

Sami Nyström

Etäluettava langaton dataloggerijärjestelmä rakennuksen olosuhteiden seurannassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Korjausrakentaminen

Opinnäytetyö

27.9.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sami Nyström Etäluettava langaton dataloggerijärjestelmä rakennuksen olosuhteiden seurannassa 48 sivua 27.9.2019
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	korjausrakennustekniikka
Ohjaajat	palvelujohtaja Joni Avikainen / Sitowise Oy yliopettaja Hannu Hakkarainen / Metropolia Ammattikorkeakoulu
<p>Opinnäytetyön aiheena on etäluettavan langattoman dataloggerijärjestelmä rakennuksen olosuhteiden seurannassa. Työn perehdyttiin rakennuksen olosuhteisiin yleisesti ja tutkittiin tutkimukseen valittua laitejärjestelmää.</p> <p>Työssä tutkittiin ja tarkasteltiin rakennukseen etäluettavasti asennettavan langattoman dataloggerijärjestelmän käytön hyötyjä, sekä mahdollisuuksia rakennuksen sisäilmaolosuhteiden hallinnassa ja seurannassa.</p> <p>Opinnäytetyö koostuu kahdesta suuremmasta osa-alueesta, joista ensimmäinen osuus sisältää teoreettisen katsauksen laitteiden käyttötarkoitukseen ja rakennusten olosuhteisiin yleisesti. Jälkimmäinen osuus sisältää koeolosuhteissa koekäytön tutkimuksen valitulla etäluettavalla loggerijärjestelmällä.</p> <p>Tutkimukselliseen osuuteen valittiin koekäytettäväksi Pietiko Oy:n valmistama MIRAN DLS langaton dataloggerijärjestelmä. Koekäyttökäyttö toteutettiin kahden viikon pituisena, jonka aikana laitteiston toimintaa seurattiin ja sen ominaisuuksia arvioitiin, sekä lopuksi vertailtiin käytön eroavaisuuksia perinteiseen jälkiluettaviin dataloggereihin. Laitteiston testaus osana opinnäytetyötä toteutettiin yhteistyössä Pietiko Oy:n kanssa.</p>	
Avainsanat	rakennuksen olosuhteet, dataloggeri, olosuhdeseuranta, etäluettava, langaton, sisäilma, kuntotutkimus, terve talo

Author Title Number of Pages Date	Sami Nyström Remote Readable Wireless Logger System for Monitoring Building Conditions 48 pages 27 September 2019
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Building Renovation
Instructors	Joni Avikainen, Director of Services Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study building conditions in general, and to the chosen remote-readable wireless logger system for monitoring building conditions in particular in order to establish the benefits of using a wireless data logger system that can be installed remotely in a building. Furthermore, an aim was to study the potential of the logger to control and monitor both indoor and general conditions of a building.</p> <p>In order to reach the aim, a theoretical overview of the purpose of measuring instruments and the general conditions of buildings was presented. Moreover, the remote reading Miran DLS wireless logger system was tested. The test run was carried out for two weeks, during which the performance of the equipment was monitored, and its properties evaluated, and finally the differences in use with the traditional data logger were compared. The testing of the equipment as part of the thesis was carried out in cooperation with Pietiko Oy.</p>	
Keywords	building conditions, data logger, condition monitoring, remote reading, wireless, indoor air, condition survey, healthy buildings

