

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ENERGIAKATSELMOINTIIN LIITTY- VIEN MITTAUKSIEN TOTEUTUS JA MITTAUSTIETOJEN RAPORTOINTI

TEKIJÄ Emmi Heikkinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Emmi Heikkinen	
Työn nimi Energiakatselmointiin liittyvien mittauksien toteutus ja mittaustietojen raportointi	
Päiväys 29.11.2022	Sivumäärä/Liitteet 46/3
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Voimatel Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää energiakatselmointiin liittyviin mittauksiin uusi toteutus- ja raportointimalli. Työn tilaajana toimi Voimatel Oy, Energiapalvelut. Työssä haluttiin kehittää ja määrittellä energiakatselmuksiin tulevia ja tarvittavia mittauksia. Motivan määrittämät mittaukset energiakatselmuksiin liittyen toimivat pohjana opinnäytetyössä. Työssä perehdyttiin miten saada kertamittausten sijaan sarjamittausta ja miten sarjamuotoista dataa voidaan hyödyntää. Opinnäytetyössä käsiteltiin IoT-pohjaisia ratkaisuja ja mahdollisia laitteita, jotka sopisivat mittauksien toteuttamiseen.</p> <p>Työn alkuosassa perehdyttiin yleisesti energiakatselmustoimintaan, katselmusmalleihin ja Motivan määrittämiin energiakatselmuksien mittauksiin. Työssä käsiteltiin Motivan määrittämiä kiinteistö- ja teollisuuskohteiden katselmointimalleja. Kohde määrittää, mitä katselmointimallia käytetään. Katselmointimallin perusteella on määritetty, mitä mittauksia kohteessa tulee suorittaa.</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin IoT-pohjaisten ratkaisujen käyttöä. Työssä mietittiin, miten energiakatselmuksia ja sarjamuotoisen datan saaminen voitaisiin toteuttaa IoT:n avulla. IoT tarkoittaa esineiden ja laitteiden yhdistämistä internetiin, joten selvitettiin millaisia IoT-pohjaisia laiteratkaisuja ja tietoliikenneyhteyksiä on ja miten ne soveltuisivat haluttujen mittauksien toteuttamisessa.</p> <p>Kun työssä oli perehdytty energiakatselmointiin, vaadittuihin mittauksiin sekä IoT-ratkaisuihin ja mahdollisiin toteutustapoihin, kuvailtiin, miten sarjamuotoisen datan kerääminen, käsittely sekä raportointi ja analysointi voitaisiin toteuttaa. Työssä käsiteltiin, miten sarjamuotoista dataa voidaan hyödyntää energiatehokkuuden näkökulmasta ja miten sarjamuotoisesta datasta hyödytään enemmän kuin kertamittauksista.</p> <p>Työn tuloksena saatiin pohja energiakatselmointien mittauksien toteutukseen ja raportointiin. Tässä työssä tehtyjen selvityksien ja esitettyjen asioiden perusteella voidaan toteuttaa energiakatselmointien mittaukset käytännössä. Jatkoselvityksenä on esitetty työn toteutus konkreettisesti ja selvitys, kuinka työssä esitetyt ratkaisut sopivat käytäntöön.</p>	
Avainsanat Energiakatselmus, IoT, sarjamittausta, LoRaWAN, energiatehokkuus	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Emmi Heikkinen	
Title of Thesis Implementation of measurements related to energy audits and analysis of measurement data	
Date 29.11.2022	Pages/Appendices 46/3
Client Organisation /Partners Voimatel Oy	
<p>Abstract</p> <p>The object of this thesis was to develop a new implementation and reporting model for energy reviews. This thesis was commissioned by Voimatel Oy, Energy services. The goal of this thesis was to develop and define needed and necessary measurements for energy reviews. This thesis was based on measurements defined by Motiva connected to energy reviews. The use of serial measurements instead of one-off measurements and how to utilize serial measurements data were studied. In addition, IoT-based solutions and possible devices which could be suitable for measurements were investigated in this thesis.</p> <p>The thesis was started by getting acquainted with energy reviews, review models and energy review measurements defined by Motiva. The Motiva's review models for premises and industrial sites were studied. The review model is chosen according to the site. The review model defines which measurements need to be done in the site. Next it was studied how energy reviews and serial measurements could be implemented with IoT. It was investigated what IoT based device solutions and communications there are and how they suit for the wanted measurements. After that it was studied and described how to collect, handle and report and analyze the serial measurements data. It was investigated how serial measurements data could be utilized from the aspect of energy efficiency and how to utilize data more from the serial measurements than from one-off measurements.</p> <p>As a result of this thesis, a model for the implementation of energy review measurements and reporting was made. Based on the research in this thesis, it will be possible to carry out these measurements in practice.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Energy review, IoT, serial measurement, LoRaWAN, energy efficiency</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn taustat ja tavoitteet	6
1.2	Voimatel Oy.....	6
2	YLEISESTI ENERGIAKATSELMUKSISTA.....	8
2.1	Johdanto energiakatselmustoimintaan	8
2.2	Energiatuki	8
2.3	Tavoitteet.....	9
2.4	Energiakatselmustoiminnan osapuolet	9
2.5	Ohjeistus.....	10
2.6	Vaiheet ja tehtävät.....	10
3	MOTIVAN KATSELMOINTIMALLIN VAADITTAVAT MITTAUKSET	13
3.1	Energiakatselmustoiminnan yleisohjeet	13
3.2	Katselmointimallit.....	14
3.2.1	Täsmäkatselmus.....	14
3.2.2	Kiinteistö.....	14
3.2.3	Teollisuus.....	15
4	ENERGIAKATSELMOINTI MITTAUSTEN TOTEUTUS	20
4.1	Toimintamalli.....	20
4.2	Ajan merkitys mittausten toteutuksessa.....	21
4.3	Mittalaitteiden sijoittaminen kiinteistössä	21
4.4	Esineiden internet	21
4.5	LoRaWAN-verkko ja sen toiminta	23
4.5.1	LoRaWAN-verkon arkkitehtuuri	24
4.5.2	Tiedonsiirron varmistus LoRaWAN-verkossa	24
4.6	Mittalaiteratkaisut	25
4.7	Mittauksien kesto	29
5	DATAN KÄSITTELY, RAPORTOINTI JA ANALYSOINTI.....	30
5.1	Datan keräys	30
5.2	Datan käsittely.....	30
5.3	Raportointi ja analysointi	34
5.4	Kustannukset.....	36

6	ESIMERKKI KATSELMUKSEN JA MITTAUSTEN TOTEUTUKSESTA KÄYTÄNNÖSSÄ	38
7	YHTEENVETO.....	40
	LIITE 1. MOTIVAN MÄÄRITTELEMÄT MALLIKOHTAISET MITTAUKSET (TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ, 2022).....	44
	LIITE 2: PROSESSIKAAVIO – ENERGIAKATSELMUKSEN TOTEUTUS	45
	LIITE 3: PROSESSIKAAVIO – MITTAUSTEN TOTEUTUS	

KUVALUETTELO

KUVA 1. Voimatelin energiapalveluiden yleiskuva (Voimatel Oy, 2022).....	7
KUVA 2. Katselmuksien kolmitasoinen ohjeistus (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021).....	10
KUVA 3. Katselmushankkeen vaiheet ja tehtävät (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)	11
KUVA 4. Teollisuuden 2-vaiheisen energiakatselmuksen vaiheistuksen periaate (muokattu kuva; Motiva, 2022).....	17
KUVA 5. Toimintamalli	20
KUVA 6. IoT-järjestelmien käyttökohteita ja sen sovelluksia (Muokattu kuva; URN:NBN:fi:jyu- 201712204799.pdf).....	22
KUVA 7. IoT-arkkitehtuuri (Muokattu kuva; Easily Understand IOT Block Diagram and Architecture - ETechnoG)	23
KUVA 8. LoRa arkkitehtuuri.....	24
KUVA 9. Garlo Gavazzi EM340 energiamittari (sähkönumerot.fi, 2022).....	26
KUVA 10. Garlo Gavazzi lähetinmoduuli (sähkönumerot.fi, 2022).....	26
KUVA 11. Elsys ERS CO2- ilmanlaatumittari (Digita, 2022)	27
KUVA 12. MCF-LW12VOC ilmanlaatuanturi (Digita, 2022)	27
KUVA 13. KOKA Hydrodigit-LR vesimittari (Koka Oy, 2022)	28
KUVA 14. LoRa-bridge (lora-alliance, 2022)	28
KUVA 15. LoRa-tag (ela innovation, 2022)	29
KUVA 16. Microsoft Azure palvelut (https://intellika.in/microsoft-azure-cloud-services/).....	31
KUVA 17. Amazon IoT-alusta (Uppa Jari, opinnäytetyö 2017)	32
KUVA 18. Esimerkki aikaleimasta.....	33

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustat ja tavoitteet

Työn tavoitteena oli kehittää energiakatselmointiin liittyviin mittauksiin uusi toteutus- ja raportointimalli, joka tulisi Voimatel Oy:n käyttöön. Työlle pohjan antaa Motivan määrittämät mittaukset ja energiakatselmuksmallit. Motiva antaa energiakatselmointiin mittauksille minimivaatimukset, mutta opinnäytetyössä oli tarkoitus ylittää nämä minimivaatimukset ja saada paljon tarkempia ja yksityiskohtaisempia tietoja.

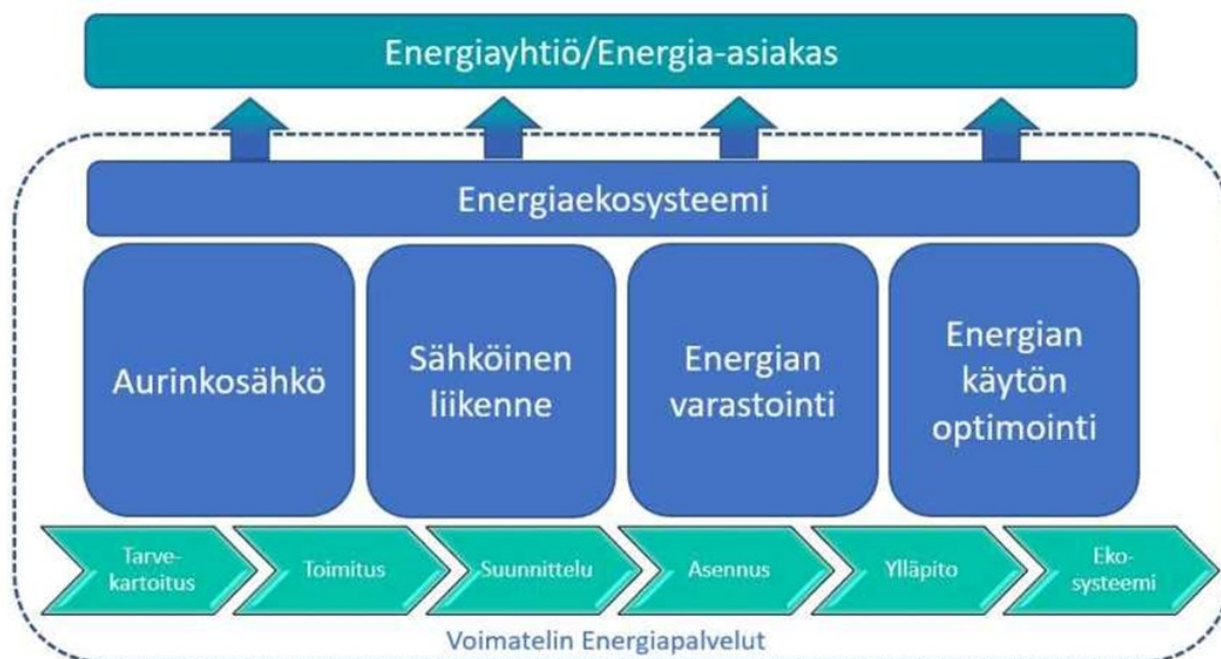
Opinnäytetyössä halutaan saada Motivan määrittämät mittaukset sarjamittauksina kertamittauksen sijaan. Sarjamittauksella tarkoitetaan jonkin suureen mittaamista tietyin ja tasaisin väliajoin. Suureesta otetaan niin sanotusti näytteitä, jotka ovat hetken arvoja tai näytejakson keskiarvoja ajalta, joka sarjamittauksen aikaväliksi on määritetty. Kuten esimerkiksi tässä työssä sarjamittauksista halutaan viiden minuutin jaksoissa. Sarjamittauksen kesto voidaan määrittää itse sen mukaan, miten paljon ja miltä ajalta dataa halutaan. Mittauksien kesto voi olla muutamista minuuteista vuosiin. Työssä halutaan löytää mahdollisia ratkaisuja sarjamittauksen toteutukseen. Työssä mietitään sopivia mitaliteratkaisuja haluttujen suureiden määrittämiseksi. Työssä tavoitteena oli myös miettiä kuinka datan kerääminen ja käsittely voidaan tehdä sekä millaisia analyysejä voidaan muodostaa ja kuinka näitä voidaan hyödyntää. Opinnäytetyössä perehdytään myös mitä eri tekijöitä täytyy ottaa huomioon luotettavan datan saamiseksi ja mitkä tekijät vaikuttavat sen luotettavuuteen ja analysointiin.

1.2 Voimatel Oy

Voimatel Oy on suomalainen yritys, joka on perustettu vuonna 2001. Voimatel Oy toimii ympäri Suomea. Päätoimipiste sijaitsee Siilijärven Toivalassa. Yhtiöllä on kaksi tytäryhtiötä, jotka ovat Virossa toimiva BofTel sekä OptiWatti Suomessa, jonka päätoimipiste sijaitsee Espoossa. Voimatel Oy työllistää lähes 1000 ihmistä ja sen liikevaihto vuonna 2021 oli 133,1 miljoonaa euroa.

Voimatel Oy suunnittelee, rakentaa, ylläpitää ja operoi sähkö- ja tietoliikenneverkkoja. Voimatel Oy tarjoaa monipuolisesti erilaisia palveluita, joita ovat tietoverkko-, jakeluverkko, siirtoverkko-, sähköasema-, teollisuus- ja energiapalvelut sekä managed service.

Opinnäytetyö on tehty Voimatelin energiapalveluiden puolella. Voimatelin energiapalvelut toimittavat asiakkailleen toimintaympäristöön soveltuvia ja oikeinmitoitettuja energijärjestelmiä. Näihin lukeutuvat aurinkosähkö-järjestelmät, sähköisen liikenteen latausjärjestelmät, energian varastointijärjestelmät sekä energiapalvelulaitteet energianseuranta- ja -hallintaan, joka mahdollistaa energijärjestelmän entistä tehokkaamman ohjaamisen. (Voimatel Oy, 2022)



KUVA 1. Voimatelin energiapalveluiden yleiskuva (Voimatel Oy, 2022)

Kuvassa 1 on esitetty Voimatelin energiapalveluiden yleiskuva. Kuvassa esitetään energiapalveluita, joita Voimatel tarjoaa sekä mitä osa-alueita Voimatelin energiapalvelut pitää sisällään. Kuvassa 1 on esitetty, että energiajärjestelmien osalta toteutetaan kaikki tarvekartoituksesta järjestelmän ylläpitoon saakka.

