE-M-tekniikan suuri tiedonsiirtonopeus tai katkeamaton yhteys liikkuvissa kohteissa eivät ole välttämättömiä. LTE-M-tekniikan yleinen käyttötarkoitus on kuitenkin älykkäät mittarit, joten näin ollen sopivin teknologia riippuu aina kohteesta ja käyttötarkoituksesta.



Taulukko 2. LoRaWAN, NB-IoT ja LTE-M maksimitiedonsiirtonopeudet.

8 Arena Nx -ohjelmistoalusta

Kiinteistöistä kulutusmittaustiedot siirretään toimeksiantajan etävalvomossa käytettävään Honeywell CentraLine Arena Nx -ohjelmistoalustaan. Arena Nx on verkkopohjainen kiinteistöjen hallinta- ja valvontaohjelma. Arena Nx pystyy integroimaan erilaisia rakennusautomaatiojärjestelmiä, kolmannen osapuolen laitteita ja Internet-protokollia keskitettyyn ohjelmistoalustaan. Arena Nx -ohjelmalla on useita ominaisuuksia, jotka helpottavat kiinteistöjen hallintaa ja valvontaa. Sillä voi esimerkiksi käsitellä hälytyksiä, kerätä kiinteistön järjestelmistä analytiikkaa, tehdä havainnollistavia raportteja ja valvoa energiankulutuksia. (CentraLine, 2019, 1–2.)

Arena Nx -ohjelmisto tukee MQTT-protokollaa (Message Queue Telemetry Transport) tiedonsiirrossa (CentraLine, 2021). MQTT-protokolla on suunniteltu yhdistämään fyysiset laitteet ja verkot sovelluksiin ja väliohjelmistoihin, jonka takia se on yleisesti käytetty protokolla IoT-järjestelmissä (Telenor Connexion 2022b). Näin ollen tiedonsiirto LoRaWAN-, NB-IoT- ja LTE-M-laitteiden ja Arena Nx -ohjelmiston välillä on mahdollista toteuttaa MQTT-rajapinnan avulla.

9 Kiinteistön kulutusmittausten selvitys

9.1 Yleistä

Opinnäytetyöhön valittu kiinteistö on 2000-luvulla rakennettu toimitilakiinteistö. Kiinteistö koostuu useasta erilaisesta rakennuksesta, joista osa on laajennuksia. Kiinteistön kulutusmittausten kokonaislukumäärä on yli 300 erillistä mitausta. Suurin osa kiinteistön kulutusmittauksista on sähköenergian mittauksia. Veden kulutusmittaukset ovat osittain etäluettavia Fiksuvesi-järjestelmän kautta. Vastaavasti myös osa lämmitysenergian kulutusmittareista ovat etäluettavia kaukolämmön tuottajan toimesta. Kuitenkin valtaosa kiinteistön kulutusmittauksista ovat paikallisesti mittarista luettavia. Kulutusmittausten selvitys toteutettiin yhdessä kiinteistöhoitajien kanssa kuukauden välein suoritettavan mittareiden luennan yhteydessä.

9.2 Lämpöenergian kulutusmittarit

Kiinteistön lämmitys toteutetaan kaukolämmöllä. Näin ollen lämmitysenergianmittarit mittaavat kiinteistön kuluttamaa kaukolämpöenergiaa. Kiinteistön kaukolämmönmittaus on toteutettu Kamstrupin mittareilla. Mittarityypit olivat Kamstrup Multical 602 (kuva 7) ja Multical 601 (kuva 8) Multical III.



Kuva 7. Kamstrup Multical 602 -lämpöenergiamittari.



Kuva 8. Kamstrup Multical 601 -lämpöenergiamittari.

Multical 602 -mittarit ovat varustettu pulssilähdöillä ja pulssituloilla sekä tiedon-siirtomoduurien avulla ne ovat mahdollista liittää myös väylään. Väylämodu-
leita on toistaiseksi vielä saatavilla yleisimpiin väylätyyppeihin kuten Modbus ja
BACnet. Kyseessä olevan kiinteistön Multical 602 -mittarit ovat kaukolämmön
tuottajan toimesta etäluettavia. Näin ollen kulutuslukemat olisivat mahdollista
saada etävalvomoon myös kaukolämmön tuottajalta. Vastaavasti Multical 601 -

mittarityyppiin on myös saatavilla tiedonsiirtomoduulien avulla väyläliitettä pulssilähtöjen lisäksi, mutta mittarit eivät olleet kaukolämmön tuottajan toimesta etäluettavia. Multical III -mittari on varustettu pulssilähdöillä ja pulssituloilla, mutta sitä ei ole mahdollista liittää väylään, joten sen tiedonsiirto mahdollisuudet ovat rajalliset ja tekniikka osittain vanhaa.