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet ja suoritus	1
1.3	Aiherajaus	1
1.4	Tutkimusongelma ja työn rajaus	2
1.5	Tutkimuksen rajoitteet	2
2	Rakennuksen olosuhteiden seuranta	3
2.1	Rakennuksen olosuhteet	3
2.1.1	Lämpötila	4
2.1.2	Ilmankosteus	5
2.1.3	Hiilidioksidipitoisuus	7
2.1.4	Rakenteiden kosteus	8
2.1.5	Painesuhteet ja ilmatiiveys	9
2.1.6	Muut kemialliset epäpuhtaudet	10
3	Olosuhdeseurannan toteutus	10
3.1	Dataloggerit ja mittalaitteet	12
3.1.1	Jälkiluettavat dataloggerit	13
3.1.2	Etäluettavat dataloggerit	15
3.2	Olosuhteiden seurannan erivaiheet	16
3.2.1	Rakentamisaikainen olosuhteiden seuranta	16
3.2.2	Käytönaikainen seuranta	17
3.3	Olosuhde seurannan taustat	18
3.3.1	Rakentamisen laatu ja sisäilman terveellisyys	18
3.3.2	Sisäilmaston ja energiatehokkuuden yhteensovittaminen	21
4	Etäluettava dataloggerijärjestelmä rakennuksen olosuhteiden seurannassa	22
4.1	Järjestelmän käyttö- ja soveltuvuustutkimus	22
4.1.1	Tutkimuksen tarkoitus	22
4.1.2	Tutkimuskohde etäluettava MIRAN DLS dataloggerijärjestelmä	23
4.2	Tutkimuksenkulku	23

4.2.1	Tutkimussuunnitelma	23
4.2.2	Tutkimuksen toteutus	25
4.3	Tutkimusvaihe	26
4.3.1	Esimerkkikohde	26
4.3.2	Laitteiston asennus ja sijoittelu kiinteistöön	27
4.4	Tutkimustulosten analysointi ja vertailu	35
4.4.1	Tutkimustulokset ja laitteiston vertailu perinteiseen jälkiluettavaan dataloggeriin	36
5	Johtopäätökset ja yhteenveto	43
	Lähteet	46

Lyhenteet

BR-M ²	Koko rakennuksen laajuutta kuvaava ala, jonka laskemisessa huomioidaan kaikki kerrostasojen kerrostasoalojen summa ja alat lasketaan kokonaisina sijainnista riippumatta. Laskennassa huomioidaan myös kylmät ja lämpimät tilat.
MIRAN DLS	Pietiko Oy:n kehittämän etäluettavan loggerijärjestelmän tuotenimi
RH	Relative humidity eli suhteellinen kosteus on suure, jolla ilmoitetaan todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa, tulos ilmoitetaan prosenttiyksikköinä (%).
RSSI	Received signal strength indication eli vastaanotetun signaalin voimakkuuden taso
RTA	Rakennusterveysasiantuntija on terveydensuojelulain rajaama ulkopuolinen asiantuntija, joka on valtuutettu tekemään asuntojen tai muiden rakennusten tutkimuksia, joita voidaan hyödyntää muun muassa terveydensuojeluvalvonnassa.
RT-kortti	Rakennustietokortti
TVOC	Total volatile organic compounds eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja niiden kokonaispitoisuus ilmassa

1 Johdanto

1.1 Tausta

Nykypäivänä lisääntynyt ymmärrys rakennusten sisäilmaolosuhteista ja niiden vaikutuksista ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin on vaikuttanut oleellisesti kiinteistöjen ylläpitoon asettaen tarkempia vaatimuksia olosuhteiden seurannalle. Aikaisemmin kiinnostusta jatkuvalla tiedolle kiinteistön sisäilmaolosuhteiden tasosta ei ole ollut ja on riittänyt olosuhteiden seuranta, jos ongelmia on ilmennyt ja silloinkin asiaa on tarkasteltu yleisesti ongelmallisessa tilassa eikä kokonaisvaltaista rakennuksen kattavaa seurantaa ole toteutettu.

Yleisesti mittaukset on toteutettu yksittäisillä mittalaitteilla, jotka tallentavat sisäiseen muistiinsa mitattua tietoa ja mittaus jakson jälkeen laitteiden keräämä tieto on voitu kerätä tietokoneella talteen. Moderni tekniikka mahdollistaa nykyään etäluettavien laitteiden valmistuksen ja hyödyntämisen kiinteistön olosuhteiden seurannassa, jolloin tietoa saadaan analysoitua jatkuvasti pilvipalvelun kautta.