2 YLEISESTI ENERGIAKATSELMUKSISTA

2.1 Johdanto energiakatselmustoimintaan

Energiakatselmus tarkoittaa asiantuntijan suorittamaa perusteellista kartoitusta rakennuksen tai tuotantoprosessin energian ja veden käytöstä sekä kaikista kannattavista säästämahdollisuuksista. Työ- ja elinkeinoministeriö on julkaissut ohjeistuksen energiakatselmustoimintaan. Sen tarkoituksena on selkeyttää katselmoijien sekä tilaajien toimintaa, katselmustoiminnan hallinnointia ja seurantaa sekä varmistaa katselmuksien yhdenmukainen laatutaso. Ohjeistus koskee työ- ja elinkeinoministeriön ja Motivan ohjeiden mukaisesti toteutettavia sekä raportoitavia palvelusektorin kiinteistöjen sekä mikro-, pienten ja keskisuurten yritysten, kuten palvelualan, teollisuuden ja energia-alan rakennusten ja prosessien kokonaisvaltaisia energiansäästämahdollisuuksia. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Työ- ja elinkeinoministeriö tukee myös uusiutuvan energian kuntakatselmuksia, joiden toteutuksessa käytetään Motivan julkaisemaa erillisohjetta. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisemassa yleisohjeessa esitetyt katselmustoimintaa ohjaavat katselmusmallista riippumattomat yleiset vaatimukset sekä periaatteet ovat soveltuvin osin voimassa uusiutuvan energian katselmuksia koskien. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

2.2 Energiatuki

Työ- ja elinkeinoministeriö tukee yleisohjeiden mukaan toteutettuja palvelurakennusten ja mikro-, pienten- ja keskisuurten yritysten energiakatselmuksia. Energiatukea voidaan myöntää investointi- tai selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian käyttöä ja tuotantoa, energiansäästöä tai energian käytön ja tuotannon tehostamista tai muutoin edistävät energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Tuettavia investointeja, jotka liittyvät uusiutuvan energian käyttöön ovat muun muassa pienet sähkön- ja lämmöntuotantohankkeet, liikenteen biopolttoaineiden tuotantohankkeet sekä uuden teknologian demonstraatiohankkeet. Energiansäästöön ja energiankäytön tehostamiseen liittyviä tuettavia investointihankkeita ovat tavanomaisen teknologian hankkeet sellaisille organisaatioille, jotka ovat liittyneet energiantehokkuussopimusjärjestelmään, uuden teknologian demonstraatiohankkeet ja ESCO-hankkeet. ESCO-hankkeessa toteutetaan asiakasyrityksessä investointeja ja toimenpiteitä, joilla säästetään energiaa ja tehostetaan energiankäyttöä energiaselvityksen pohjalta. (Työ- ja elinkeinoministeriö)

Energiatukea voidaan myöntää yrityksille, kunnille ja muille yhteisöille. Energiatukea voidaan myöntää, jos hanketta tai hankkeeseen sisältyvää uutta teknologiaa ei voida toteuttaa ilman tukea. Tukea voidaan myöntää myös, jos ennen tuen myöntämistä koskevaa päätöstä investointihankkeeseen ei ole tehty sitovaa investointipäätöstä, päälaitetilausta, päätöstä rakentamisyön aloittamisesta tai muuta sellaista sitoumusta, jonka jälkeen hankkeen peruuttaminen ei ole mahdollista ilman merkittävää menetystä. Myöskään selvityshankkeessa ei ole sellaista sitoumusta, jonka jälkeen hankkeen peruuttaminen ilman taloudellista menetystä ei ole mahdollista. (Työ- ja elinkeinoministeriö)

Energiatukea ei myönnetä:

- Organisaatioille, joita rahoitetaan valtion talousarviosta
- Perustamishankkeille, jotka saavat valtionosuutta
- Taloushallinto-organisaatioon kuuluville laitoksille, virastoille ja muille toimielimille
- asunto-osakeyhtiöille ja asuinkiinteistöille
- Maatiloille ja niiden hankkeille, ellei hankkeissa tuotettava energia käytetä maatalouden tuotantotoiminnan ulkopuolella
- Vaikeuksissa oleville yrityksille, jotka ovat EU:n valtiontukisäätelyssä. (Työ- ja elinkeinoministeriö)

2.3 Tavoitteet

Energiakatselmuksset ovat merkittävä osa Suomen energiatehokkuussopimustoimintaa. Tavoitteena energiakatselmuksella on toteuttaa kansallista ilmastostrategiaa edistämällä yhtenä kustannustehokkaana käytännön toimenä energiasäästöä ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä Suomessa. Jotta saavutetaan asetetut kasvihuonepäästöjen vähennystavoitteet, täytyy energiakatselmuksella tasoa ylläpitää ja sen eteneminen kaikilla sektoreilla on varmistettava. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Katselmuksen tuloksena saadaan selkeät tavoitteet, joiden avulla yritys saa käyttöönsä selkeät energiankäytön tehostamistavoitteet. (Motiva Oy, 2022)

2.4 Energiakatselmuksien osapuolet

Energiakatselmuksissa on neljä keskeistä osapuolta, jotka ovat työ- ja elinkeinoministeriö, Motiva Oy, energiakatselmoijat ja työn tilaajat. Päävastuu energiakatselmuksissa kuuluu työ- ja elinkeinoministeriölle. Ministeriön energiaosasto ohjaa katselmuksia. Tuen myöntämisestä vastaa Business Finland. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Energiavirasto valvoo sekä edistää energianmarkkinointia, energiatehokkuutta, päästöjen vähentämistä ja uusiutuvan energian käyttöä. Työ- ja elinkeinoministeriön toimialalle kuuluvien toiminta-alueiden energiakatselmuksien hallinnointi sekä toimeenpano viranomaistasoiseen ohjaukseen liittyvät erilaiset tehtävät kuuluvat energiavirastolle. (Energiavirasto)

Motiva Oy vastaa Energiaviraston toimeksiannosta katselmuksien koordinoimisesta. Seuranta, kehittäminen, laadunvarmistus, katselmoijien koulutus ja ohjaus sekä katselmuksien hakijoiden neuvonta kuuluvat Motivan tehtäviin katselmuksissa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

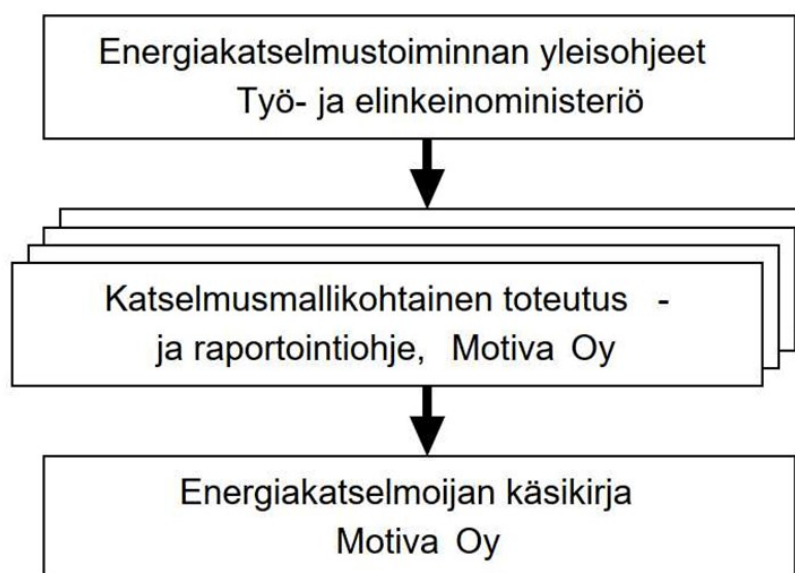
Katselmuksien hakija eli tilaaja vastaa katselmuksen tilaamisesta, energiatuen saamisesta sekä ohjeiden ja velvoitteiden noudattamisesta. Katselmuksien hakija osallistuu myös katselmuksien toteutukseen hankekohtaisesti sovitussa laajuudessaan. Energiakatselmoija on henkilö, joka suorittaa energiakatselmuksen. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Katselmuksen vastuhenkilö on Motivan hyväksymä katselmoija, jolla on pätevyys joko lämmön, polttoaineiden ja LVI-järjestelmien katselmuksiin eli L-pätevyys tai sähköjärjestelmien katselmuksiin

eli S-pätevyys työ- ja elinkeinoministeriön tukemissa energiakatselmuksissa. Molempiin vastuualueisiin on nimettävä vastuuhenkilö. Täsmäkatselmuksissa riittää vain yksi vastuuhenkilö. Energia-alan ja prosessiteollisuuden energiakatselmuksissa ja-analyyseissa vastuuhenkilö voi olla niin sanottu hakijavastuuhenkilö. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

2.5 Ohjeistus

Energiakatselmointiin liittyy ohjeistus, joka on kolmitasoinen. Ylimmällä tasolla on yleisohje, joka määrittelee katselmustoiminnan yleiset sekä hallinnolliset menettelytavat. Yleisohjetta on noudatettava kaikissa katselmushankkeissa. Toisella tasolla on katselmointimalleittain Motivan toimesta laaditut toteutus- ja raportointiohjeet. Kolmannella tasolla on energiakatselmoijan käsikirja. Siinä kuvataan hyvää energiakatselmustapaa ja jossa on ohjeistusta varsinaisen katselmointityön suorittamiseksi. Ohjeistuksen rakenne on esitetty kuvassa 2. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)



KUVA 2. Katselmusten kolmitasoinen ohjeistus (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

2.6 Vaiheet ja tehtävät

Energiakatselmushanke sisältää useita eri vaiheita ja tehtäviä. Energiakatselmusten käynnistämispäätöksen jälkeen katselmuksen tilaaja laatii katselmointisuunnitelman. Suunnitelma sisältää muun muassa energiakatselmusten aikataulun, budjetin ja varaukset omien henkilöresurssien käytölle. Katselmustoiminnalle valitaan tilaajan vastuuhenkilö ja yhteyshenkilöt katselmuksikohteittain. Energiakatselmushankkeen eri tehtävät ja vaiheet on esitetty kuvassa 3. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)



KUVA 3. Katselmushankkeen vaiheet ja tehtävät (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Energiakatselmuksen tilaaja valitsee katselmoijan hinnan, asiantuntemuksen ja muiden eri tekijöiden perusteella. Vastuuhenkilöitä nimetään kaksi, jotka ovat molemmat Motivan hyväksymiä. Energiatukipäätös pitää olla saatu ennen kuin katselmoijan kanssa voidaan tehdä sitovaa sopimusta katselmoinnin suorittamiseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Energiatukihakemus tehdään katselmoijan valinnan jälkeen. Energiakatselmuksen tilaaja toimittaa tukihakemuksen Business Finlandiin. Tukea ei myönnetä, jos hanke on käynnistetty ennen tukipäätöstä. Päätöksen saatuaan tilaajan pitää palauttaa hyväksymislomake, koska muuten päätös ei astu voimaan eikä täten tukea voida maksaa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Energiakatselmus aloitetaan aloituspalaverilla. Aloituspalaverissa ovat osallisina katselmuksen vastuuhenkilöt sekä tilaaja. Nämä osapuolet sopivat hankkeen toteutuksen aikataulusta, painotuksista sekä yksityiskohdista. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Tilaaja ja katselmoija kokoavat lähtötietoja. Katselmoijat saavat näiden perusteella yleiskuvan kohteesta ja sen energiataloudesta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Kenttätyössä käydään läpi katselmuskohteen sähköä, vettä, polttoainetta ja lämpöä vievät järjestelmät ja laitteet sekä haastattelevat teknisiä käyttäjiä sekä katselmoinnin tilaajan edustajaa. Mittauksilla ja havainnoilla selvitetään kulutuksen pääpiirteet sekä säästömahdollisuudet. Katselmoijat ja tilaaja vastaavat yhdessä siitä, että kenttätyö tehdään riittävän laajasti. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Katselmoijat analysoivat lähtötietojen ja saatujen mittaustietojen ja muun tehdyn kenttätöön perusteella kohteen energiankäytön ja investointeja vaativat säästötoimenpiteet. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Motivan ohjeiden mukaan saadut tulokset esitetään katselmusraportissa. Erilaiset säästöpotentiaalit ja toimenpide- ehdotukset esitetään raportissa taulukkomuodossa. Kuvia ja kaavioita suositellaan käytettävän kulutusjakaumien ja muiden energiakatselmuksen osa-alueiden havainnollistamiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Raportin luovutustilaisuudessa katselmoijat esittävät tilaajalle ja kohteen vastuuhenkilölle katselmuksen tulokset sekä toimenpide-ehdotukset. Luovutustilaisuudessa kirjataan raporttiin sovitut jatkotoimenpiteet. Viimeistään luovutustilaisuuden aikana katselmoijilla on velvoite myötävaikuttaa käyttö- teknisten toimenpiteiden toteuttamiseen, mutta tämä voidaan tehdä jo kenttätöön aikana. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Ennen projektin lopputilitystä katselmoija ja tilaaja toimittavat Motivaan kohdekohtaiset katselmusraportit ja yhteenvetotaulukot. Tilaaja raportoi ja tilittää hankkeen sisältämät kustannukset Business Finlandille tukipäätöksessä olevan aikataulun mukaisesti. Kun kustannustilitys on hyväksytty Business Finlandin toimesta, maksaa se katselmushankkeelle rahoituksen. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Viimeisenä vaiheena on toimenpide-ehdotusten toteuttaminen ja niiden toteutuksen seuranta. Energiakatselmuksien lopputuloksena saadaan tehtyä toimenpide-ehdotuksia kohteeseen energian säästön osalta. Esimerkiksi mittauksissa saatujen tuloksien perusteella saadaan tietoa kohteesta ja voidaan miettiä ratkaisuja, jotka olisivat kyseisessä kohteessa järkeviä. Kun toimenpide-ehdotuksia on saatu, seurataan niiden toteutusta käytännössä.

3 MOTIVAN KATSELMOINTIMALLIN VAADITTAVAT MITTAUKSET

3.1 Energiakatselmuksien yleisohjeet

Energiakatselmuksissa tehdään tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan erillismittauksia, jotka koskevat kohteen sähkö-, LVI- ja prosessitekniikkaa. Katselmuksen mittaustuloksia hyödynnetään energiankulutusjakautuksen laadinnassa ja niillä pyritään löytämään säästömahdollisuudet sekä varmistamaan säästöehdotusten kannattavuuslaskelmien luotettavuus. Mittaustulosten oikein tulkitseminen on tärkeää, koska mittaustuloksia analysoimalla muodostetaan johtopäätökset. Mittaustulokset esitetään raportissa tekstimuodossa tai kuvaajina ja taulukoina liitteissä. Työ- ja elinkeinoministeriön luomassa yleisohjeessa on esitetty mittauksille vähimmäisvaatimukset palvelurakennusten ja teollisuuskohteiden energiakatselmuksissa suoritetuissa mittauksista.

Kohteessa, jossa on rekisteröivä mittaus sähkön, lämmön ja/tai veden käytöstä, on tehojen historia-tiedot analysoitava. Kyseisistä mittauksista saadaan tietoa kohteen energiankäytön vaihteluista eri olosuhteissa sekä ajankohdan, järjestelmien ja laitteiden käyttötilanteen sekä toiminnan, palveluiden ja tuotannon vaihtelujen vaikutuksista energian käyttöön. Käyttäjän kanssa selvitetään merkittävien tehomuutosten syyt ja aiheuttajat.

Katselmuskohtaisesti suositeltavien mittausten tarkoituksena on yleisesti parantaa katselmuksien laatua, auttaa löytämään energiansäästötoimia, kasvattaa laskelmien tarkkuutta sekä lisätä johtopäätösten luotettavuutta. Energiakatselmuksissa mallikohtaisesti vaadittavat mittaukset on esitetty liitteessä 1. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

LVI-mittauksille katselmusmalleissa vaadittujen mittausten ohjeistus on seuraava:

- Sisälämpötilat mitataan otoksella ja sen perusteella voidaan määrittellä kohteen sisälämpötilojen tasaisuus, keskimääräinen sisälämpötila sekä säästöpotentiaali. Ulkoisten sekä sisäisten kuormien vaikutus, rakenteelliset tekijät sekä ilmanvaihdon sekä lämmityksen yhteisvaikutus on huomioitava mittauksissa. Sellaisissa kohteissa, joissa on merkittävä määrä tilojen jäädytystä, täytyy mittauksia suorittaa kohteessa sisälämpötilojen osalta myös jäädytyskauden aikana
- Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottolaitteiden hyötysuhteet tulee mitata sellaisella tarkkuudella, jonka perusteella voidaan todeta oleellinen poikkeama normaalista tai suunnitellusta tasosta
- Ilmanvaihtokoneiden sisäänpuhalluslämpötilat on mitattava normaalissa käyttötilanteessa riittävällä tarkkuudella
- Kattilalaitoksen palamishyötysuhde ja vuosihyötysuhteen laskenta
- Vesikalusteiden virtaamat otoksella, jonka perusteella pystytään määrittelemään säästöpotentiaali. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022)

Sähköjärjestelmien mittauksille katselmusmalleissa vaadittujen mittausten ohjeistus on seuraava:

- Valaistusvoimakkuus, valaistuksen laadun sekä energiatehokkuuden arvioimiseksi merkittävässä tyyppitiloissa mitataan valaistusvoimakkuuksia huomioiden muun muassa päivänvalon vaikutus sekä valovirtojen alenemat. Arvioidaan valaistuksen laadun tarpeenmukaisuus ja energiatehokkuus
- Sähkön kuormitusvaihtelun mittaaminen, mikäli sähköverkkoyhtiön mittaustietoja ei ole käytettävissä: selvitetään kulutuksen ajoittuminen todellisiin tietoihin perustuen muun muassa tariffivertailujen tekemiseksi sekä yö- ja viikonlopun aikaisen kulutuksen tarpeenmukaisuuden arvioimiseksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022)

3.2 Katselmointimallit

Motiva on määrittänyt erilaisia katselmointimalleja, joka valitaan kohteen tyyppin mukaan. Muun muassa kohteen rakennustilavuus (m^3) sekä energian- ja veden arvonlisäverottomat vuosikustannukset (€/a) määrittävät, mikä katselmointimalli sopii kyseisen kohteen energiakatselmointiin. Kiinteistöt eli palvelurakennukset ja teollisuus on eritelty ja niille on luotu omat katselmointimallit. Katselmointimalleista käsitellään osa työ- ja elinkeinoministeriön tukemista energiakatselmuksista. Käsiteltävät katselmointimallit ovat kiinteistön ja teollisuuden katselmointimallit sekä täsmäkatselmus.