9.3 Veden kulutusmittarit

Kiinteistön veden kulutusmittaukset koostuivat päämittauksista ja alamittauksista. Osa vesimittareista oli etäluettavia, sillä ne olivat liitetty Fiksuvesi-järjestelmään. Fiksuvesi-järjestelmä mittaa ja analysoi automaattisesti vedenkulutusta paljastaen samalla vesivuodot. Kiinteistön yhdessä rakennuksessa veden kulutusmittaukset ovat toteutettu Factatherm 3000 -vedenmittausjärjestelmällä (kuva 9).



Kuva 9. Factatherm 3000 -vedenmittausjärjestelmä.

Factatherm 3000 -järjestelmä koostuu impulssivesimittareista, huoneistoyksiköistä ja keskusyksiköstä. Keskusyksikkö kerää ja tallentaa kulutuslukemat huoneistoyksiköiltä, jolloin kulutuslukemat ovat luettavissa kootusti keskusyksikön näytöltä. Keskusyksikössä on lisäksi RS-232-liitettä tiedonsiirtoa varten, mutta järjestelmän ikä huomioiden tiedonsiirron toimivuus ja yhteensopivuus muiden laitteiden kanssa on epävarmaa.

9.4 Sähköenergian kulutusmittarit

Kiinteistössä oli paljon sähköenergian kulutusmittareita, jotka ovat paikallisesti mittarista luettavia. Yhdessä rakennuksessa sähkömittaukset ovat liitetty rakennusautomaatiojärjestelmään, mutta mittausten tiedonsiirto ei toiminut. Tietyissä mittarityypeissä ei ollut lainkaan ulostuloja. Mittaroinnit koostuivat päämittauksista ja alamittauksista. Sähkömittarit sijaitsivat pääosin sähkökeskus huoneissa tai muissa teknisissä tiloissa.

Kiinteistössä oli kaksi sähkömittarityyppiä, joissa on väyläliitettä mahdollisuus. Nämä sähkömittarit ovat Carlo Gavazzin valmistamat WM14-DIN (kuva 10) ja WM3-96 (kuva 11). Sähkömittarityypissä WM14-DIN on vakiona kaksi pulssilähtöä ja lisäksi lisämoduulia käyttäen on mittari liitettävissä Modbus väylään RS-485- tai RS-422-sarjaliitännällä. Vastaavasti WM3-96 mittarityypissä on mahdollisuus neljään pulssilähtöön ja väyläliitettä mahdollisuus Modbus väylään RS-485- tai RS-422-sarjaliitännällä.



Kuva 10. Carlo Gavazzi WM14-DIN -sähköenergiamittareita.



Kuva 11. Carlo Gavazzi WM3-96 -sähköenergiamittari.

Suurin osa kiinteistön sähkömittareista ovat varustettu ainoastaan pulssilähdöillä. Tämä hankaloittaa mittareiden tiedonsiirtoa eteenpäin, koska pulssilähdöt vaativat todennäköisesti pulssilaskurin. Tällaisia sähkömittareita kiinteistössä ovat ABB:n DPP 211700, Merlin Gerin ME4zrt (Schneider Electric) GYCOM Gylec YL3-CT ja Landis+Gyr K420INVPS. Lisäksi kiinteistössä on Merlin Gerin ME3 (Schneider Electric) mittarityyppi, jossa ei ollut ulostuloja lainkaan.

10 IoT-tiedonsiirtolaitteet

10.1 Yleistä

IoT-laitteita on markkinoilla paljon erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Myytäviä IoT-laitteita ovat esimerkiksi gatewayt, reitittimet, anturit ja moduulit. Lisäksi on saatavilla mittareita, joissa on integroituna IoT-yhteys. Opinnäytetyöhön valitut IoT-

laitteet löytyivät etsimällä Internetistä IoT-laitteiden valmistajia ja jälleenmyyjiä. Opinnäytetyöhön valikoidut laitteet ovat Advantechin valmistamia laitteita. Advantechin laitteiden myyjä ja asiantuntija Suomessa on NDC Networks Oy. Tässä työssä mainitut laitteiden hinnat ovat suuntaa antavia hintoja laitteille tämänhetkisen hintatason mukaan.