1.2 Tavoitteet ja suoritus

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja tarkastella rakennukseen etäluettavasti asennettavien olosuhdemittausantureiden käytön hyötyjä, sekä mahdollisuuksia rakennuksen sisäilmaolosuhteiden hallinnassa ja seurannassa. Opinnäytetyö koostuu kahdesta suuremmasta osa-alueesta, joista ensimmäinen osuus sisältää teoreettisen katsauksen laitteiden käyttötarkoitukseen ja rakennusten olosuhteisiin yleisesti. Jälkimmäinen osuus sisältää koeolosuhteissa toteutetun kahden viikon pituisen tutkimuksen valitulla etäluettavalla loggerijärjestelmällä, jonka jälkeen on tulosten koonti ja niiden kriittinen tarkastelu.

1.3 Aiherajaus

Opinnäytetyön tutkimukselliseen osuuteen valittiin Pietiko Oy:n valmistama MIRAN DLS loggerit, jotka koostuvat päätelaitteesta ja jatkuvista olosuhteita tarkkailevista antureista,

jotka keräävät kaikki jatkuvasti dataa ja lähettävät sen langattomasti palvelimelle, sekä hälyttää olosuhteiden muuttuessa vääränlaisiksi. Lisäksi tarkoituksena on vertailla uudenlaisen järjestelmän mahdollisuuksia vanhan aikaisempiin mittaustekniikoihin verrattuna ja tekniikan tarjoamien hyötyjä muun muassa tutkimusten suorittamisessa, kun tieto on saatavilla jatkuvasti, eikä vain laitteet pois noudettaessa kuten vanhemmissa laitteistoissa yleistä on.

1.4 Tutkimusongelma ja työn rajaus

Opinnäytetyössä tarkasteltava tutkimusongelma rakentuu seuraavien kysymysten ympärille. Kannattaako etäluettavien loggerijärjestelmien käyttö rakennuksen olosuhteiden seurannassa? Ja mitä hyötyä etäluettavalla järjestelmän käytöllä saavutetaan? Mitkä ovat mahdolliset edut/haitat?

Opinnäytetyö rajataan käsittelemään teoreettiselta osuudelta rakennusten olosuhteisiin liittyvään taustateoriaan ja siihen liittyvään yleiseen tutkimusvälineistöön. Lisäksi tutkimusvaihe rajataan käsittämään vain yhden langattoman dataloggerijärjestelmän tarkastelua ja testausta. Tarkoituksena ei ole siis tutkia ja tarkastella useampaa tai kaikkia markkinoilla olevia laitteita. Tutkimusvaiheen testijakson tarkoituksena ei ollut analysoida esimerkkikohteen sisäilmastonolosuhteita vaan testata itse laitteiston toiminnallisuutta ja siihen liitetyn pilvipalvelun ominaisuuksia yleisellä tasolla, mittalaitteiden mittatarkkuutta ja -tuloksia ei analysoitu tai vertailtu perinteisten mittareiden tuloksiin.

1.5 Tutkimuksen rajoitteet

Työni tilaajan toimii edustamani yritys Sitowise Oy, joka on lähes 1700 hengen asiantuntijayritys, joka tarjoaa asiakkailleen kaikki rakennetun ympäristön suunnittelu-, asiantuntija- ja digitaaliset palvelut. Yritys on suurin suomalaisomisteinen rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimisto, kaupunkiseutujen monialahankkeiden johtava osaaaja sekä tiedolla johtamisen ja tietomallintamisen edelläkävijä. Työskentelen Turun toimipisteemme korjausrakentamisen tutkimus- ja tarkastustoiminnan ryhmäpäällikkönä. Työsämme tarjoamme monipuolisia kiinteistöjen kunnon tutkimiseen ja seurantaan liittyviä palveluita, joissa jo nyt käytetään monenlaisia mittalaitteita tutkimusten apuna. Etäluettavien antureiden ja loggereiden toiminnan hyödyntäminen jatkossa lisääntyy ja

haluamme olla mukana tämänkin palvelun tarjoamisessa, sekä ennen kaikkea ymmärtää ja tutkia näillä saavutettavia konkreettisia hyötyjä työskentelyssä.