3.2.1 Täsmäkatselmus

Täsmäkatselmus on suppea ja kohdennettu katselmointitapa. Täsmäkatselmus poikkeaa merkittävästi vaatimuksiltaan, sisällöltään ja raportoinniltaan muista Motiva-mallin mukaisista katselmuksista. Täsmäkatselmus on tarkoitettu pk-yrityksille, seurakunnille ja säätiöille. Näiden omistamien kiinteistökohteet $10\,000\ \text{m}^3$ ylöspäin ja vesikustannuksista $40\,000\ \text{€/a}$ ylöspäin. (Motiva Oy, 2022)

Katselmoinnissa on noudatettava työ- ja elinkeinoministeriön laatimia yleisohjeen ohjeita. Täsmäkatselmuksessa selvitetään ja analysoidaan vapaasti valittavien osinko-kohteen energiansäästöpotentiaalia, energiankäyttöä, uusiutuvien energioiden osuuden kasvattamista ja esitetään erilaisia säästötoimenpiteitä. Täsmäkatselmoinnissa pyritään energiatehokkuuden parantamiseen, energiansäästöön, uusiutuvien energianlähteiden käytön kasvattamiseen tai vähähiilisyiden saavuttamiseen. Täsmäkatselmus sopii hyvin energian- ja polttoainetuotantomuodon vaihtamiseen liittyviin selvityksiin, mutta fossiilisen polttoaineen vaihtamista toiseen ei voida tukea vaan selvityksen tulee liittyä siirtymiseen uusiutuvaan energiaan tai sähköiseen ratkaisuun. (Motiva Oy, 2022)

Katselmustyön toteutus on vapaa. Katselmuksen laadukas toteuttaminen edellyttää käyntejä kohteessa, mutta pakollisia mittauksia ei ole. Ainoa vaatimus täsmäkatselmoinnissa koskee säästölaskelmien tekemistä. Toimenpide-ehdotusten säästölaskelmat ja niiden perusteet, jotka on katselmuksessa esitetty, täytyy dokumentoida ja löytyä niitä pyydettyä. (Motiva Oy, 2022)

3.2.2 Kiinteistö

Katselmusmalli palvelukohteissa määräytyy rakennustilavuuden ja kohteen teknisten järjestelmien vaativuuden perusteella. Taulukossa 2 on esitetty energiakatselmointimallit, joka valitaan rakennustilavuuden mukaan. (Motiva Oy, 2022)

TAULUKKO 1. Palvelurakennuksen katselmointimallin valinta (Motiva Oy, 2022)

Rakennustilavuus m ³	Kiinteistön energiakatsastus	Kiinteistön energiakatselmus (luokka 1 ja luokka 2)
< 5 000	X	
5 000–10 000	X	X
> 10 000		X

Kiinteistön energiakatselmus sopii sellaisten liike- ja palvelurakennusten, joissa on tavanomaiset talotekniset järjestelmät. Tätä katselmointimallia voidaan käyttää myös suuren tai tekniikaltaan monimutkaisen palvelualan rakennuksen katselmointimenetelmänä. Tällaisia rakennuksia ovat muun muassa sairaalat, uimahallit tai suuret liikekeskukset. Energiakatselmusraportissa käsitellään kohteen energian ja veden käytön nykytilanne, LVI-järjestelmien toiminta sekä käyttö ja esitetään säästötoimenpiteitä. Kiinteistön katselmointimalli soveltuu myös teollisuudessa ja energia-alalla myös, jos kyseessä on ei-tuotannollinen rakennus kuten toimisto- tai varistorakennus. (Motiva Oy, 2022)

Kiinteistön energiakatsastusmallia käytetään pienissä kohteissa, alle 5000 m³. Energiakatsastusmallia käytetään kohteissa, joissa on pienet energia- ja vesikustannukset eli alle 15 000 € vuodessa tai jos kustannukset ovat 15 000 € - 35 000 € vuodessa. Tällöin voidaan käyttää myös teollisuuden energiakatselmusta tai teollisuuden energia-analyysiä. (Motiva Oy, 2022)

3.2.3 Teollisuus

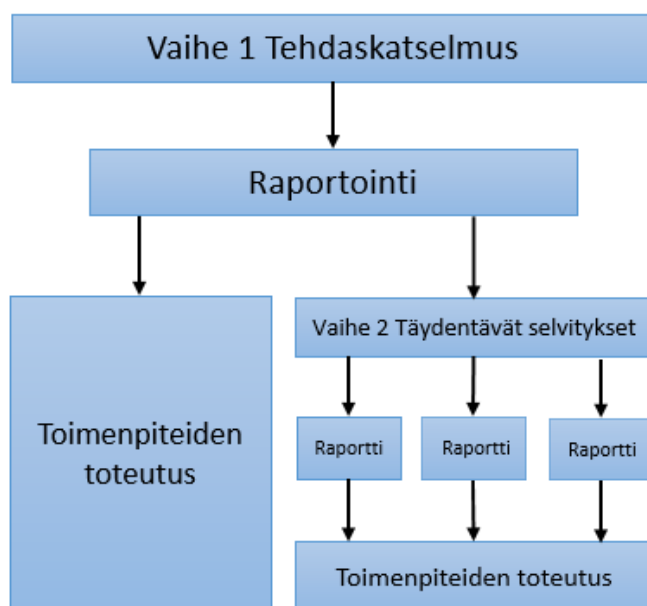
Katselmuskohteen arvonlisäverottomien energian ja veden käyttökustannukset sekä tuotannon energiankäytön ominaispiirteiden perusteella valitaan teollisuuskohteissa käytettävä katselmointimalli. Teollisuuden energiakatselmointimalleista käsitellään taulukossa 3 esitetyt katselmusmallit. (Motiva Oy, 2022)

TAULUKKO 2. Teollisuuden katselmointimallin valinta (Motiva Oy, 2022)

Energian ja veden arvonlisäveroton vuosikustannus EUR/a	Kiinteistön energia-katsastus	Teollisuuden 2-vaiheinen energia-katselmus	Teollisuuden 2-vaiheinen energia-analyysi	Teollisuuden energia-katselmus	Teollisuuden energia-analyysi	Prosessi-teollisuuden energia-analyysi
< 15 000	X					
15 000–55 000	X	X		X		
55 000–1 400 000		X	X	X	X	
1 400 000–3 000 000					X	
> 3 000 000					X	X

Teollisuuden energiakatselmusmalli on tarkoitettu teollisuuskohteille, joissa prosessien energiankäytön ja tehokkuuden tarkastelua ei pidetä tarpeellisena, koska esimerkiksi prosessin energiatehokkuus on muutoin varmistettu tai prosessin energiakustannukset ovat pienet. Tällöin tuotantoprosessien energian käyttöä tarkastellaan katselmuksessa siinä laajuudessa, että sen osuus voidaan esittää kokonaiskulutuksen jakaumissa. Katselmukseen tarvittava panostus määräytyy tapauskohtaisesti. Tähän vaikuttaa kohteen monimuotoisuus sekä laajuus. (Motiva Oy, 2022)

Teollisuuden 2-vaiheinen energiakatselmus on tarkoitettu kustannustehokkaaksi katselmointimalliksi sellaisille pk-yrityksille, joissa prosessin tehokkuuden ja energian käytön tarkastelua ei pidetä tarpeellisena, koska esimerkiksi prosessin energiakustannukset ovat pienet tai energiatehokkuus on varmistettu. 2-vaiheisen energiakatselmuksen toteutus on jaettu nimensä mukaisesti kahteen vaiheeseen, jotka ovat vaiheen 1 tehdaskatselmus ja vaiheen 2 täydentävät selvitykset. Täydentävät selvitykset ovat vapaaehtoisia, mutta niitä ei voida toteuttaa, ellei tehdaskatselmus vaihetta ole toteutettu. Kuvassa 4 on esitetty 2-vaiheisen katselmuksen periaate. (Motiva Oy, 2022)



KUVA 4. Teollisuuden 2-vaiheisen energiakatselmuksen vaiheistuksen periaate (muokattu kuva; Motiva, 2022)

Tavoitteena on selvittää ja raportoida energiakulutuksen jakautuminen, energian kokonaiskäyttö, uusiutuvien energioiden potentiaalit ja sähkötoimenpiteet, joilla on käyttötekniset ja investointeja vaativat säästötoimenpiteet sekä ehdotukset jatkoselvitystarpeiksi perusteluineen. Jotta taloudellisesti arvioidut täydentävät selvitystarpeet voidaan esittää, täytyy hankkia riittävä käsitys energian käytön tehokkuudesta. Vaihe 2 ei ole pakollinen, mutta sitä ei voi tehdä, ellei vaihetta 1 ole toteutettu. Teollisuuden 2-vaiheinen katselmointimalli voidaan toteuttaa myös kohteisiin kuin perinteinen teollisuuden energiakatselmus. Taulukossa 4 on esitetty energian ja veden arvonlisäverottoman vuosikustannuksen perusteella määräytyvät katselmointimallit. (Motiva Oy, 2022)

TAULUKKO 3. Teollisuuden energiakatselointimallin valinta (Energian ja veden arvonlisäverottoman vuosikustannuksen mukaan) (Motiva Oy, 2022)

Energian ja veden arvonlisäveroton vuosikustannus EUR/a	Kiinteistön energia-katsastus	Teollisuuden energia-katselmus (myös 2-vaiheinen)	Teollisuuden energia-analyysi (myös 2-vaiheinen)	Prosessi-teollisuuden energia-analyysi
< 15 000	X			
15 000–55 000	X	X		
55 000–1 400 000		X	X	
> 1 400 000–			X	X

Teollisuuden energia-analyysissä tutkitaan kaikki kohteen primääri- ja sekundäärienergiavirrat ja energiansäästömahdollisuudet. Kohteen omien tuotanto- ja kunnossapito-organisaatioiden osallistuminen katselmustyöhön on tärkeää, koska energia-analyysissä on tuotantoprosesseilla keskeinen osuus. Teollisuuden energia-analyysin raportissa käsitellään kohteen energian ja veden käyttöä, kuvataan prosessien sekä tehdaspalvelu- ja taloteknisten järjestelmien energiatehokkuus, käyttö ja toiminta sekä esitetään säästötoimenpiteet perusteluineen, säästövaikutuksineen ja takaisinmaksuineen. Taulukossa 5 on esitetty energian ja veden arvonlisäverottomasta vuosikustannuksesta riippuen teollisuussektorin katselmusmallin valinta työ- ja elinkeinoministeriön energiakatselmustoiminnan yleisohjeen mukaan. (Motiva Oy, 2022)

TAULUKKO 4. Teollisuuden energiakatselointimallin valinta (Energian ja veden arvonlisäverottoman vuosikustannuksen mukaan) (Motiva Oy, 2022)

Energian ja veden arvonlisäveroton vuosikustannus €/a	Kiinteistön energia-katsastus	Teollisuuden energia-katsastus	Teollisuuden energia-analyysi	Prosessiteollisuuden energia-analyysi
< 15 000	x			
15 000-55 000	x	x		
55 000-1 400 000		x	x	
1 400 000-3 000 000			x	
> 3 000 000			x	x

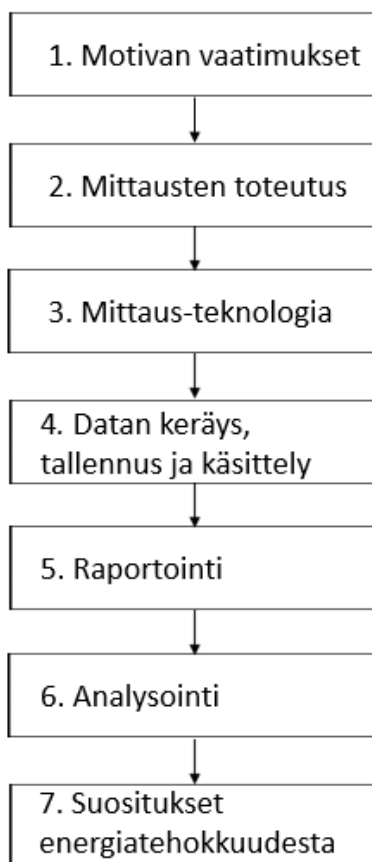
Teollisuuden 2-vaiheinen energia-analyysi on tarkoitettu sellaisille pk-teollisuuskohteille, joissa tuotantoprosessien energian käyttö on merkittävässä asemassa ja sen tarkastelu on tarpeellista. Myös teollisuuden 2-vaiheinen energia-analyysin toteutus on jaettu kahteen osaan, jotka ovat vaihe 1 eli tehdaskatselmus ja vaihe 2, joka sisältää täydentävät selvitykset. Myös tässä katselointimallissa täydentävät selvitykset eivät ole pakollisia, mutta vaihe 1 on toteutettava, jotta ne voidaan tehdä. Vaiheistuksen periaate on esitetty kuvassa 4. Tavoitteet katselmuksessa ovat samat kuin teollisuuden 2-vaiheisessa energiakatselmuksessa. Katselointimallia voidaan käyttää vastaaviin kohteisiin kuin perinteistä teollisuuden energia-analyysiä. (Motiva Oy, 2022)

Prosessiteollisuuden energia-analyysi on energiaintensiivisen prosessiteollisuuden kaksivaiheinen sovellus. Pääpaino on kartoittaa tuotantoprosessien energiansäästömahdollisuudet, mutta työssä kartoitetaan myös katselmuskohteen tehdaspalvelujärjestelmien ja talotekniikan energiansäästömahdollisuudet. Tavoitteena prosessiteollisuuden energia-analyysissä on koko katselmuskohteen primääri- ja sekundäärienergiavirtojen selvittäminen sekä kaikkien energiansäästömahdollisuuksien selvittäminen. Kohteen omien tuotanto- ja kunnossapito-organisaatioiden osallistuminen katselointityöhön on välttämätöntä, koska energia-analyyseissä on tuotantoprosesseilla keskeinen osuus. Prosessiteollisuuden energia-analyysi jaetaan kahteen vaiheeseen. Vaihe 1 on tehdaskatselmus, jonka tavoitteena on selvittää energian kokonaiskäyttö ja sen jakauma sekä raportoida todetut käyttökäytännöt ja investointeja vaativat säästömahdollisuudet. Ensimmäisessä vaiheessa myös raportoidaan työssä todetut mahdolliset tarpeet täydentäville analyyseille. Vaihe 2 sisältää vaiheessa 1 ehdotetuista erikseen käynnistetyistä täydentävistä analyyseistä. Kun kohteen vuotuiset energia- ja vesikustannukset ovat yli 3 milj. € vuodessa, käytetään tätä katselointimallia. Energiakatselmuksien yleisohjeen perusteella valittava katselmusmalli energian ja veden arvonlisäverottomasta vuosikustannuksesta riippuen (Taulukko 3). (Motiva Oy, 2022)

4 ENERGIAKATSELMOINTI MITTAUSTEN TOTEUTUS

4.1 Toimintamalli

Pohjana opinnäytetyölle oli Motivan antama yleisohjeistus energiakatselmointiin (liite 1). Tämän taulukon avulla saadaan pohja sille, mitä mittauksia erilaisissa kohteissa vaaditaan. Liitteessä 1 määritettyjen mittausten avulla selvitetään, miten työ voidaan toteuttaa. Voidaan etsiä sopivia mittalaiteratkaisuja sekä miettiä miten datan käsittely voidaan tehdä. Mittalaitteilta haluttiin saada sarjämittausta 5 minuutin aikavälein kaikista niistä suureista, jotka täytyy ottaa huomioon energiatehokkuuden kannalta. Kun mittalaiteratkaisut on selvitetty, mietitään millainen tietotekninen arkkitehtuuri sopii datan keräykseen, tallentamiseen ja käsittelyyn. Tietoliikenteen toteutus on tärkeä osa arkkitehtuuria ja sopiva ratkaisu tulee miettiä tarkoin. Ratkaisua mietittäessä tulee huomioida siihen liittyvät tekniset haasteet ja kustannukset. Esimerkiksi datan siirron nopeus, laatu ja kapasiteetti sekä datan siirtokustannukset tai mahdolliset muut kustannukset, joita voi liittyä tietoliikenteeseen. Mittalaitteilta kerätty data siirretään valittuun palvelimeen ja datasta muodostetaan raportti. Raportissa käsitellään energiatehokkuuden näkökulmasta parantamishdotuksia ja esitetään data erilaisina kuvaajina ja diagrammeina. Raportin avulla analysoidaan data ja analysoinnin perusteella saadaan suositukset sekä voidaan miettiä parantamishdotuksia energiatehokkuuden kannalta eli missä ja miten voitaisiin säästää energian käytön osalta. Toimintamalli on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Toimintamalli