10.2 NB-IoT- ja LTE-M-laitteet ja liittymät

NB-IoT- ja LTE-M-tiedonsiirtoon tarvitaan Advantechin WISE 4471 IoT-moduuli (kuva 12). Laite tukee NB-IoT- sekä LTE-M-teknologiaa riippuen operaattorin liittymätyypistä. Laitteessa on SIM-korttipaikka liittymää varten. WISE 4471 toimii 10–50 VDC jännitteellä ja sen voi kiinnittää DIN-kiskoon tai seinään. Laite on yhteydessä suoraan pilvipalveluun, josta siirrettävät tiedot ovat saatavilla kolmannen osapuolen järjestelmään erilaisten rajapintojen kautta. (Advantech 2019.) Advantechin WISE 4471 IoT-moduulin veroton hinta on noin 250 € (NDC Networks 2022a).



Kuva 12. Advantech WISE 4471 IoT-moduuli (NDC Networks 2022b).

Kulutusmittareiden liittäminen varsinaiseen IoT-moduuliin toteutetaan lisämoduulin avulla. Lisämoduuleita on saatavilla useita erilaisia vaihtoehtoja, joissa on eri lukumäärä erilaisia liitantomahdollisuuksia. Liitantomahdollisuuksia ovat analoginen tulo, digitaalinen tulo ja väyläliitäntä. Kyseessä olevat laitteet tukevat Modbus RTU väylää. Kiinteistön kulutusmittareiden ulostulojen perusteella parhaiten soveltuva lisämoduuli on WISE-S251. WISE-S251 lisämoduulissa on kuusi digitaalista tuloa ja yksi RS-485-sarjaportti väyläliitännälle. Näin ollen väyläliitännällä varustetut kulutusmittarit ovat mahdollista liittää parikaapelilla suoraan RS-485-sarjaporttiin. Vastaavasti pulssilähdöillä varustetut kulutusmittarit ovat mahdollista liittää digitaaliseen tuloliitantaan, mutta on todennäköistä, että tiedonsiirto ei toimi luotettavasti, jolloin väliin on kytkettävä väyläliitännällä varustettu pulssilaskuri. (Advantech 2019.) Advantech WISE-S251 lisämoduulin veroton hinta on noin 50 € (NDC Networks 2022a).

Jokainen Advantech WISE 4471 IoT-moduuli tarvitsee operaattorin NB-IoT- tai LTE-M-liittymän. Liittymä asetetaan laitteeseen SIM-kortin avulla. Operaattorien liittymien hinnat vaihtelevat laitemäärästä ja laskutustavasta riippuen. Laskutustapa voi perustua esimerkiksi datankulutukseen, jonka lisäksi on kiinteä kuukausimaksu tai tiedonsiirron nopeuteen perustuva laskutus, jolloin tiedonsiirron nopeus valitaan tarpeen mukaan, jolloin laskutus suoritetaan liittymän nopeuden perusteella. Operaattoreita, laskutustapoja ja liittymäsopimuksia on erilaisia, joten ei ole operaattorien kilpailullisista syistä järkevää vertailla tai tuoda ilmi liittymien hintoja tässä opinnäytetyössä. Liittymien hinnat ovat kuitenkin vastaavia kuin kuluttaja-asiakkaille tarkoitettujen perinteisten verkkojen kuten 3G-verkon laiteliittymien hinnat eli muutamia euroja laitetta kohti.

Edellä mainittujen IoT-laitteiden fyysiset kytkennät ja asennukset ovat yksinkertaisia, mutta näiden lisäksi laitteet vaativat konfiguroinnin. Konfigurointi suoritetaan valmistajan ohjelmilla. Konfiguroinnissa laitteille asetetaan halutut tiedonsiirron asetukset, jotta haluttu data saadaan tuotua haluttuun kolmannen osapuolen järjestelmään. Esimerkiksi Arena NX -ohjelmistoalusta tukee MQTT-tiedonsiirtoa, joten konfiguroinnissa on asetettava MQTT-tiedonsiirtoasetukset.