2 Rakennuksen olosuhteiden seuranta

Rakennusten olosuhteiden seurannan toteutukselle on useita eri tapoja ja syitä. Nykyään on yleistymässä rakennusten olosuhteiden seuranta jatkuvasti, jolloin olosuhteiden laatu on todettavissa helposti ja tarvittaessa osoitettavissa näkyvästi käyttäjille.

Tässä osiossa on esiteltyä rakennuksen olosuhteiden sisältöä yleisesti ja tarkemmin tutkimusvaiheeseen valittujen laitteiden mittaamia rakennuksen olosuhteiden suureita. Lisäksi viimeisessä osiossa on lueteltuna yleisellä tasolla lyhyesti muita kemiallisia epäpuhtauksia, joita rakennuksissa voi esiintyä.

2.1 Rakennuksen olosuhteet

Rakennuksen olosuhteet koostuvat monialaisesti erilaisista asioista kuten monista fyysisistä ja kemiallisista tekijöistä. Oikealla tasolla olevat rakennuksen olosuhteet mahdollistavat hyvän sisäilmaston ja se onkin yksi kiinteistöjen käytön ja ylläpidon, sekä rakentamisen vaativimmista, mutta tärkeimmistä tavoitteista. Olosuhteiden tavoitetasoille ja raja-arvoille on laadittu useimpia asetuksia ja ohjeita, sekä säädöksiä. Näistä tärkeimpinä asumisterveysasetus, terveydensuojelulaki, maankäyttö ja rakennuslaki, sekä asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi.

Rakentamisessa on käytettävä tuotteita, joista ei niiden suunnitellun käyttöiän aikana aiheudu sisäilmaan, talousveteen eikä ympäristöön sellaisia päästöjä, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. Rakennuksen järjestelmien ja laitteistojen on sovellettava tarkoituksensa ja ylläpidettävä terveellisiä olosuhteita. (Maankäyttö ja rakennuslaki 41/17.1.2014: 199 §.)

2.1.1 Lämpötila

Sisäilman lämpötila vaikuttaa suuresti tunteeseen, jonka rakennuksen käyttäjät kokevat mukavuutta kuvailtaessa ja se vaikuttaa myös terveyteen, sillä liian korkea huonelämpötila kasvattaa riskiä sairastua. Yleisesti terveysriskin katsotaan lisääntyvän, jos huonelämpötila kohoaa yli 22 °C:n. Liian korkea sisälämpötila lisää myös huoneilman kuivuutta ja kuivuudentunnetta. (Sisäilmayhdistys ry 2019.)

Liian korkean lämpötilan määrittäminen ja sen tunteminen on ihmisestä riippuvainen, sillä jokainen ihminen kokee lämpötilan eri tavalla ja johtuen kehon omasta lämpötasapainosta suhteessa sisäilman lämpötilaan. Lämpötasapaino tarkoittaa tilannetta, jossa kehosta ympäristöön siirtyvä lämpöenergia on suurempi tai yhtä suuri, kuin kehon oman aineenvaihdunnan tuottama lämpöenergia. Tässä tilassa käyttäjä yleensä kokee vallitsevan lämpötilan sopivaksi, mutta tähän vaikuttaa jokaisen henkilökohtaiset ominaisuudet muun muassa kehon normaalin lämpötilan suhteen. Lisäksi muita vaikuttavia tekijöitä ovat käytettyjen vaatteiden lämmöneristävyys, fyysisen kuormituksen määrä, ilman kosteuspiitoisuus ja ilman liikkuvuus vaikuttavat asiaan. (Sisäilmayhdistys ry 2019.)