4.2 Ajan merkitys mittausten toteutuksessa

Energiakatselmusmittauksien tekemisessä on huomioitava vuodenaikojen merkitys. Laitteen energiankulutuksen mittausta tulee toteuttaa silloin, kun laitetta käytetään. Näin saadaan huomattavasti parempia ja totuuden mukaisempia mittaustuloksia. Esimerkiksi järjestelmät, jotka kuluttavat lämpöenergiaa, pitää tarkastelu ja ajoittaa mittaukset kylmään aikaan eli ne on tehtävä lämmitys kaudella. Myös kesäaikaan voidaan tehdä mittauksia, mutta tällöin mittaukset perustuvat kulutukseen, kun laitetta ei käytetä. Jos jäähdytysjärjestelmä on merkittävä energian käyttökohde, tarkastelu ja mittaukset on järkevämpi toteuttaa jäähdytyskaudella eli kesällä. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

Vuodenaikojen lisäksi myös vuorokauden ajalla on merkitystä. Kenttätyön ajankohta tulee ottaa huomioon energiakatselmustoiminnassa. Aikatauluun vaikuttavat toiminta kohteessa, työvuorot sekä kohteen päivärytmi. Suuremmissa kohteissa tulee kenttätyö ajoittaa sekä tilojen normaalille käytölle, että myös sen ulkopuolelle eli iltaan, viikonloppuun ja muuhun seisokkiaikaan. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi sairaalat ja erilaiset tuotantolaitokset. Muun muassa paineilman käyttöä, tilojen valaistusta sekä siivoustoimintojen vaikutusta energiankäyttöön voidaan tarkastella normaalin käyttöajan ulkopuolella. Kenttätyö pitää tehdä myös yöaikana, jos yöaikainen energiankulutus on merkittävä eikä kulutuksen syytä saada muuten selvitettyä. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021)

4.3 Mittalaitteiden sijoittaminen kiinteistössä

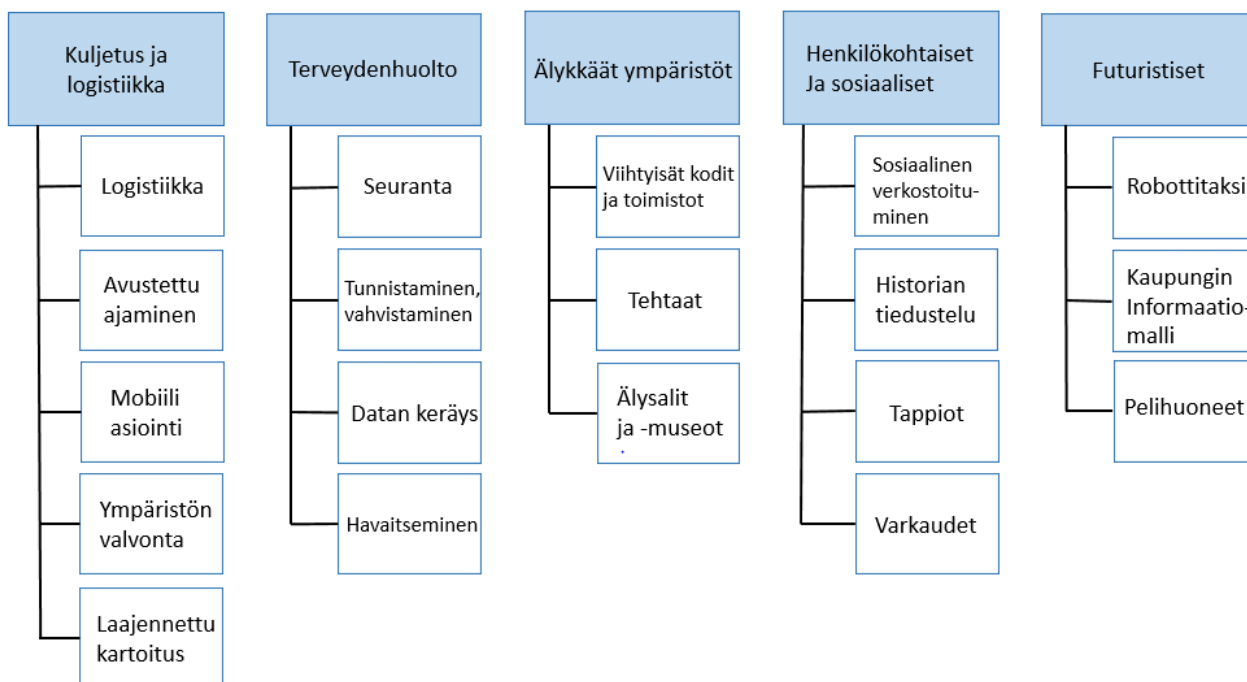
Mittalaitteet sijoitetaan kiinteistössä energiankäytön jakautumisen kannalta keskeisiin pisteisiin, jolla on merkitys energiatehokkuuteen kiinteistön käytön ja energian käytön osalta. Esimerkiksi toimiston energiaa käyttävät laitteet pitää kartoittaa. Sen perusteella voidaan tehdä valinta laitteiden energiankäytön seurannasta.

Mittalaitteen sijoittamisella kohteeseen on suuri merkitys mittaustuloksiin, koska se on laskennallisten asioiden perusta. Jos mittalaite on sijoitettu hyvin mitattavaan kohteeseen huomioiden, ovat tulokset luotettavampia ja tarkempia. Mittalaitteen toimintaympäristö tulee myös ottaa huomioon mittalaitetta sijoittaessa. Toimintaympäristön täytyy olla hyvä mittausten kannalta.

4.4 Esineiden internet

Esineiden internet eli Internet of Things (IoT) tarkoittaa esineiden yhdistämistä internetiin. Näitä esineitä ovat erilaiset anturit ja laitteet esimerkiksi auto ja älykello. IoT-järjestelmät perustuvat teknisten laitteiden suorittamaan automaattiseen tiedonsiirtoon sekä kyseisten laitteiden etäseurantaan ja -ohjaukseen internet-verkon kautta. Internetin avulla laitteet jakavat ja vastaanottavat tietoa. Anturit voivat kerätä tietoa ympäristöstä. Laitteet voivat toimia itsenäisesti tai osana laajempaa järjestelmää tiedon perusteella. (Empirica, 2022)

IoT-järjestelmiä voidaan käyttää useissa erilaisissa kohteissa muun muassa kuljetuksessa ja logistikkassa, terveydenhuollossa sekä teollisuudessa. Kuvassa 6 on esitetty esimerkkejä IoT-järjestelmien käyttökohteista ja sen sovelluksista.

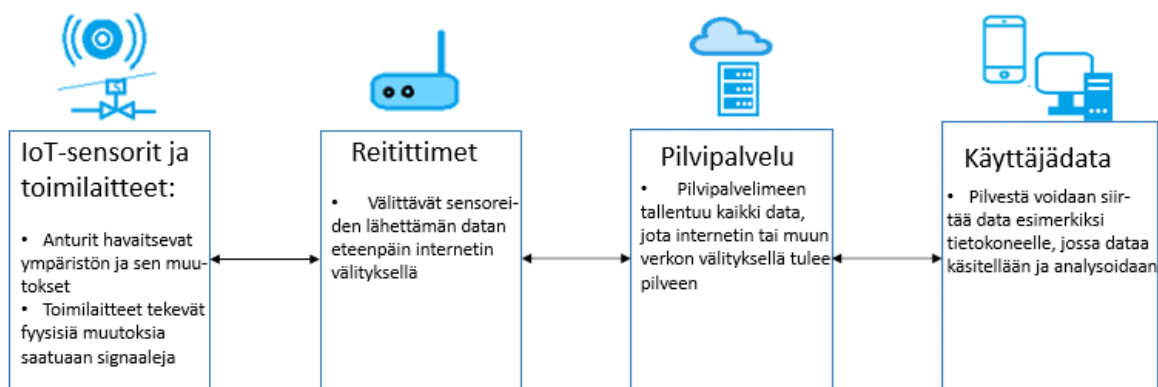


KUVA 6. IoT-järjestelmien käyttökohteita ja sen sovelluksia (Muokattu kuva; URN:NBN:fi:jyu-201712204799.pdf)

IoT-järjestelmä koostuu joko langattomasta tai kiinteästä verkosta ja siihen liitetyistä laitteista. IoT-laite voi olla melkein mikä tahansa, koska lähes kaikki laitteet ovat muunnettavissa IoT-laitteeksi. IoT-laitteet voivat käyttää 3G-, 4G- ja 5G-verkkoja. 5G-yhteys on hyvä IoT-järjestelmien tarpeisiin, koska siinä on lyhyet viiveet ja korkea käyttökapasiteetti. 5G-verkolla on huono kattavuus eikä ole vielä mahdollista laajamittaisempaan käyttöön, kun taas 3G- ja 4G-verkot ovat kattavampia. NB-IoT ja LTE-M ovat IoT-laitteille omistettuja teknologioita, jotka toimivat 4G-verkossa. NB-IoT eli Narrow Band IoT sopii parhaiten paikoillaan oleville antureille, joilta vaaditaan pitkää akun kestoa. LTE-M eli LTE-Machine Type Communication sopii paremmin reaaliaikaisille sovelluksille. Sekä NB-IoT että LTE-M teknologiat toimivat myös 5G-verkossa. 3G-, 4G- ja 5G-verkkoja ylläpitää DNA, Elisa ja Telia. (Empirica, 2022)

IoT-laitteiden avulla voidaan kerätä paljon dataa ympäristöstä ja sitä voidaan hyödyntää tarvittavalla tavalla, kuten päätöksenteon tukena energiatehokkuuden näkökulmasta. Datan määrän täytyy olla riittävää ja laadukasta, jotta sitä voidaan hyödyntää. IoT-järjestelmän avulla voidaan vähentää kustannuksia, lisäämällä tehokkuutta, parantamalla toiminnan luotettavuutta sekä turvallisuutta ja luomalla uusia tulovirtoja ja parantamalla asiakastytyvyyttä. (Empirica, 2022)

IoT-järjestelmän toimintamalli perustuu esineiden eli erilaisten laitteiden tai antureiden keräämään tietoon, jonka se lähettää eteenpäin internetin välityksellä. Laitteen sensorit ovat kytkettynä reitittimeen ja sensorit keräävät ympäristöstään dataa, jonka se lähettää eteenpäin joko langallisesti tai langattomasti. Data lähetetään pilvipalveluun, josta data on helposti saatavilla alustalle, jossa data käsitellään. Datan käsittelyn seurauksena sitä voidaan analysoida ja datasta muodostaa raportti ja näin saadaan haluttuun tarkoitukseen järkeviä ratkaisuja. IoT-järjestelmien arkkitehtuuri vaihtelee sen käyttötarkoituksen ja kohteen mukaan. Kuvassa 7 on esitetty IoT-järjestelmän yleinen arkkitehtuuri eli IoT-toimintamallin peruseriaate.



KUVA 7. IoT-arkkitehtuuri (Muokattu kuva; Easily Understand IOT Block Diagram and Architecture - ETechnoG)

4.5 LoRaWAN-verkko ja sen toiminta

Tiedonsiirtoverkkoja on useita erilaisia, kuten muun muassa NB-IoT, LTE-M, Sigfox ja LoRaWAN. Työssä käsitellään tarkemmin LoRaWAN-verkkoa ja sen mukaista arkkitehtuuria. 4G- ja 5G-verkkojen lisäksi voidaan IoT-laitteet liittää LoRaWAN-verkkoon eli Low Range Wide Area Network ja se perustuu LoRa-tekniikkaan. LoRaWAN on tiedonsiirtoverkko, joka on tarkoitettu nopeaan ja langattomaan, mutta vähätehoiseen tiedonsiirtoon. Verkon tärkeimpiä ominaispiirteitä ovat liikuteltavuus, kaksisuuntainen tiedonsiirto, helppo käyttöönotto sekä paikannuspalvelut. LoRaWAN on edullisempi ratkaisu kuin NB-IoT. LoRaWAN muodostuu LoRa-päätelaitteista ja -reitittimistä sekä taustalla toimivista palvelimista ja sovelluksista. LoRa on yksittäinen modulaatoratkaisu, jota reitittimet sekä päätelaitteet käyttävät kommunikoidessaan keskenään. IoT-ratkaisut, jotka hyödyntävät LoRaWAN-verkkoa ovat edullisia ja pitkäikäisiä. Tiedon keräämiseen käytettävät anturit ovat kevyitä ja yksinkertaisia asentaa paikalleen, koska ne eivät vaadi kaapelointia. Anturissa oleva paristo tai akku voi kestää jopa 10 vuotta. Digita ylläpitää LoRaWAN-verkkoa Suomessa. (Digita, 2022)

LoRaWAN-verkko voidaan rakentaa joko alueellisesti tai maailmanlaajuisesti. Digita tarjoaa koko maan kattavan LoRa-verkon asiakkaiden käyttöön, mutta asiakkaan on mahdollista toteuttaa yksityinen verkko omiin tarpeisiinsa. LoRaWAN-verkko toteutetaan usein star-of-stars-topologina. Yhdyskävänä toimii niin sanotusti läpinäkyvä silta, joka toimii tiedonsiirtosiltana päätelaitteiden ja keskusverkkopalvelimien välillä. LoRa-anturit käyttävät langatonta tiedonsiirtoa yhteen tai useampaan yhdyskävään ja nämä liittyvät verkkopalvelimiin vakimuotoisilla IP-liitännöillä. (Digita, 2022)

LoRa-tekniikan etuna on sen hyvä kuuluvuus pitkälläkin etäisyyksillä. LoRaWAN-verkon tiedonsiirto voi olla yksi tai kaksisuuntaista ja se on jaettu eri nopeuksille ja taajuuskanaville. Tiedonsiirtonopeuden valintaan vaikuttaa anturin ja keskusverkkopalvelimen etäisyys sekä datamäärä. Yleisimmin LoRaWAN-verkossa tiedonsiirtonopeus on 0,3–50 kb/s. (Digita, 2022)

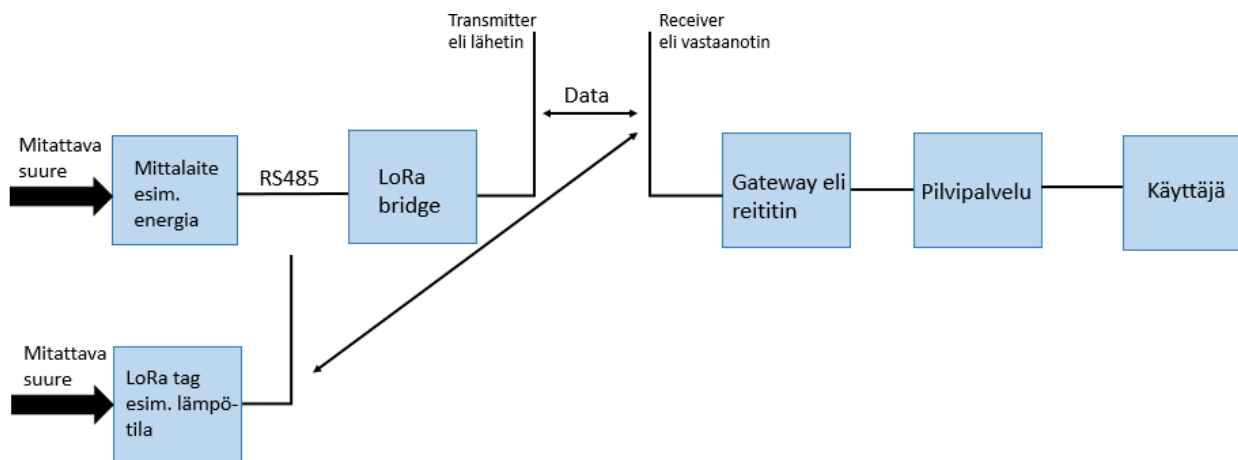
LoRaWAN-verkkoa voidaan hyödyntää erilaisissa IoT-pohjaisissa ratkaisuissa, joissa tarvitaan toimintavarmaa sekä kustannustehokasta ratkaisua. LoRaWAN on tietoturallinen ratkaisu, koska siinä on salattu tiedonsiirto, joka on toteutettu kolmessa verkon eri kerroksessa. Päätelaitteella, sovelluksella

sekä radioverkolla on omat yksilölliset salausavaimet, joiden avulla voidaan taata antureiden ja palvelimen välillä turvallinen tiedonsiirto. (Digita, 2022)

LoRaWAN-verkon sopivuus täytyy testata käytännössä. Täytyy tarkastella LoRaWAN-verkon tiedonsiirtokykyä ja sen muita ominaisuuksia tämän kaltaisten energiamittauksien toteutuksessa. LoRaWAN on myös kustannustehokas ratkaisu sekä siihen on olemassa useita eri sensoreita saatavilla. Esimerkiksi Digitalla on useita omia sensoreita, jotka sopivat LoRaWAN-verkon kanssa yhteen. LoRaWAN-verkon ominaisuutena on sen vähätehoinen tiedonsiirto, joten on mahdollista, ettei se sovellu sarjamittauksien toteutukseen. Tarkempia tarkasteluja muista tiedonsiirtoverkoista on tehtävä, jos LoRaWAN-verkon käyttö ei sovellu käytäntöön.