10.3 LoRaWAN-laitteet

LoRaWAN-tiedonsiirtoon tarvittavat laitteet ovat Advantechin WISE 6610 LoRaWAN gateway (kuva 13) ja Wzzard LRPv2 LoRaWAN node (kuva 14). Wzzard LRPv2 LoRaWAN node on laite, joka on fyysisesti kytketty kulutusmittariin. Nodesta tiedonsiirto tapahtuu eteenpäin LoRaWAN-taajuuksia käyttäen WISE 6610 LoRaWAN gatewaylle, josta tiedonsiirto tapahtuu taas eteenpäin. WISE 6610 LoRaWAN gatewayhin on mahdollista kytkeä gatewayn mallista riippuen 100–500 nodea. WISE 6610 gateway toimii 9–36 VDC jännitteellä ja Wzzard LRPv2 node kahdella 3,6 V AA-paristolla tai 9–36 VDC jännitteellä. (Advantech 2020, Advantech 2021.)



Kuva 13. Advantech WISE 6610 LoRaWAN gateway (Advantech 2021).



Kuva 14. Advantech Wzzard LRPv2 LoRaWAN node (Advantech 2020).

Wzzard LRPv2 LoRaWAN nodeja on saatavilla useilla erilaisilla liitännöillä. Väyläliitännäiset kulutusmittarit ovat mahdollista kytkeä noden RS-485-sarjaporttiin parikaapelilla Modbus RTU väylää käyttäen. (Advantech 2020.) Väyläliitännäisen noden veroton hinta on noin 300 € (NDC Networks 2022a). Vastaavasti pulssiulostulolla varustetut kulutusmittarit ovat mahdollista liittää nodeen, jossa on neljä analogista tuloa, kaksi digitaalista tuloa ja yksi digitaalinen lähtö (Advantech 2020). Tässäkin tapauksessa tarvitaan todennäköisesti noden ja kulutusmittarin väliin väyläliitännäinen pulssilaskuri, jotta tiedonsiirto toimii luotettavasti. Kyseessä olevan noden veroton hinta on noin 200 € (NDC Networks 2022a).

Kulutusmittareihin kytketyt nodet ovat langattomasti yhteydessä WISE 6610 gatewayhin. Kiinteistön kulutusmittareita on kohteessa paljon ja rakennuksia on monia, joten yksi gateway ei todennäköisesti riitä kyseessä olevaan kohteeseen. WISE 6610 E100-A gatewaymalli on mahdollista liittää lähiverkkoon RJ-45 porttia käyttäen. Lisäksi on olemassa WISE 6610 E100C-A gatewaymalli, jossa on LTE-M tiedonsiirto mahdollisuus. LTE-M tiedonsiirtoa varten tarvitaan gatewayhin operaattorin SIM-kortti ja liittymä. Kyseessä oleviin gatewayhin on mahdollista liittää 100 nodea. (Advantech 2021.) WISE 6610 E100-A gatewayn

veroton hinta on noin 850 € ja WISE 6610 E100C-A veroton hinta on noin 950 € (NDC Networks 2022a).

LoRaWAN-laitteet vaativat myös fyysisten kytkentöjen ja asennusten lisäksi konfiguroinnin sekä nodeille että gatewaylle. Konfigurointi suoritetaan laitevalmistajan ohjelmilla. Konfiguroinnissa laitteille asetetaan halutut tiedonsiirron asetukset, jotta haluttu data saadaan tuotua Arena NX -ohjelmistoalustaan.

11 Toteutusehdotukset

Opinnäytetyössä käytetyn kiinteistön kulutusmittaukset olivat pääosin paikallisesti mittarista luettavia. Paikallinen mittarien luenta on työlästä ja aikaa vievää, mutta se on myös epäluotettavampaa ihmisten virheiden vuoksi verrattuna etäluentaan. Kulutusmittareiden etäluenta mahdollistaa myös reaaliaikaisemmat kulutustiedot, jolloin mahdolliset poikkeamat ovat nopeammin todettavissa. Näin ollen kyseessä olevan kiinteistön kulutusmittarit olisivat järkevää muuttaa etälueuttavaksi. Toimenpide-ehdotusten havainnollistamiseksi on laadittu taulukko kiinteistön nykyisistä kulutusmittareista (taulukko 3).

Kulutusmittari	Kulutusmittarin tiedonsiirto	Toimenpide-ehdotus
Kaukolämpö		
Kamstrup Multical 602	Väylä / Pulssi	
Kamstrup Multical 601	Väylä / Pulssi	
Kamstrup Multical III	Pulssi	Kulutusmittarin uusinta
Vesi		
Factatherm 3000 -järjestelmä		Mittausjärjestelmän päivitys tai uusinta
Sähkö		
ABB DPP 211700	Pulssi	Kulutusmittarin uusinta

Merlin Gerin ME3 (Schneider Electric)		Kulutusmittarin uusinta
Merlin Gerin ME4zrt (Schneider Electric)	Pulssi	Kulutusmittarin uusinta
Carlo Gavazzi WM14- DIN	Väylä / Pulssi	
Carlo Gavazzi WM3-96	Väylä / Pulssi	
GYCOM Gylec YL3-CT	Pulssi	Kulutusmittarin uusinta
Landis+Gyr K420INVPS	Pulssi	Kulutusmittarin uusinta

Taulukko 3. Toimitilakiinteistön kulutusmittarien toimenpide-ehdotukset.

Taulukossa 3. on esitetty toimitilakiinteistön nykyiset kulutusmittarit, kulutusmittarien tiedonsiirtotekniikat sekä toimenpide-ehdotukset kulutusmittareille. Tiedonsiirtoon tarvittavista IoT-laitteista on vastaavasti laadittu havainnollistava taulukko (taulukko 4).

Tiedonsiirtolaite	Tiedonsiirto	Operaattorin liittymä	Hinta (alv 0 %)
LoRaWAN			
WISE 6610 E100-A gateway	Ethernet		850 €
WISE 6610 E100C-A gateway	LTE-M	SIM-kortti	950 €
Wzzard LRPv2 LoRaWAN node	Modbus RTU		300 €
Wzzard LRPv2 LoRaWAN node	4 x AI, 2 x DI ja 1 x DO		200 €
NB-IoT ja LTE-M			
WISE 4471 IoT-moduuli	NB-IoT tai LTE-M	SIM-kortti	250 €
WISE-S251 lisämoduulin	Modbus RTU ja 6 x DI		50 €

Taulukko 4. Advantechin IoT-laitteet.

Taulukossa 4. on esitetty LoRaWAN gatewayn kaksi erillistä mallia. Toinen gateway on varustettu Ethernet-tiedonsiirrolla ja toinen LTE-M-tiedonsiirrolla. Vastaavasti LoRaWAN nodeista on esitetty väylä liitännällä varustettu malli sekä analogisilla ja digitaalisilla tuloilla varustettu malli. NB-IoT- ja LTE-M-laitteista on esitetty IoT-moduuli ja siihen tarvittava lisämoduuli sekä sen liitännät. Operaattorin liittymä sarakkeessa on esitetty laitteen SIM-kortin tarve operaattorin liittymää varten.

Opinnäytetyössä käytetyn toimitilakiinteistön kaukolämmön energiamittareista Kamstrupin Multical 602 -lämpöenergiamittarit olivat valmiiksi etäluettavia kaukolämmön tuottajan toimesta, joten kulutuslukemat ovat saatavilla kaukolämmön tuottajalta. Multical 602 -lämpöenergiamittareissa on kuitenkin Modbus RTU väyläliitännämahdollisuus, joten ne ovat mahdollista liittää Advantechin IoT-laitteisiin. Multical 601 -lämpöenergiamittarit tukevat myös Modbus RTU väylää lisämoduulia käyttäen, joten liitännä IoT-laitteisiin on mahdollista toteuttaa väyläliitännällä. Multical III -lämpöenergiamittarit ovat vanhentunutta tekniikkaa ja liitännä IoT-laitteisiin ei ole mahdollista toteuttaa väylätekniikalla, joten mittarit tulisi korvata uusilla mittareilla. Multical III -mittarit olisi mahdollista korvata esimerkiksi Kamstrupin uusilla lämpöenergian kulutusmittarimalleilla, joihin on saatavilla integroituna NB-IoT moduuli etäluentaa varten.