4.5.1 LoRaWAN-verkon arkkitehtuuri

Ensin valitaan mittalaite, jolla haluttu suure voidaan mitata esimerkiksi energiamittari energian mittaukseen. Mittalaitteelta data siirtyy esimerkiksi sarjaliikenneprotokolla RS485:n avulla LoRa-bridgeen, joka antennin kautta siirtää datan gatewayn eli reitittimen kautta pilveen. Myös LoRa-tagin käyttäminen on mahdollista ja se riittää yksistään, koska LoRa on valmiina samassa paketissa sensorin kanssa. Yhdessä LoRa-tagissa voi olla useita antureita eli yhdellä samalla ratkaisulla voidaan mitata useita eri suureita. Pilvipalvelusta käyttäjä saa tarvitsemansa datan muun muassa tietokoneelle tai mobiililaitteeseen. Kuvassa 8 on esitetty arkkitehtuuri LoRaWAN-verkkoa käyttäen.



KUVA 8. LoRa arkkitehtuuri

4.5.2 Tiedonsiirron varmistus LoRaWAN-verkossa

Huomioon otettava asia tällaista järjestelmää käytettäessä on datan saatavuus, jos tietoliikenneyhteys katkeaa. LoRaWAN verkossa on käytössä sanomien kuittausmenettely. Tämä tarkoittaa siis sitä, että jos sanoma hukkuu matkalla ja lähettäjä ei saa kuittausta, lähetetään sanoma uudelleen. Sensoritagissa on scriptti, jolle se kirjautuu verkkoon uudelleen, kun yhteys on ollut poikki. LoRaWAN-standardi on virallistanut vahvistuspyyntöjen ja vastausten vaihdon LoRaWAN-laitteiden ja LoRaWAN-verkkopalvelimen välillä. Pyynnöt ja vastaukset kulkevat samassa viestissä. Vahvistukset ovat pakollisia ja niiden avulla voidaan varmistaa palvelun laatutakuu ja todistaa, että sovellus toimii. (Vit Prajzler, LoRaWAN confirmations and ACKs, 2019)

4.6 Mittalaiteratkaisut

Mittalaitteen avulla saadaan mitattua halutut suureet. Energiakatselmuksissa halutaan saada selvitettyä energiatehokkuuden kannalta tärkeitä suureita, joita ovat muun muassa energian teho, -määrä ja -laatu. Näitä suureita halutaan tarkastella yhdellä samalla ratkaisulla, jolloin saadaan selvitettyä energiatehokkuuden kannalta, miten tai missä voitaisiin säästää energian käytön osalta. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin ensisijaisesti Internet of Things (IoT)-pohjaisia mittalaitteita ja niiden mitausominaisuuksia.

Mittalaitteita on monia ja energiakatselmuksitoimintaan valitessa oikeaa ratkaisua täytyi ottaa huomioon Motivan antaman yleisohjeen (liite 1) mukaiset ohjeet. Tässä opinnäytetyössä tavoitteeksi asetettiin kiinteistöön liittyvät mittaukset ja niiden toteutuskeinot. Mittalaiteratkaisuja mietittäessä tulee ottaa huomioon mitä laitteilta vaaditaan esimerkiksi ovatko välimatkat pitkiä, miten paljon dataa halutaan saada ja millaisella aikavälillä dataa halutaan mitattavasta kohteesta.

Työssä käsitellään energiakatselmointiin liittyviä mittauksia ja niistä halutaan kertamittauksien sijaan saada sarjamittausta eli saada dataa tietyn väliajoin. Dataa halutaan saada mahdollisimman tiheään, koska näin saadaan tarkempaa mitattua tietoa kohteesta. Mittari rekisteröi tietyn sille asetetun aikavälin mukaan sarjatietoa halutuista suureista. Toisena kriteerinä työlle oli, että laitteiden tuli olla IoT-pohjaisia. Mittalaitteita valitessa tuli ottaa huomioon myös niiden asennettavuus sekä kokonais-kustannukset. Laitteiden täytyy olla helposti asennettavissa ja myös helppo korjata tai vaihtaa laitteen vikaantuessa tai sen ilmoittaessa huoltotarpeesta. Myös laitevarmistus on tärkeä mittalaitteita valitessa. Laitevarmistuksella pidetään huoli siitä, että jos yksi laite on epäkunnossa, ei koko järjestelmä kaadu vaan dataa saadaan siitä huolimatta. Laiteratkaisuja tehdessä valittiin energiatehokkuuden näkökulmasta sopivia laitteita, mutta ratkaisuja tehdessä tuli ottaa huomioon kustannustehokkuus. Kokonaiskustannukset koostuvat useasta eri tekijästä kuten laiteratkaisuista, tietoliikenteestä, raportointijärjestelmästä sekä ylläpito ja käyttökustannuksista.

Eri valmistajilla on useita erilaisia mittalaiteratkaisuja. Ratkaisuja miettiessä tuli ottaa huomioon mitä laitteilta halutaan eli edellä mainittuna mahdollisuus sarjamittaukseen, asennettavuus ja kustannukset. Työssä selvitetään eri mahdollisuuksia Motiva määrittelemiini (liite 1) mittausten suorittamiseen ja esitetään esimerkkejä mahdollisista laiteratkaisuista joillekin Motivan taulukon suureista. Työssä tuodaan esille muutamia eri ratkaisuja ja laite esimerkkejä eri mittausten suorittamiseen. Mittalaiteratkaisuja täytyy tarkastella enemmän ja testata, jotta niiden soveltuvuus nähdään käytännössä.

Eri suureille täytyy olla oma laiteratkaisu tai anturi. Yhdessä samassa laitteessa voi kuitenkin olla useita eri antureita, joka mahdollistaa eri suureiden mittaamisen yhden laitteen avulla. Työssä halutaan etsiä laiteratkaisuja, jotka sopivat yhteen LoRaWAN-verkon kanssa käytettäväksi. Energiamittaukseen sopii muun muassa Garlo Gavazzin EM340 3V 65A Ik B 3-DIN S1 (kuva 9). EM340 energiamittari on kolmivaiheinen, joka on tarkoitettu erityisesti jännitteen, virran, tehon, tehokertoimen ja taajuuden mittaukseen. Mittari voi mitata tuotettua sekä kulutettua energiaa tai se voidaan ohjelmoida huomioimaan vain tuotua energiaa.



KUVA 9. Garlo Gavazzi EM340 energiamittari (sähkönumerot.fi, 2022)

Kyseinen energiamittari sopii yhteen Garlo Gavazzin LoRaWAN-lähetinmoduulin (kuva 10) kanssa. Lähetinmoduuli kommunikoi mittalaitteen kanssa modbus-väylän kautta eli muun muassa RS485:n välityksellä. Näin mittalaitteen keräämä data siirtyy LoRaWAN-verkon avulla pilvipalveluun ja sieltä käyttäjän saataville. Laitteen kantama vaihtelee ympäristön mukaan, mutta voi olla jopa 10 km tukiasemasta.



KUVA 10. Garlo Gavazzi lähetinmoduuli (sähkönumerot.fi, 2022)

Motiva on määrittänyt LVI-järjestelmien mittauksiin muun muassa lämpötilan. Lämpötilaa voidaan mitata esimerkiksi Elsys ERS CO2-ilmanlaatumittarilla. Kyseisellä anturilla voidaan mitata myös kosteutta, valoisuutta ja hiilidioksidipitoisuuksia. Lämpötilan mittaus on 0 - 60°C ja sen tarkkuus on

$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Suhteellinen ilmankosteuden mittausta 0–100 % ja tarkkuus on ± 2 % RH. CO_2 mittausta tarkkuus on ± 45 ppm. Anturi sopii yhteen LoRaWAN-verkon kanssa. Sähköjärjestelmien mittauksista Elsys ERS CO_2 sopii myös valaistusvoimakkuuden mittaamiseen.



KUVA 11. Elsys ERS CO_2 - ilmanlaatumittari (Digita, 2022)

Toisena mahdollisena osan Motivan määrittämiin mittauksiin soveltuisi myös Digitan anturikatalogista ilmanlaatuanturi MCF-LW12VOC. Kyseisellä anturilla voidaan mitata lämpötilaa (-10°C - $+60^{\circ}\text{C}$), suhteellista ilmankosteutta (0 %-100 %), ilmanpainetta (300–1100hPA) ja valon määrää (0,01–80000 LUX).



KUVA 12. MCF-LW12VOC ilmanlaatuanturi (Digita, 2022)

Veden virtaamien mittaukseen soveltuu KOKA Hydrodigit-LR etäluettava digitaalinen vesimittari. Hydrodigit-LR vesimittarissa on integroitu LoRaWAN-lähetin, joten se sopii LoRaWAN-verkon kanssa käytettäväksi. Mittari on digitaalinen vesimittari, jossa on induktiivinen lukemanvälitys.



KUVA 13. KOKA Hydrodigit-LR vesimittari (Koka Oy, 2022)

LoRa bridge on laite, joka siirtää sensoreiden keräämän datan langattomasti laitteesta pilvipalveluun datan käsittelyä varten. LoRa bridge on esitetty kuvassa 14. Laite pystyy lukemaan ja kirjoittamaan ModBus-rekistereitä LoRaWAN-verkon kautta.



KUVA 14. LoRa-bridge (lora-alliance, 2022)

LoRa-tag on laite, joka korvaa mittalaite ratkaisun sekä LoRa-bridgen, jos tag on sensoreilla varustettu. Yksi tag voi mitata useita eri suureita. Kuvan 15 mukainen LoRa-tag on varustettu lämpötila-, kosteus-, valoisuus- ja magneettisensoreilla ja näin ollen yksi laite mittaa useampaa tietoa. LoRa-tag on tehty mikroprosessoripohjaisesti ja sensoreista. Se on toiminnaltaan sama kuin dataloggerin, eli prosessori käy sensorit läpi ennalta määrättyllä ajoituksella.



KUVA 15. LoRa-tag (ela innovation, 2022)

4.7 Mittauksien kesto

Mittari voidaan sijoittaa kohteeseen joko pysyvästi tai halutulle ajalle, jolta mittauksia halutaan toteuttaa. Mittaukset voivat olla kohteessa koko aika tehtäviä tai seurantamittaus ennalta sovitulta ajalta. Kohde ja toteuttava asiantuntija määrittävät toteutetaanko jatkuvia mittauksia vai määritetyn ajan. Mittauksien tulisi kuitenkin olla sen verran pitkältä ajalta, että dataa saadaan riittävästi tarpeeksi kattavien analyysien ja laskennan toteuttamiseen.

Sensoreita voidaan asentaa kohteeseen pysyvästi, jolloin mittaustietoja saadaan koko aika. Näin saadaan paljon dataa, sitä voidaan hyödyntää paremmin energiatehokkuuden näkökulmasta. Sensoreiden hinnat ja saatavuus ja niiden mittausmahdollisuudet mahdollistavat sen, että ne voidaan asentaa kohteeseen pysyvästi. Sensoreita on edullisia ja useilla eri mittausmahdollisuuksilla varustettuina.

5 DATAN KÄSITTELY, RAPORTOINTI JA ANALYSOINTI

5.1 Datan keräys

Anturit keräävät ympäristöstään informaatiota ja erilaiset dataloggerit keräävät antureilta datan. Dataloggeri ovat tiedonkeruulaitteita, jotka keräävät tietoa itsenäisesti antureilta. Mittaustiedot tallentuvat laitteen muistiin, josta data saadaan käyttöön etäyhteyden avulla kerran mittauksen päätyttyä tai sille ennalta määritetyn väliajoin. (Elkome, 2022)

Dataloggeri voi olla erillinen komponentti tai se voi olla jo valmiina samassa laitteessa kuin anturit. Datan kerääminen mittalaitteelta tapahtuu siihen tarkoitettuun laitteen avulla. Työssä käytetään LoRaWAN-verkkoa, joten tarkastellaan sen näkökulmasta datan keräämistä. LoRaWAN-verkkoa käytettäessä on siis vaihtoehtona käyttää mittalaitetta ja LoRa bridgeä tai LoRa tagia. Jos käytetään LoRa bridgeä ja mittalaitetta, niin LoRa bridge kerää mittalaitteilta datan ja lähettää sen pilvipalveluun. LoRa tag taas riittää yksin, koska se on tehty mikroprosessoripohjaisesti ja sensoreista. Prosessori käy anturit läpi sille ennalta määritetyllä ajoituksella, eli tässä tapauksessa siis viiden minuutin välein. Kerätyn datan se lähettää eteenpäin pilvipalveluun, josta se saadaan käsiteltäväksi

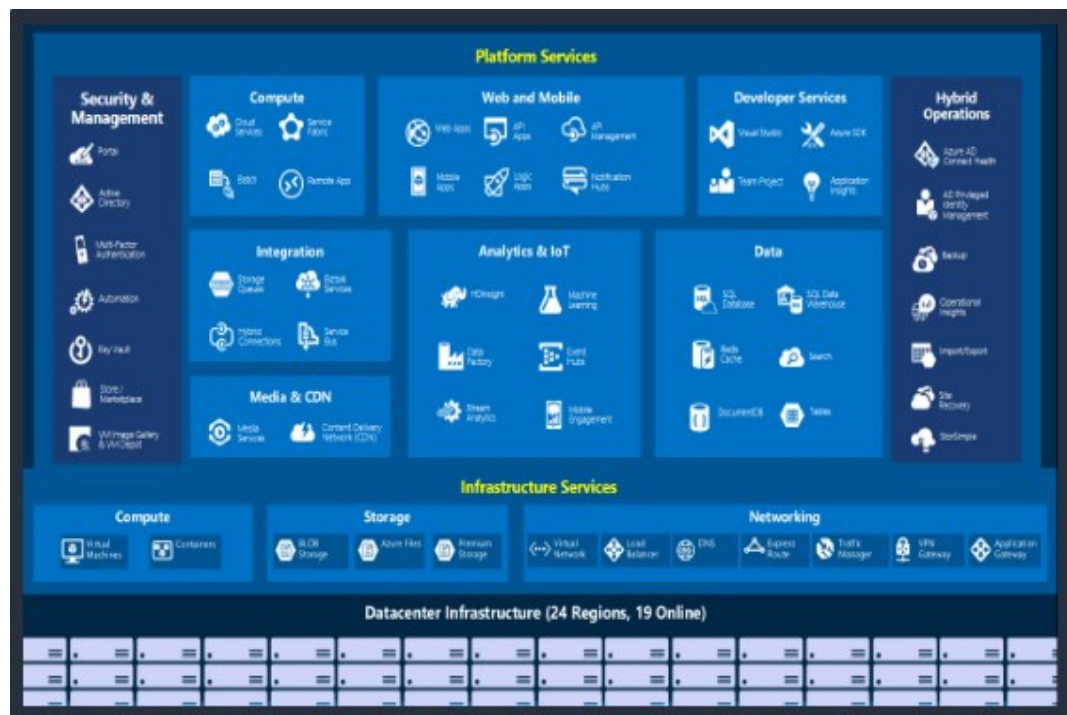
Halutut suureet on määritetty Motivan ohjeistuksessa (liite 1). Motivan taulukossa esitetyt kertamittaukset ovat minimivaatimuksia mittausten toteutuksen suhteen. Työssä halutaan ylittää nämä minimivaatimukset tekemällä kertamittausten sijaan sarjamittauksia. Sarjamuotoinen data on jonkin mitattavan suureen arvoja sille ennalta määritetyltä ajalta. Dataa keräävät ja siirtävät laitteet lähettävät viiden minuutin aikavälein arvoja halutusta suureesta koko mittauksen ajan. Arvot voivat olla keskiarvoja viiden minuutin ajalta, kumulatiivisia arvoja tai hetkellisiä arvoja. Sarjatiedon avulla analyysien tekeminen on helpompaa ja arvojen muutokset tarkempia, jolloin päätelmät ja lopputulokset ovat myös tarkempia.