Kiinteistön veden kulutusmittauksista Factatherm 3000 -vedenmittausjärjestelmään liitetyt vesimittarit eivät olleet etäluettavia. Factatherm 3000 -vedenmittausjärjestelmä on vanha, jotenärkevin ratkaisu on päivittää järjestelmää. Järjestelmän myyjällä Kaiko Oy:llä on saatavilla uusia komponentteja järjestelmään, joissa on nykyaikaiset etäluenta mahdollisuudet. Järjestelmää ei ole välttämätöntä uusia kokonaan vaan päivitys on mahdollista toteuttaa komponenteittain. Vaihtoehtoisia ratkaisuja on liittää vesimittarit Fiksuvesi-järjestelmään tai uusia vesimittarit uusiin vesimittareihin, joissa on integroituna IoT-tiedonsiirtomahdollisuus. Näin ollen kyseessä olevan kiinteistön veden kulutusmittauksiin ei kannata liittää Advantechin IoT-laitteita.

Kiinteistön sähköenergian kulutusmittarit, jotka tukevat väyläliitännää ovat mahdollista liittää Advantechin IoT-laitteisiin Modbus RTU väylää käyttäen. Tällaisia

mittareita kiinteistössä olivat Carlo Gavazzin valmistamat WM14-DIN ja WM3-96. WM14-DIN mittareita on kiinteistössä paljon samassa tilassa, joten mittarit tulisi liittää ryhmittäin samaan väylään, joka on yhteydessä IoT-laitteeseen. Tätä tekniikkaa käyttäen tarvittavien IoT-laitteiden määrä ei ole niin suuri. Kiinteistössä oli paljon sähköenergian kulutusmittareita, joissa oli ainoastaan pulssitulo tai ei tuloja lainkaan. Tällaiset mittarit tulisi vaihtaa uusiin väyläliitäntäisiin mittareihin, jotta tiedonsiirto IoT-laitteisiin olisi luotettavaa ja mahdollista. Pulssituloilla varustetut mittarit ovat käytännössä mahdollista liittää IoT-laitteisiin, mutta tämä ei ole suositeltavaa. Näin ollen mittarityypit ABB:n DPP 211700, Merlin Gerin ME4zrt (Schneider Electric) GYCOM Gylec YL3-CT, Landis+Gyr K420INVPS ja Merlin Gerin ME3 (Schneider Electric) tulisi vaihtaa uusiin mittareihin, joissa on väyläliitäntä tai integroitu IoT-tiedonsiirtomahdollisuus.

12 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja vertailla kiinteistön kulutusmittausten erilaisia tiedonsiirtotekniikoita kiinteistön ja etävalvomon välillä. Tiedonsiirtotekniikoiden selvityksen ja vertailun ohessa opinnäytetyössä on selvitetty toimeksiantajan asiakkaan kiinteistön nykyiset kulutusmittariratkaisut.

IoT-tiedonsiirtotekniikoiden vertailussa ei ilmennyt selvästi parasta tiedonsiirtotekniikkaa. LoRaWAN-, NB-IoT- ja LTE-M-laitteiden hinnoissa, ominaisuuksissa ja toteutettavuudessa ei ilmennyt merkittäviä eroja. Yksi eroavaisuus on LoRaWAN-laitteiden kuuluvuus, joka voi luoda haasteita kyseessä olevassa kiinteistössä. Kuuluvuutta voidaan parantaa lisäämällä LoRaWAN-gateway laitteita, mutta se lisää kustannuksia. Vastaavasti NB-IoT- ja LTE-M-laitteet vaativat operaattorin liittymän, joten se lisää kustannuksia verrattuna LoRaWAN-tiedonsiirtoon. LoRaWAN-, NB-IoT- ja LTE-M-laitteiden fyysiset asennukset vaativat oman aikansa, mutta laitteiden konfigurointi vaatinee eniten työtunteja ja osaamista. On myös syytä muistaa, että kulutusmittareiden lähettämät tiedot ovat vain numeroita, joten ne on visualisoitava Arena NX -ohjelmistossa, jotta ne olisivat helpommin tulkittavissa.