5.2 Datan käsittely

Data siirretään pilvipalveluun niin sanotusti raakadatana ja se käsitellään luotettavaksi ja käyttökelpoiseksi tiedoksi. Datan käsittely tapahtuu pilvessä olevien data-alusta palveluiden avulla, joita on useita erilaisia, esimerkiksi Microsoft Azure ja Amazon Web Services eli AWS. Nämä molemmat alustat soveltuvat IoT ja tekoälypohjaiseen datan käsittelyyn. Microsoft Azure sekä AWS tarjoavat alustan haluttujen sovellusten rakentamiseen.

Microsoft Azure tarjoaa yli 200 palvelua, kuten erilaisia alustapalveluita (Platform as a Service, PaaS) sekä virtualisointipalveluita (Infrastructure as a Service, IaaS). PaaS on kehitys- ja käyttöönottoympäristö pilvessä, ja sen resurssit mahdollistavat kaikkea yksinkertaisista sovelluksista kehittyneisiin pilvipohjaisiin yrityssovelluksiin. PaaS sisältää infrastruktuurin eli palvelimia, tallennustilaa ja verkkotyöskentelyn, mutta myös väliohjelmistoja, kehitystyökaluja, liiketoiminnanpalveluita ja tietokannan hallintajärjestelmiä. PaaS on suunniteltu tukemaan verkkosovelluksen koko elinkaarta: rakentamista, testaamista, käyttöönottoa, hallintaa ja päivittämistä. IaaS on palveluita, jotka tarjoavat laskenta-,

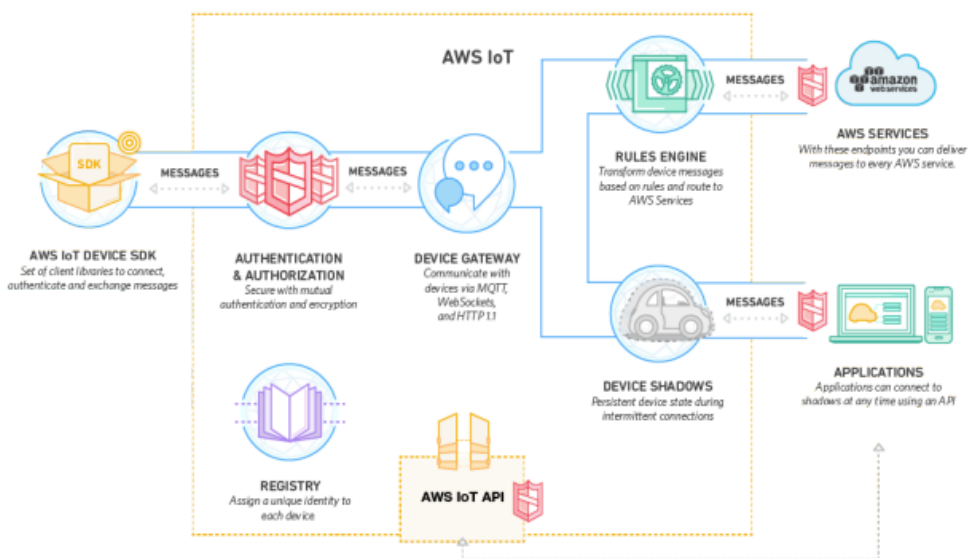
tallennus- ja verkkoresursseja. IaaS-ratkaisun käyttäminen auttaa vähentämään palvelinkeskusten ylläpitoa, säästämään rahaa ja saamaan reaaliaikaisia tietoja. (Microsoft, 2022)



KUVA 16. Microsoft Azure palvelut (<https://intellika.in/microsoft-azure-cloud-services/>)

AWS tarjoaa myös samankaltaisia palveluita kuin Azure. Amazon on julkaissut pilvipalvelualustan AWS IoT-Platform vuonna 2015. Pilvipalvelualusta mahdollistaa IoT-laitteiden liittämisen ja näin ollen tarjoaa mahdollisuuden IoT-järjestelmän rakentamisen. AWS IoT-Platform tarjoaa lisäksi skaalautuvan infrastruktuurin ja käytön muuttuvan hinnoittelun, joka perustuu viestien lukumäärään. AWS IoT Platform ei tarjoa datan visualisointiin liittyviä komponentteja. Tarkoituksena on ohjata

data muihin Amazonin pilvipalveluihin. Esimerkiksi Amazon QuickSight-palvelu on tarkoitettu visualisointiin. (Microsoft Word - Uppa_Jari.docx (theseus.fi))



KUVA 17. Amazon IoT-alusta (Uppa Jari, opinnäytetyö 2017)

Useat erilaiset palvelut tarjoavat sen, että niiden käyttö sopii useaan eri käyttötarkoitukseen. Erilaisen data-alustojen palveluiden avulla voidaan muun muassa tallentaa, hallita, luokitella ja käsitellä dataa. Data-alustoja ja niiden palveluita täytyy vertailla ja käsitellä tarkemmin, jotta löydetään energiakatselmuksiin datan käsittelyyn sopivin ratkaisu.

Pilvipalveluun tallentuu siirretty data. Pilvipalvelu on alusta, jossa dataa voidaan käsitellä ja tarkastella ja jakaa sieltä käyttäjille. Data antaa informaatiota ja sen perusteella voidaan tehdä ratkaisuja ja päätöksiä missä ja miten voitaisiin mahdollisesti säästää eli saadaan selvitettyä kuinka tehostaa energian käyttöä kohteessa.

Koska kerättävä data on sarjamuotoista, sitä on paljon ja näin ollen kohteesta saadaan enemmän tietoa. Sarjamuotoista dataa voidaan hyödyntää monella eri tavalla, esimerkkinä pysyvyyssäily ja muuttuvan keskiarvon menetelmät. Pysyvyyssäilyä avulla voidaan tehdä arvioita energian käytöstä ja sen vaihteluista. Eli sarjamuotoisesta datasta voidaan pysyvyyssäilyä avulla nähdä datan muutokset ja näin hyödyntää tätä analyseissä. Sarjatiedon perusteella on myös helpompi laskea huippu- ja keskiarvoja.

Koska sarjamuotoisessa mittauksista saadaan arvoja tiheään ja lyhyillä aikaväleillä, on puuttuvan datan arviointi helpompaa. Jos tietoliikenteessä on ollut katko tai jostain muusta syystä osa tiedoista puuttuu, voidaan datahistorian perusteella tehdä arviota puuttuvan datan suhteen. Puuttuvia tietoja voidaan lisätä manuaalisesti, jolloin saadaan täydennettyä mittaustietoja.

Osana mittaustietojen käsittelyprosessia on tärkeää tarkistaa datan oikeellisuus. Mittaustietojen oikeellisuutta voidaan tarkastella siten, että arvioidaan ovatko saadut arvot realistisia. Jos datan oikeellisuutta ei tarkisteta, eivät laskennat ole välttämättä oikein ja datan analysointi ei onnistu. Koska analyysien perusteella tehdään päätöksiä ja mietitään uusia ratkaisuja energian säästämiseksi, on

mittaustietojen oltava oikein. Koska ratkaisusta halutaan mahdollisimman hyödyllisiä, tulee datan oikeellisuus tarkastaa huolellisesti. Datan oikeellisuus voidaan todeta esimerkiksi tarkastamalla datan perustiedot, kuten yksikön, ajan ja tarkkuuden sekä onko datassa puutteita. Voidaan myös tehdä laskelmia, että ovatko saadut tulokset järkeviä tai verrata jo aikaisemmin saatuihin mittaustietoihin kohteesta ja tarkastetaan, onko mittaustiedoissa poikkeamia. Jos poikkeamia löytyy, niin silloin tarkastetaan, onko mittauksessa käynyt virhe vai johtuuko poikkeama jostain muusta.

Datan käsittelyssä tulee ottaa muutamia tekijöitä huomioon, jotka vaikuttavat datan käsittelyyn ja se luotettavuuteen. Aikaleima on yksi tekijä, joka tulee huomioida tarkkaan. Aikaleiman täytyy olla oikein kaikkia suureita mitattaessa ja pysyä kaikissa mittauksissa samana, koska muuten tulosten analysointi ja laskenta on vaikeita tehdä eivätkä ole täysin totuuden mukaisia. Mittausajan mukaan voidaan päätellä milloin ja miksi jonkin suureen arvo muuttuu. Ajan määrittely mittauksissa on perustana mittausdatan käsittelyn ja analysoinnin kannalta. Aikaleiman avulla nähdään, milloin arvot muuttuvat. Aikaa täytyy myös synkronoida, jotta mittalaitteissa on keskenään sama aikaleima ja synkronoinnin avulla aika on oikeassa aikavyöhykkeessä. Eli myös aikavyöhyke tulee ottaa huomioon, joka on Suomessa talviaikaan UTC+2 ja kesäaikaan UTC+3.

Ajankohta	Sahko_pato	Sahko_lois
1.1.2021 0:00	96,45	0
1.1.2021 1:00	96,65	0
1.1.2021 2:00	96,15	0
1.1.2021 3:00	96,65	0
1.1.2021 4:00	96,8	0
1.1.2021 5:00	97,15	0,15
1.1.2021 6:00	96,3	0,05

KUVA 18. Esimerkki aikaleimasta

Mittaustietoja käsitellessä tulee huomioida myös datan yksikkö. Dataa ei voida tarkastella, jos ei tiedetä mitä ja millaista data on. Tämän takia Motivan määrittämien mitattavien suureiden yksiköt on tärkeä määritellä. Jos yksikköä ei tiedetä tai se tulkitaan väärin, ei laskenta onnistu oikein. Esimerkiksi jos energian kulutuksessa käytetään kWh eli kilowattituntia mittayksikkönä, mutta tulokset lasketaan MWh eli megawattitunteina eivät laskennan tulokset ole paikkaansa pitäviä ja tuloksia ei voida hyödyntää oikein. Datan käsittely ja sen oikeellisuus vaikuttavat raportointiin ja analyysihin. Motivan taulukon suuret ja niiden yksiköt:

- Sisälämpötila: °C
- Tuloilmanlämpötila: °C
- Ilmanvaihtokoneen LTO hyötysuhde: η
 - hyötysuhteen laskeminen: $\eta_t = \frac{T_{tLTO} - T_u}{T_p - T_u}$
 - T_p , poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa
 - T_u , tuloilman lämpötila
 - T_{tLTO} , tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen
- Vesikalusteiden virtaamat: l/s tai esimerkiksi l/min

- Kattilalaitoksen palamishyötysuhde: η
 - hyötysuhteen laskeminen: $\eta = \frac{Q_{hyöty}}{Q_{tuotu}}$
- $Q_{hyöty}$, kattilasta hyödyksi saatu lämpövirta
- Q_{tuotu} , kattilaan tuotu energiavirta
- Valaistusvoimakkuus: lx (luksi)
- Sähkönkuormitusvaihtelu ja kulutuksen ajoittuminen: kW/min
- Teho: P

Datan käsittelyssä voidaan hyödyntää visualisointia. Tällä tarkoitetaan erilaisia kuvaajia, joiden avulla datan käsittely ja esittäminen on helpompaa ja selkeämpää. Visuaaliset esitykset ovat tehokas työkalu niin datan käsittelyyn kuin analyysien esittämiseen.

5.3 Raportointi ja analysointi

Kun mittausdata on kerätty ja käsitelty voidaan tulokset raportoida ja niiden perusteella tehdä analysejä. Jotta data voidaan raportoida ja analysoida oikein, on datan käsittely vaihe tehtävä huolellisesti. Analyysien avulla tehdään päätelmiä ja ratkaisuja energiansäästön osalta ja saadaan suositukset energiatehokkuudesta. Raportoinnin ja mittaustietoanalyysien perusteella tehdään mahdolliset toimenpide-ehdotukset asiantuntijan toimesta.

Energiakatselmuksen raportti on kirjallinen esitys kohteessa suoritetuista mittauksista. Raportin tulee noudattaa Motivan määrittämiä katselmusmallikohtaisia raportointiohjeita ja mallisisällysluettelo. Motiva ei ole määrittänyt tarkkaa tiedostomuotoa raportin tekemiseen, mutta se pitää olla luettavissa yleisimpien toimistotyökalujen avulla. Tiedostomuodosta tulee sopia jo ennen katselmuksen aloitusta. Raportin tiedot perustuvat energiakatselmoijan arvioihin, haastatteluihin, mittauksiin ja katselmuksen aikana syntyneeseen näkemykseen kohteen energiankäytöstä ja taloudellisista säästömahdollisuuksista. Keskeisimmät perusteet raportissa esitettyihin ehdotuksiin, arvioihin ja näkemyksiin tulee esittää raportissa. Tiedot ja ehdotukset, joita katselmusraportissa käsitellään, tulee esittää taustatietoineen ja perusteluineen. Katselmusraportissa esitetään nykyisestä energiankäytöstä seuraavat tiedot:

- energiakustannusten muodostuminen; määräytymisperusteet, tariffit, kustannuksiin vaikuttavat olennaiset tekijät
- kulutuksen historiatiedot
 - vuositasolla 3–5 vuodelta
 - ajallisesti tarkemmalla tasolla esimerkiksi edellisen 12–24 kuukauden kulutukset sekä kulutusmuutoksiin vaikuttaneet tekijät
 - kulutuksen ajallinen vaihtelu esimerkiksi kesä/talvi, yö/päivä, arki/viikonloppu. Kulutuksen ajallinen vaihtelu esitetään mahdollisuuksien mukaan ja katselmusmallista riippuen tunti-, vuorokausi-, kuukausi- tai vuositasolla
- energian ja veden kulutusjakaumat järjestelmittäin sekä suurimpien yksittäisten kuluttajien osalta siten, että säästöjen laskennassa voidaan varmistua oikeista suuruusluokista.

Suurimpien teollisuuden ja energia-alojen kohteiden osalta esitetään myös kohteiden energiataseet sankey-diagrammina. (Motiva Oy, 2022)

Säästötoimenpiteiden osalta esitetään:

- yhteenveto taulukkomuodossa, toimenpiteistä esitetään toteuttamisen kustannusarvio, arvio vaikutuksista energian, veden ja kustannusten säästöön sekä toimenpiteen suora koroton maksuaika
 - raportissa voidaan esittää toimenpiteen taloudellinen kannattavuus myös muilla laskentamenetelmillä esimerkiksi nykyarvomenetelmä
- vuotuinen kustannussäästö esitetään kohteen nykyisillä energian hinnoilla
- investointikustannus, joka on budjettitason arvio säästötoimenpiteen toteutuksen kokonaiskustannuksesta, esitetään riittävästi eriteltynä tärkeimpiin kustannuskomponentteihin
 - arvoin yhteydessä esitetään selkeästi investointikustannusarvion mahdolliset riski- ja epävarmuustekijät ainakin niissä tapauksissa, joissa investointi on suuri tai arvioon sisältyvillä epävarmuustekijöillä voi olla oleellinen vaikutus investoinnin kannattavuuteen
- säästötoimenpiteen vaikutus kohteen hiilidioksidipäästöihin
- sanalliset perustelut säästötoimenpide-ehdotuksille; lähtötilanne, tilanne säästötoimenpiteen jälkeen ja mistä säästö muodostuu
- toimenpiteiden toteuttamisjärjestys säästöjen päällekkäisvaikutusten huomioimiseksi. (Motiva Oy, 2022)

Raportointi toteutetaan kirjallisena ja siinä esitetään tehdyt mittaukset, mahdolliset haastattelut kohteen käyttöön liittyen, näiden pohjalta syntyneet näkemykset energiankäytöstä kohteessa sekä toimenpide-ehdotukset energiantehokkuuden lisäämiseksi ja mahdollisista säästöistä. Raporteissa ja analyseissä esitetään kohteessa tehtäviä toimenpide-ehdotuksia, jotta kohteesta saadaan mahdollisimman energiatehokas. Energiatehokkuudella tarkoitetaan hyötysuhdetta, joka saadaan energian käytöstä. Kohteessa voidaan lisätä energiatehokkuutta vähentämällä energian käyttöä kohteessa tai vaihtoehtoisesti siten, että nykyisellä energian käytöllä pyritään saamaan parempia tuloksia. (Opti-Watti)

Mittaukset antavat arvon raportointiin ja analysointiin, koska ilman niitä kohteen energiankäyttöä ei saada selvitettyä. Mittauksien avulla pystytään myös perustelemaan raportissa esitetyt toimenpide-ehdotukset liittyen energiatehokkuuden parantamiseen sekä taloudelliseen säästöön. Sarjamoitoisen mittausdatan avulla saadaan huomattavasti tarkempaa tietoa kohteesta kuin kertamittauksilla, joten kohteen energiankäyttö saadaan selvitettyä huomattavasti tarkemmin, jolloin tulokset ja toimenpide-ehdotukset ovat varmempia ja luotettavampia. Mittaustietojen käsittely jollain data-alustalla mahdollistaa visualisoinnin, jonka avulla mittaustietoja ja toimenpide-ehdotusten kannattavuutta voidaan esittää helpommin ja ymmärrettävämmiin.

Visualisointi helpottaa saadun datan ymmärrystä ja sen avulla saadaan optimaalinen yleiskuva mittauksista. Visualisointiin voidaan käyttää useita kuvaajia, joita ovat muun muassa erilaiset kaaviot,

taulukot ja diagrammit. Kuvaajissa esitetään analysoinnin kannalta oleelliset tiedot, kuten mitattu data, aikaleima ja yksikkö. Kun nämä asiat on esitetty kuvaajassa, nähdään mitä suuretta tarkastellaan, sen yksikkö sekä suureen muutokset ajallisesti. Visuaalisissa esityksissä tieto on keskitettyä, joten ne auttavat tulkitsemaan dataa paremmin. Kuvaajat esittävät saadut mittaustiedot erilaisina käyriä tai muussa halutussa muodossa. Analyysien esittäminen visuaalisessa muodossa helpottaa analyysin ymmärtämistä. Datan raportointi ja analysointi tapahtuu aina samassa muodossa, jolloin sen lukeminen ja tulkinta on helpompaa ja siihen pystyy useampi henkilö.

Aikaleima ja yksikkö ovat tärkeä huomioida myös analysointia tehdessä. Koska aikaleima antaa arvon mittaustiedolle ajallisen arvon ja datassa tapahtuvat muutokset ajallisesti, voidaan tämän perusteella pyrkiä jakamaan tehon käyttöä energia- sekä kustannustehokkaammin.

Kun dataa saadaan kohteesta paljon, voidaan sitä paremmin hyödyntää analysoinnissa, koska saadaan tarkempaa tietoa, milloin kulutuksesta ja energiamäärien vaihteluista. Kun sarjamittauksessa saadaan mittaustietoa joka viiden minuutin välein, voidaan näiden tietojen avulla tarkastella haluttua suuretta tunti, vuorokausi, viikko, kuukausi ja jopa vuosi tasolla. Kun saadaan viiden minuutin välein dataa, sen avulla voidaan laskennallisesti selvittää halutun aikajakson esimerkiksi viikon ajalla käytetty energia.

Tämän opinnäytetyön jatkumona selvitetään miten ja millaisia raportteja ja analyyskejä saadusta datasta voidaan muodostaa konkreettisesti sekä millaisessa muodossa ne esitetään, jotta ne ovat selkeitä ja useamman henkilön ymmärrettävissä. Jatkumona on myös selvittää tarkemmin, miten raportteja ja analyyskejä voidaan hyödyntää uusien ratkaisujen kehittämisessä energian säästön osalta kohteessa.

5.4 Kustannukset

Kustannuksia käsitellään yleisellä tasolla ja esimerkkien kautta. Kokonaiskustannukset koostuvat useasta eri tekijästä kuten laiteratkaisuista, tietoliikenteestä, raportointijärjestelmästä sekä ylläpito ja käyttökustannuksista. Mittalaiteratkaisuja on todella useita erilaisia, joten niitä on useissa eri hintaluokissa. Antureita ja mittalaitteiden hinnat ovat muutamista kymmenistä euroista aina tuhansiin euroihin asti. Tämä riippuu valmistajasta sekä anturin tai muun mittalaitteen toiminnoista. Esimerkiksi kuvassa 11 esitetty ilmanlaatu anturi maksaa noin 100–200 euroa. Kuvassa 15 esitetty LoRa tag maksaa noin 90 euroa ja sisältää useita eri antureita eikä tämän lisäksi tarvitse erillistä laitetta datan siirtoon.

Erilaiset tiedonsiirtoverkko yhteydet maksavat myös ja niilläkin on hintaeroja. NB-IoT on kalliimpi tiedonsiirtoverkko kuin LoRaWAN-verkko. Kokonaiskustannuksiin sisältyy lisenssi, laitteiden hinnat ja verkon käyttöönotto. LoRaWAN-verkon lisenssi maksaa 0 euroa, koska se toimii lisensoimattomilla taajuuksilla. NB-IoT:n lisenssi maksaa, koska se toimii lisensoiduilla taajuuksilla. Taajuuden hinta on noin 500 M€/MHz. Myös käyttöönotto maksuissa on eroja. LoRaWAN-verkon käyttöönotto maksaa yli 100 €/gateway ja yli 1000 €/tukiasema. NB-IoT taas maksaa yli 15 000 €/tukiasema. (<http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202004181472.pdf>)

Pilvipalveluiden kustannukset on hyvä huomioida ja palveluiden tarjoajien välillä on eroja hinnoittelussa.

Osa pilvipalveluista ovat maksuttomia ja osa maksullisia. Esimerkkinä Microsoft Azure-ohjelma, jonka eri versiot ovat eri hintaisia. Azure Active Directory Premium P1-versio maksaa 5,10 €/kk ja Azure Active Directory Premium P2-versio maksaa 7,60 €/kk. Microsoft Azure on saatavilla myös ilmaisversiona, Azure Active Directory. (Microsoft, 2022)

Ylläpito ja käyttökustannukset vaihtelevat myös riippuen siitä mitä laiteratkaisuja ja mikä tietoliikenneverkko on käytössä. Useissa mittalaitteissa ja antureissa on pitkä käyttöikä eli niitä ei joudu uusia kovin usein, mutta tämä riippuu myös laitteen käyttötavasta.

Kustannukset täytyy huomioida hankintoja tehdessä, koska tällaisen ratkaisun halutaan myös olevan kustannustehokas. Jos ylläpito ja käyttökustannukset ovat korkeat, ei siitä hyödytä kustannuksien kannalta. Tällöin ratkaisu on turha tai jopa meno yritykselle. Myös kerralla tehdyt hankinnat, eli esimerkiksi laiteratkaisut tulee huomioida, jotta ne pysyvät inhimillisinä.

6 ESIMERKKI KATSELMUKSEN JA MITTAUSTEN TOTEUTUKSESTA KÄYTÄNNÖSSÄ

Liitteissä 2 ja 3 on esitetty prosessikaavioiden avulla energiakatselmuksen eteneminen sekä kenttätyön mittaukset ja datan siirto pilvipalveluun. Liite 2 esittelee energiakatselmuksen etenemisen vaiheet ja liitteessä 3 on mittausten toteutus ja mittaustietojen käsittelyvaihe. Prosessikaavioissa on esitetty vasemmalla prosessiin liittyvät osapuolet ja ylhäällä prosessin vaiheet eli mitä tehtäviä tai aliprosesseja toteutetaan valmistelu-, suunnittelu-, toteutus- ja päättämisvaiheissa. Prosessikaaviot mukailevat Voimatelin omaa prosessimallia.

Energiakatselmus alkaa asiakkaan tarpeesta tai halusta toteuttaa kohteessa energiakatselmus. Ensimmäisenä määritellään kohteen nykytilanne ja asiakkaan tarpeet katselmuksen osalta. Seuraavaksi valitaan katselmoijat tilaajan toimesta sekä vastuuhenkilöt. Tilaaja tekee energiatukihakemuksen Business Finlandille ennen energiakatselmoinnin aloitusta, jotta tuki on mahdollista saada katselmointiin. Kun Business Finland on myöntänyt tuen, pidetään aloituspalaveri vastuuhenkilöiden ja työn tilaajan kesken. Aloituspalaverissa tilaaja ja vastuuhenkilöt sopivat muun muassa katselmoinnin painotuksista, aikataulusta, budjetista ja yksityiskohdista. Tämän jälkeen tilaaja toimittaa kohteen lähtötietoja, joita ovat muun muassa katselmoitavan kohteen osoite- ja laajuustiedot, energian ja veden kulutustiedot, taloteknisten järjestelmien tiedot, tehdaspalvelujärjestelmien tekniset tiedot, teollisuuskohteissa tuotantoala ja prosessit. Näiden avulla katselmoijat sekä vastuuhenkilöt saavat käsityksen kohteen nykyisestä energiankulutuksesta ja pystyvät määrittelemään helpommin tarkasteltavia kohteita. Ennen varsinaista katselmustyötä valitaan sopiva katselmointimalli kohteen tyyppin mukaan, tässä esimerkissä kohteena on toimistorakennus, jossa käytetään kiinteistön energiakatselmusta.

Kenttätyö ja mittauksien toteutus tehdään Motivan määrittämien katselmuksiin liittyvien ohjeiden mukaisesti. Katselmoijat haastattelevat henkilökuntaa ja toteuttaa mittaukset. Työssä mittaukset tehdään sarjamuotoisena datana kertamittauksien sijaan, joten laitteet ja anturit on valittava sen mukaan, jotka sopivat yhteen käytettävän tiedonsiirto verkon kanssa eli LoRaWANin sekä laitteet, joilla sarjamuotoisen datan kerääminen ja loggaus on mahdollista. Määritetään toimistossa mitattaviksi suureiksi lämpötila, valaistusvoimakkuus, vesikalusteiden virtaamat, ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötila sekä energian mittaus. Sisälämpötiloja sekä valaistusvoimakkuutta mitataan Elsys ERS CO2-ilmalaatumittarilla, vesikalusteiden virtaaman mittaukset toteutetaan KOKAn Hydrodigit-LR mittarilla ja energiamittaukset toteutetaan Garlo Gavazzin EM340 energiamittarilla ja lähetinmoduulin avulla. Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilat saadaan ilmanvaihtokoneen omilta antureilta, mutta mahdollista myös tuloilmakoneeseen asentaa lämpötila anturi, joka lähettää tiedot samalla tavalla kuin muutkin LoRaWAN-verkon kanssa yhteen sopivat anturit. Anturit asennetaan kohteeseen tarkoin suunnitellusti, jotta saadaan tarkimmat mahdolliset mittaustulokset. Anturit keräävät kohteesta dataa viiden minuutin aikavälein ja LoRaBridge kerää antureilta datan ja lähettää sen LoRaWAN-verkon kautta pilvipalveluun.

Tässä esimerkissä pilvipalveluna toimii Microsoft Azure. Microsoft Azure on data-alusta, johon kaikkien antureiden keräämä data tallennetaan. Pilvipalvelussa data voidaan käsitellä ja siitä voidaan muodostaa tarvittavia analyysejä kohteen energiankäytöstä ja kuinka kohteesta saadaan energiate-

hokkaampi. Datan käsittelyn ensimmäinen vaihe on tarkistaa datan oikeellisuus. Kun datan oikeellisuus on tarkastettu, muodostetaan datasta visuaalisia kuvaajia ja diagrammeja. Tämä selkeyttää raportointia ja datan analysointia.

Kun data on käsitelty, voidaan siitä muodostaa analyysijä energiatehokkuuden parantamiseen liittyen. Mittaustietojen lisäksi tarvitaan lähtötietoja analysointiin ja potentiaalisten säästötoimenpiteiden esittämiseksi. Datasta muodostettujen kuvaajien avulla helpotetaan ymmärrystä kohteen energiankäytöstä sekä ne tukevat toimenpide-ehdotuksia. Energiakatselmuksesta muodostetaan raportti, jossa esitetään lähtötiedot, mittaustulokset ja säästötoimenpiteet, niiden kustannukset ja muut Motivan raportointiohjeiden mukaiset vaatimukset.

Kun katselmointi on tehty ja siitä on muodostettu raportti, on katselmusraportin luovutustilaisuus, jossa katselmuksen tulokset ja säästötoimenpiteet esitetään tilaajalle. Katselmusraportin luovutustilaisuudessa tilaaja voi vielä ottaa kantaa katselmukseen ja sen toteutukseen.

Viimeisenä tilaaja tekee maksatusselvityksen Business Finlandille energiakatselmuksesta, ja katselmoinnin vastuuhenkilöt toimittavat katselmusraportin Motivalle, joka hyväksyy raportin. Tämän jälkeen katselmuksessa sovitut säästötoimenpiteet toteutetaan.

Tämä esimerkki ei perustu käytännön toteutukseen. Mittauksia, laitteiden testausta, data-alustoja tai datan keräystä ja käsittelyä ei ole testattu konkreettisesti, vaan on täysin esimerkkipohjainen. Myös kaikki työssä mainitut laitteet, tiedonsiirto ja data-alustat ovat esimerkkejä mahdollisista ratkaisuista antamassa suuntaa ja auttamassa asian käsittelyssä, mutta niiden toimivuutta kyseisessä käytössä ei ole varmistettu eikä testattu.

YHTEENVETO

Opinnäytetyössä perehdyttiin energiakatselmuksien sisältöön Motivan sekä työ- ja elinkeinoministeriön laatimien ohjeiden pohjalta. Työssä käsiteltiin energiakatselmuksien tavoitteita, katselmuksiin liittyviä osapuolia ja vastuualueita, vaiheita ja tehtäviä sekä eri katselmointimalleja kiinteistö ja teollisuuskohteisiin ja katselmointimallien sisältöä. Työssä tutkittiin kuinka energiakatselmuksien mittaukset olisi mahdollista toteuttaa kertamittauksen sijaan sarjamuotoisena. Tämän myötä selvitettiin kuinka IoT-pohjaisia ratkaisuja voidaan hyödyntää energiakatselmoinnin sarjamuotoisen mittauksen toteutuksessa sekä mitä eri langattomia tiedonsiirtoväyliä on, joista tarkemmin käsiteltiin tarkemmin LoRaWAN-verkkoa ja sen ominaisuuksia. Työssä tuotiin esiin LoRaWAN-verkon arkkitehtuuria sekä esimerkki laiteratkaisuja, jotka sopivat LoRaWAN-verkon kanssa käytettäväksi. Työssä perehdyttiin kuinka sarjamuotoinen data kerätään laitteilta, kuinka sitä voidaan käsitellä, datan raportointia ja analysointia sekä miksi sarjamuotoinen data energiakatselmoinnissa on luotettavampaa kuin kertamittauksella tehdyt katselmoinnit.

Tämän opinnäytetyön pohjalta voidaan päätellä, että IoT:iin ja sen ominaisuuksiin on perehdyttävä tarkasti, jotta sen hyödyntäminen onnistuu. IoT-arkkitehtuuriin kuuluu useita osia ja mahdollisuuksia on paljon. IoT sopii monille eri aloille muun muassa teollisuudessa ja logistiikan puolella, mutta sitä voidaan hyödyntää myös kotona. Se mihin tarkoitukseen IoT:a hyödynnetään, vaikuttaa siihen mikä tiedonsiirtoverkko ja mitkä laitteet sopivat parhaiten. Laiteratkaisujen monipuolisuus yllätti, koska laitteita on todella monia erilaisia, erikokoisia ja erilaisilla toiminnoilla varustettuina. Laitteita työssä tuotiin esimerkillisesti esiin, mikä voisi sopia ja millaisia laiteratkaisut voisivat olla. Laitteet ja tiedonsiirto sekä data-alustat täytyisi testata käytännössä, jotta niiden toimivuus ja sopivuus käyttöön voitaisiin varmistaa.

Työssä haluttiin myös selvittää, miten sarjamuotoista mittaustietoa voidaan hyödyntää. Sarjamuotoisen datan keräämiseen ja käsittelyyn vaikuttaa useita eri tekijöitä. Jos mittauksien toteutuksessa tai mittaustietojen analysointi vaiheessa ei oteta huomioon tuloksiin vaikuttavia tekijöitä, eivät analyysit ja toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden lisäämiseen ja taloudelliseen kannattavuuteen ole luotettavia.