Tässä opinnäytetyössä esillä olleet IoT-tiedonsiirtotekniikat ja laitteet eivät ole perinteisiä eikä ainoita menetelmiä kulutusmittareiden etäluentaan. Suurimaksi haasteeksi opinnäytetyön IoT-tiedonsiirtotekniikoille ja laitteille muodostuvat kustannukset. Opinnäytetyössä käytetyn kiinteistön kulutusmittareiden muutokset etäluettavaksi olisi todennäköisesti järkevin toteuttaa seuraavan rakennusautomaatiosaneerauksen yhteydessä esimerkiksi tuomalla kulutuslukemat rakennusautomaatiojärjestelmään tai erilliseen kulutusseurantajärjestelmään. Opinnäytetyön IoT-tiedonsiirtotekniikoita ja laitteita olisi järkevää kokeilla ensiksi esimerkiksi pienemmissä kohteissa, joissa toimivuus ja kannattavuus olisi vattomampi todeta. Lisäksi kulutusmittaukset eivät ole ainoita kiinteistön mittauksia, joita voidaan siirtää kyseessä olevilla tekniikoilla. Esimerkiksi huonelämpötilamittaukset tai rakennusten paine-eromittaukset voisivat olla mittauksia, joita siirretään IoT-tiedonsiirtotekniikalla etävalvomoon.

Opinnäytetyön kirjoittaminen antoi minulle paljon uutta tietoa rakennusautomaatiosta, IoT-teknologioista ja kiinteistön kulutusmittauksista. Kirjoitusprosessin aikana koen kehittyneeni ja oppineeni paljon. IoT-tiedonsiirto on verrattain uusi teknologia, joten se loi haasteita opinnäytetyön kirjoittamiseen varsinkin, kun aihe oli minulle ennestään tuntematon. Opinnäytetyötä voisi jatkaa esimerkiksi IoT-tiedonsiirtojärjestelmän käyttöönotolla, jossa IoT-laitteet asennettaisiin ja konfiguroitaisiin toimivaksi järjestelmäksi.

Lähteet

- Aatsalo, J. 2020. Veden kulutuksen mittaaminen muuttuu pakolliseksi. Rakennuslehti. <https://www.rakennuslehti.fi/2020/11/veden-kulutuksen-mittaaminen-muuttuu-pakolliseksi/>. 4.4.2022.
- Actility S.A. 2022. LoRaWAN Network Server. <https://www.actility.com/lorawan-network-server/>. 17.2.2022.
- Advantech. 2019. WISE-4471 Cat. NB1/ Cat. M1 Wireless I/O Module. [https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/WISE-4471/file/WISE-4471_2-page_DS\(073019\)20190820185824.pdf](https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/WISE-4471/file/WISE-4471_2-page_DS(073019)20190820185824.pdf). 8.4.2022.
- Advantech. 2020. Wzzard LRPv2 Node Industrial LoRaWAN Node. [https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/BB-WSW2C42100/file/Wzzard-LRPv2-Node_DS\(121720\)20201231113742.pdf](https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/BB-WSW2C42100/file/Wzzard-LRPv2-Node_DS(121720)20201231113742.pdf). 8.4.2022.
- Advantech. 2021. WISE 6610 Industrial LoRaWAN Gateway. [https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/WISE-6610-E500/file/WISE-6610_DS\(1022221\)20210223090825.pdf](https://advdownload.advantech.com/productfile/PIS/WISE-6610-E500/file/WISE-6610_DS(1022221)20210223090825.pdf). 8.4.2022.
- BACnet International. 2014. Introduction to BACnet For Building Owners and Engineers. <https://www.ccontrols.com/pdf/BACnetIntroduction.pdf>. 15.2.2022.
- Centraline. 2019. Arena Nx Specification sheet. <https://products.centraline.com/en/pdf/en0z1024-ge51r1219.pdf>. 4.2.2022.
- Centraline. 2021. EAGLEHAWK NX INTEGRATED PLANT CONTROLLER. https://products.centraline.com/en/ecatdata/pg_gr-clnxeaglehawk.html. 7.2.2022.
- Digita Oy. 2020a. LoRaWAN-teknologia. <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/#/>. 25.1.2022.
- Digita Oy. 2020b. 10 faktaa LoRaWAN- ja NB-IoT-teknikasta. <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/10-faktaa-lorawan-ja-nb-iot-teknikasta/>. 26.1.2022.
- Digita Oy. 2021. Digita IoT esitysmateriaali. 19.4.2021.
- Dna Oyj. 2021. NB-IoTLTE-mWiFiCat-MWeightlessMTCLoRa5GMIoTcat-NB2BluetoothSigfox – vai mitä? Alma Media: Tivi. <https://www.tivi.fi/kumppanisallot/dna/blogi-nb-iotlte-mwificat-mweightlessmtclora5gmioTcat-nb2bluetoothsigfox-vai-mita/>. 17.2.2022.
- Dominique, A. 2020. LTE-M ja NB-IoT – taistelkaa! Dna Oy. <https://www.dna.fi/yrityksille/blogi/-/blogs/lte-m-ja-nb-iot-taistelkaa>. 27.1.2022.
- Haltian. 2019. Frequency bands for ten most popular IoT protocols. <https://haltian.com/resource/frequency-bands-for-ten-most-popular-iot-protocols/>. 3.3.2022.
- i-Scoop. 2022. NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT. <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/lpwan/nb-iot-narrow-band-iot/>. 18.2.2022.
- Kiinteistö RYL. 2021. Rakennustieto Oy. 21.2.2022.
- Koka Oy. 2022. Vesimittari. <https://koka.fi/wp-content/uploads/2019/08/T1-FI-Tekniset-tiedot-GSD-45.pdf>. 11.2.2022.