Opinnäytetyö oli aiheena suhteellisen laaja ja siksi työtä päätettiin rajata sen edetessä selvityksen tasolle. Työssä oli paljon erilaista sisältöä ja elementtejä, jotka täytyi ymmärtää ennen kuin työtä pystyi jatkamaan. Työtä tehdessä ongelmaksi nousi välillä konkretian puute, koska sen myötä kirjoittaminen ja asioiden sisäistäminen oli haastavampaa. Myös datan käsittely, raportointi ja analysointi kappaleiden työstäminen oli hieman haastavaa, koska ei ollut konkreettisia esimerkkejä toteutetuista mittauksista, joiden kautta asioita olisi voitu työssä käsitellä. Työ toteutettiin siten, että työssä tehtiin selvitystä sarjamuotoisten mittauksien toteuttamiseen liittyvistä asioista ja näin ollen sitä voidaan hyödyntää pohjana tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Voimatel Oy, (2022). Voimatel Oy kotisivut. <https://www.voimatel.fi/voimatel/> Viitattu 7.3.2022
- Työ- ja elinkeinoministeriö, (toukokuu 2021). *Energiakatselmustoiminnan yleisohjeet*. Pdf-tiedosto. TEM-energiakatselmustoiminnan yleisohjeet – Motiva. Viitattu 8.3.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 4.8.2022). *Energiakatselmustoiminta*. Energiakatselmustoiminta – Motiva Viitattu 17.3.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 3.8.2022). *Täsmäkatselmus*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/tasmakatselmus Viitattu 9.3.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 3.12.2021). *Kiinteistön energiakatselmus*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/kiinteiston_energiakatselmus Viitattu 17.3.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 3.12.2021). *Kiinteistön energiakatsastus*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/kiinteiston_energiakatsastus Viitattu 19.4.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 31.12.2021). *Teollisuuden energiakatselmus*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/teollisuuden_energiakatselmus Viitattu 17.3.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 21.1.2022). *Teollisuuden 2-vaiheinen energiakatselmus*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/teollisuuden_2-vaiheinen_energiakatselmus Viitattu 19.4.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 31.12.2021). *Teollisuuden energia-analyysi*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/teollisuuden_energia-analyysi Viitattu 19.4.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 21.1.2022). *Teollisuuden 2-vaiheinen energia-analyysi*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/teollisuuden_2-vaiheinen_energia-analyysi Viitattu 19.4.2022
- Motiva Oy, (päivitetty 21.1.2022). *Prosessiteollisuuden energia-analyysi*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/prosessiteollisuuden_energia-analyysi Viitattu 19.4.2022
- Empirica, (ei pvm.). *Mikä on IoT?* <https://www.empirica.fi/iot/> Viitattu 7.5.2022
- Digita, (ei pvm.). *LoRaWAN-teknologia*. <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/> Viitattu 7.5.2022
- Energiavirasto, (ei pvm.). *Energiavirasto*. <https://energiavirasto.fi/etusivu> Viitattu 28.4.2022
- Työ- ja elinkeinoministeriö (ei pvm.). *Energiatuki*. <https://tem.fi/energiatuki> Viitattu 28.4.2022

- Digita, (ei pvm.). *10 faktaa LoRaWAN- ja NB-IoT-tekniikasta*. <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/10-faktaa-lorawan-ja-nb-iot-tekniikasta/> Viitattu 7.5.2022
- Hilden Esa, 2010. *Kattilan hyötysuhteen määrittäminen*. Opinnäytetyö. Energiatekniikka/Voimalaitoksen käynnissäpito. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127145/Bragge_Mikael.pdf?sequence=4&isAllowed=y Viitattu 27.6.2022
- Bragge Mikael, 2017. *Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmät*. Opinnäytetyö. Tekniikan ala, ympäristöteknologia, energia-asiat. Lahden ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127145/Bragge_Mikael.pdf?sequence=4&isAllowed=y Viitattu 27.6.2022
- Sähkönumerot.fi (ei pvm.). <https://www.sahkonumerot.fi/7423000> Viitattu 17.5.2022
- Sähkönumerot.fi (ei pvm.). <https://www.sahkonumerot.fi/6706033> Viitattu 17.5.2022
- Digita – anturikatalogi (2020). <https://www.digita.fi/wp-content/uploads/2020/07/Digita-anturikatalogi-2020.pdf> Viitattu 20.5.2022
- LoRa Alliance (2022). https://lora-alliance.org/lora_products/lpn-modbus-bridge/# Viitattu 23.5.2022
- KOKA.fi (ei pvm.). HYDRODIGIT-LR - Koka Oy Viitattu 6.10.2022
- Ela innovation (ei pvm.). <https://elainnovation.com/en/catalogue/lora-home-en/> Viitattu 18.5.2022
- Elkome, (2022) *Dataloggerit*. <https://shop.elkome.com/fi/dataloggerit> Viitattu 23.5.2022
- OptiWatti, (22.2.2019). *Omakotitalon energiatehokkuus – mitä siitä pitäisi tietää?* <https://www.optiwatti.fi/omakotitalon-energiatehokkuus-mita-siita-pitaisi-tietaa/> Viitattu 26.6.2022
- Microsoft Azure, (2022). *What is PaaS?* <https://azure.microsoft.com/en-gb/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-paas/> Viitattu 26.6.2022
- Microsoft Azure, (2022) *What is IaaS?* <https://azure.microsoft.com/en-gb/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-iaas/> Viitattu 26.6.2022
- Intellika, (2022). <https://intellika.in/microsoft-azure-cloud-services/> Viitattu 26.6.2022
- Viljami Kontu, 2020. *Sigfox, LoRa ja NB-IoT-verkkojen vertailu*. Opinnäytetyö. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun yliopisto. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-202004181472.pdf> Viitattu 21.7.2022
- Samuli Kiuttu, (2017). *Esineiden internet järjestelmien integrointien haasteet*. Opinnäytetyö. Informaatioteknologian tiedekunta, tietojärjestelmätiede. Jyväskylän yliopisto. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/56449/URN:NBN:fi:juu-201712204799.pdf?sequence=1> Viitattu 11.5.2022
- ETechnoG, (ei pvm.). *IoT block diagram*. Easily Understand IOT Block Diagram and Architecture - ETechnoG Viitattu 10.5.2022
- Vit Prajzler, (30.4.2019). *LoRaWAN confirmations and ACKs*. <https://medium.com/@prajzler/lorawan-confirmations-and-acks-ba784a56d2d7> Viitattu 31.5.2022

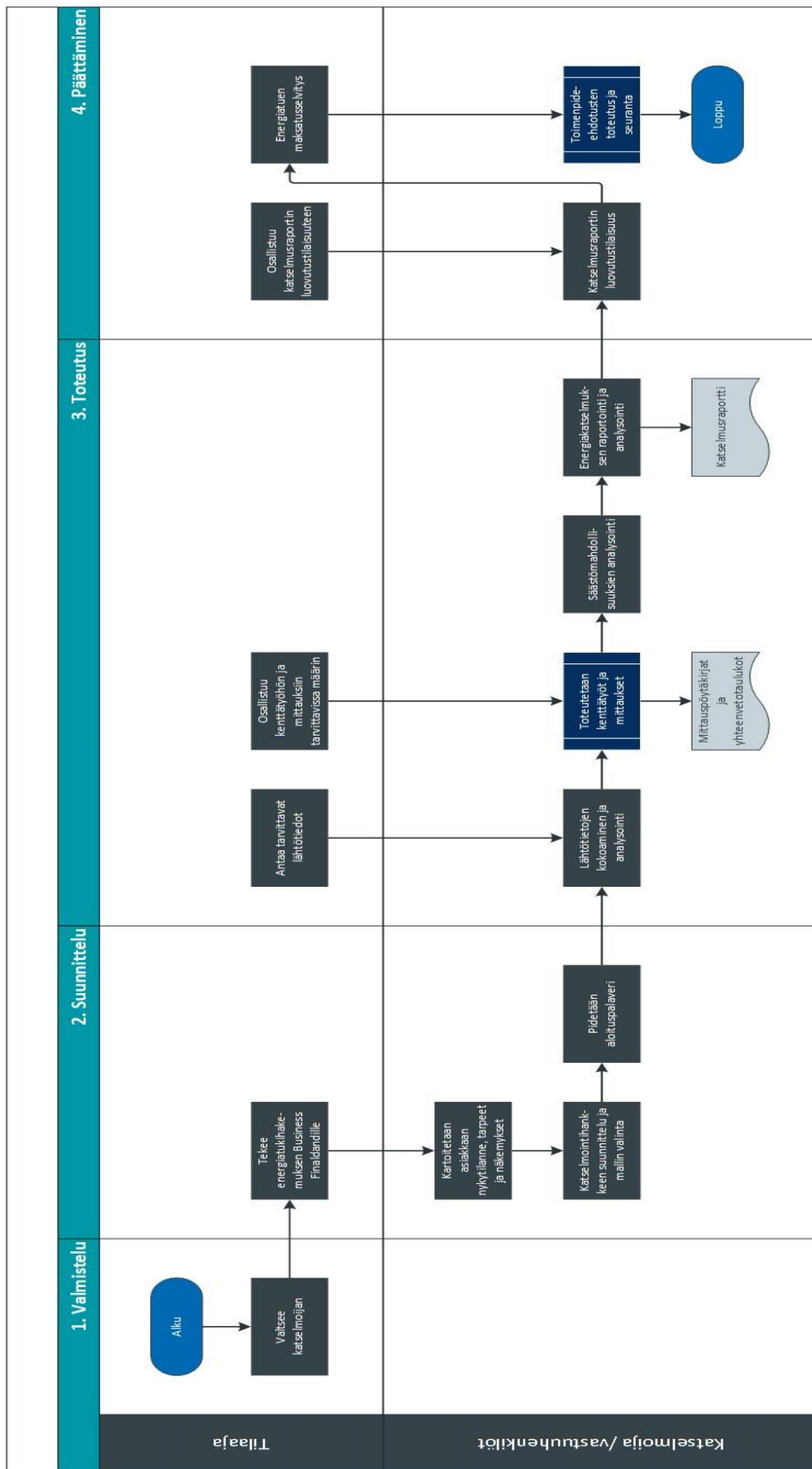
Uppa Jari, (2017). *Esineiden internet ja IoT-alustat*. Opinnäytetyö. Tietojen käsittely. Tampereen ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/138552/Uppa_Jari.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Viitattu 25.11.2022

Microsoft (2022), *Azure active directory palvelupaketit ja hinnoittelu*. <https://www.microsoft.com/fi-fi/security/business/identity-access-management/azure-ad-pricing#office-SKUChooser-q6q98uk> Viitattu 21.7.2022

LIITE 1. MOTIVAN MÄÄRITTELEMÄT MALLIKOHTAISET MITTAUKSET (TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ, 2022)

	Kiinteistökatselemusten mittaukset		Teollisuuden katselemusten mittaukset		Ohjeita Ohjeellinen mittausjakso	Mittauskohde ja huomioitavat asiat
	Kiinteistö-katsastus	Muut kiinteistökatselemusma	Pakollinen, seurantamittaus	Muut teollisuuden katselemusmallit		
LVI järjestelmiin liittyvät mittaukset						
Sisälämpötilat	Pakollinen, kertamittaus	Pakollinen, seurantamittaus	Pakollinen, kertamittaus	Pakollinen, kertamittaus	Tilojen ja tuotannon käyttöaikana ja niiden ulkopuolella. Lämmityskaudella	Suosittelavaa tehdä seurantamittauksena ja tarvittaessa jäähdytyskaudella
Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötila	Suosittelava lisämittaus	Pakollinen, kertamittaus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus	Tilojen tai tuotannon käyttöaikana. Lämmityskaudella	Merkittävistä IV-koneista. Seurantamittaus etenkin kohteessa, jossa ei käytössä keskitettyä rakennusautomaatiojärjestelmää
Ilmanvaihtokoneen LTO hyötysuhde	Pakollinen, kertamittaus	Pakollinen, kertamittaus	Suosittelava lisämittaus	Pakollinen, kertamittaus	Tilojen käyttöaikana. Lämmityskaudella	Merkittävistä IV-koneista. Seurantamittaus etenkin kohteessa, jossa ei käytössä keskitettyä rakennusautomaatiojärjestelmää
Vesikalusteiden virtaamat	Pakollinen, kertamittaus	Pakollinen, kertamittaus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus		Eri hanatyypit. Suosittelavaa tehdä myös teollisuuskohteissa
Kattilalaitoksen palamishyötysuhde	Pakollinen, kertamittaus	Pakollinen, kertamittaus	Suosittelava, kertamittaus	Pakollinen, kertamittaus	Lämmityskaudella.	Suosittelavaa tehdä seurantamittaus. Voidaan hyödyntää jo tehtyä mittauksia, jos alle puoli vuotta vanha
Sähköjärjestelmiin liittyvät mittaukset						
Valaistusvoimakkuus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus		Merkittävistä tiloista otoksella
Sähkön kuormitusvaihtelu ja kulutuksen ajoittuminen	Hyödynnetaan verkkoyhtiöiden palveluita	Hyödynnetaan verkkoyhtiöiden palveluita	Hyödynnetaan verkkoyhtiöiden palveluita	Hyödynnetaan verkkoyhtiöiden palveluita	Kokonaisten vuoden tiedot	Vähintään päällyttämätasolla
Tarpeen mukaan erilaisten merkittävien kulutuskohteiden sähkötehomittaus säästöhähdotuksen löytämiseksi sekä säästölaskennan luotettavuuden parantamiseksi	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus	Suosittelava lisämittaus	Tarpeen mukaan	Esim. jäähdytyskoneikot, sähkölämmitykset, valaistus, prosessi- ja tuotantolaitteet, paineilman tuotanto

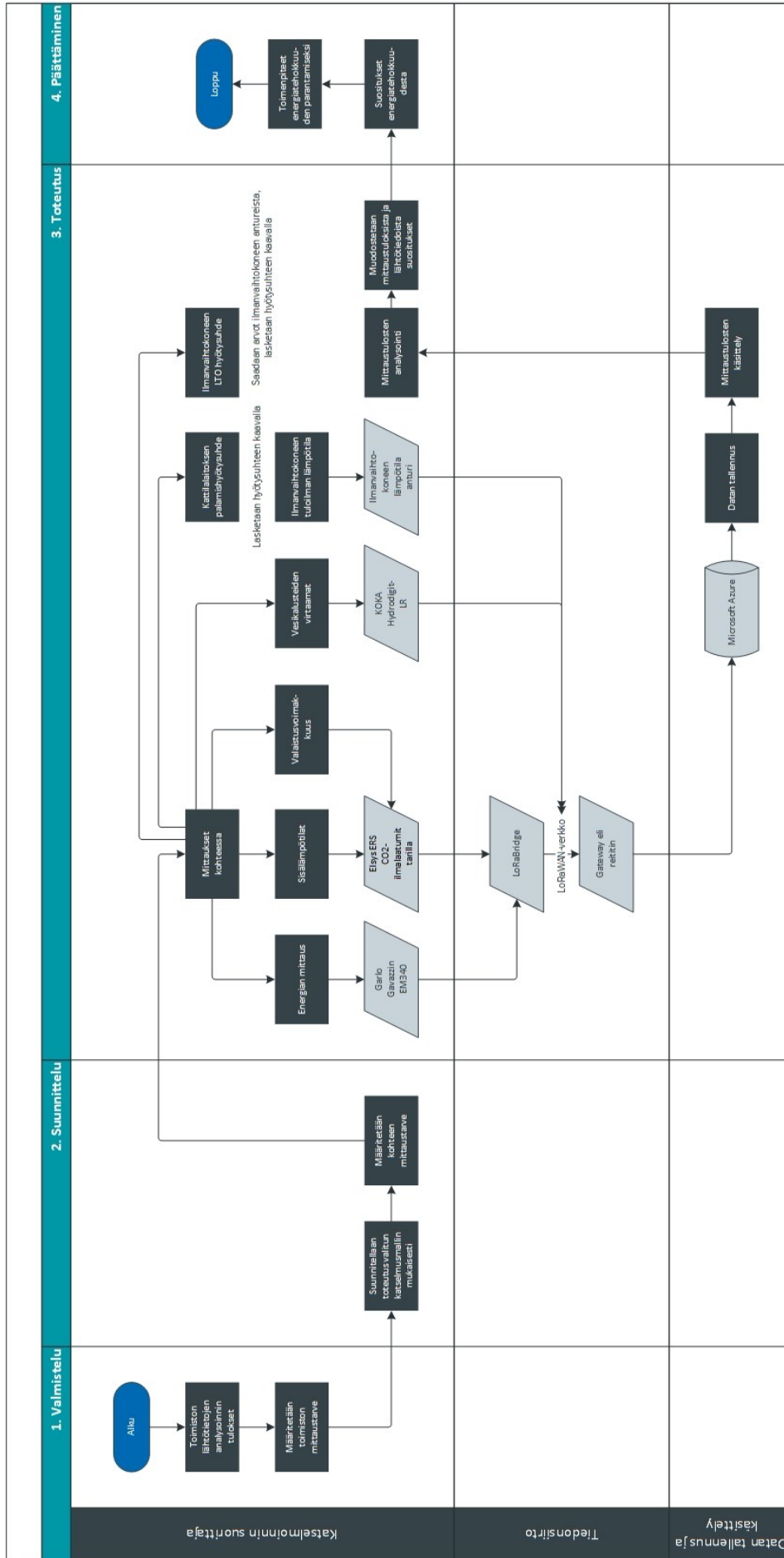
LIITE 2: PROSESSIKAAVIO – ENERGIAKATSELMUKSEN TOTEUTUS



Tilaja

Katseimoija/vastuuhenkilöt

LIITE 3: PROSESSIKAAVIO – MITTAUSTEN TOTEUTUS



Katselemoinnin suorittaja

Tiedonsiirtä

Datan tallennus ja