- Modbus. 2006. MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.02. https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf. 16.2.2022.
- Motiva Oy. 2021. Vedenkulutus. https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/hyva_ arki_ kotona/vedenkulutus. 11.2.2022.
- NDC Networks Oy. 2022a. Haastattelu: Villamo, J. 2022. Key Account Manager. 16.3.2022.
- NDC Networks Oy. 2022b. WISE-4471. <https://www.ndc.fi/product-page/wise-4471>. 6.4.2022.
- Paasisalo, M. 2014. Kiinteistön kulutusten mittarointi. Metropolia ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka. Insinööriyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405045670>. 20.1.2022.
- Saint-Gobain PAM. 2018. M-Bus-etäluennan suunnitteluohje. <https://www.pam-line.fi/materiaalipankki/ohjeet/mittaustekniikka>. 16.2.2022.
- ST-käsikirja 17. 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Sähkötieto ry. 11.2.2022.
- ST-käsikirja 21. 2022. Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. Sähkötieto ry. 11.2.2022.
- ST-21.34. 2015. Ohjeita energiamittausten ja energianhallintajärjestelmien toteutukseen. Sähkötieto ry. 11.2.2022.
- ST-669.10. 2021. Kiinteistöjen etävalvonta ja tiedonsiirto. Sähkötieto ry. 21.2.2022.
- ST-701.61. 2016. Tiedonsiirron rajapintojen perusteita. Sähkötieto ry. 21.2.2022.
- ST-709.00. 2017. Kiinteistön hallintajärjestelmien peruskäsitteet ja terminologia. Sähkötieto ry. 12.2.2022.
- ST-710.01. 2016. Avointa väylätekniikkaa hyödyntävän hankkeen yleisohje. Sähkötieto ry. 12.2.2022.
- Suomäki, J. & Vepsäläinen, S. 2013. Talotekniikan automaatio käyttäjän opas. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.
- Swan, B. 2022. The Language of BACnet-Objects, Properties and Services. BACnet. <http://www.bacnet.org/Bibliography/ES-7-96/ES-7-96.htm>. 17.2.2022.
- Telenor Connexion. 2022a. LTE-M vs NB-IoT – a guide exploring the differences between LTE-M and NB-IoT. <https://www.telenorconnexion.com/iot-insights/lte-m-vs-nb-iot-guide-differences/>. 17.2.2022.
- Telenor Connexion. 2022b. What are the IoT communications and protocols? <https://www.telenorconnexion.com/iot-insights/what-is-iot-communications-protocols/>. 21.2.2022.
- Tele2 IoT. 2022. LTE-M: Licensed Spectrum vs Unlicensed Spectrum. <https://tele2iot.com/article/lte-m-licensed-spectrum-vs-unlicensed-spectrum/>. 18.2.2022.
- Telia Oyj. 2022. NB-IoT. <https://www.telia.fi/yrityksille/iot/nb-iot>. 26.1.2022.
- Thales. 2022. Narrowband IoT (NB-IoT). <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/resources/innovation-technology/nb-iot>. 19.4.2022.
- The Things Network. 2022. LoRaWAN: Regional Parameters. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/regional-parameters/>. 17.2.2022.
- Thomas, G. 2008. Introduction to the Modbus Protocol. Contemporary Controls Inc. <https://www.ccontrols.com/pdf/Extv9n4.pdf>. 16.2.2022.

Yasser, I. 2019. Introductory Chapter: Internet of Things (IoT) Importance and Its Applications. Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications. Lontoo: IntechOpen.17.2.2022.