Kyselyissä monet vastaajat kertovat yleisesti kokevansa talvella mukavana sisäilman lämpötilana noin 20-22 °C, mutta poikkeamia on ja noin 10-30 prosenttia vastaajista kokee tai saattaa kokea tämänkin lämpötilan huonona tai epämukavana. Kyselyissä on havaittu, että paras tyytyväisyys voidaan saavuttaa mahdollistamalla esimerkiksi työpäikällä jokaiselle työntekijälle mahdollisuus säätää tai vaikuttaa työpisteensä lämpötilaan. (Sisäilmayhdistys ry 2019.)

Rakennuksen huoneilman lämpötilan oikeaoppiselle mittaukselle on asetettu ohjeet ja se tulisi suorittaa noin 1,1 metrin korkeudelta lattiasta ylöspäin mitattuna. Terveyshaittaa tai sen riskiä arvioitaessa verrataan mitattuja lämpötiloja asetuksen 545/2015 lämpötilojen toimenpiderajoihin, jotka on esitetty alapuoleisessa taulukossa. Esitettyjä toimenpiderajoja asuntojen osalta sovelletaan rajoitetusti vain arvioitaessa lämpötilan aiheuttamaa terveellisyys riskiä, mutta mitatut lämpötilat tulevat lisäksi täyttää mikrobikasvuston riskin vähentämiseksi asetetut rajat ja ohjeet. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/15.5.2015: 6 §.)

Taulukko 1. Lämpötilojen toimenpiderajat (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/15.5.2015: Liite 1.)

Asunnoissa	Lämpötilojen toimenpiderajat
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C
Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa	
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 32 °C
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C

2.1.2 Ilmankosteus

Ilmankosteus on asia, jota silmämääräisesti on vaikea arvioida ja sitä ei aistinvaraisesti-kaan pysty tarkasti tuntemaan. Ilmankosteus tarkoittaa vesihöyryä, joka on sitoutunut ilmaan. Vesihöyryn määrä, jota ilmassa voi esiintyä vaikuttaa lämpötila ja mitä korkeampi lämpötila sitä enemmän ilma pystyy sitomaan itseensä vesihöyryä, kun ilman lämpötilaa lasketaan, vähenee ilman kapasiteetti sitoa vesihöyryä itseensä. Tästä syystä onkin aina tärkeä käsitellä sisäilmaolosuhteita kokonaisuutena, eikä tarkastella vain yksittäisiä seikkoja. (Ilmatieteen laitos 2019.)

Kosteuden määrää voidaan kuvailla sekä ilmaista monien erilaisten suureiden avulla, mutta näistä yleisin ja tunnetuin on suhteellinen kosteus, jonka avulla prosenttilukua käyttäen esitetään luku, joka kuvaa suhdetta kuinka paljon vallitsevaan lämpötilan ilma suurimmillaan voi sitoa vesihöyryä eli kyllästyskosteuden ja paljonko siihen on jo sitoutunut vesihöyryä eli absoluuttisen kosteuden suhdetta. Suhteellisen kosteuden suurin mahdollinen arvo on 100%, jolloin ilmaan on sitoutunut enimmäismäärä vesihöyryä mitä se pystyy sitomaan itseensä kyseisessä lämpötilassa, tätä maksimi arvoa kutsutaan kyl-
lästyskosteudeksi. Ilmaan jo sitoutunutta vesihöyryn määrää kutsutaan absoluuttiseksi kosteudeksi. Absoluuttisen- ja kyllästyskosteuden luku arvot ilmoitetaan yksikössä g/m³,

joka kuvaa veden määrää grammoissa, joka yhteen kuutioon ilmaan on sitoutunut. Suhteellisen kosteuden laskukaava on esitetty kaavassa 1. (Tekeville 2008.)

$$RH = 100\% * \frac{V_i}{V_k} \quad (1)$$

RH on ilman suhteellinen kosteus

V_i on ilman vesihöyryn määrä (g/m^3)

V_k on tarkasteltavan ilman kyllästyskosteus (g/m^3)

Ilman kosteus vaihtelee luonnostaan ulkona vuoden ajan mukaan lämpötilojen vaihtuessa ja rakennuksiin korvausilmana siirrettynä vaikuttaa se myös suoraan huoneilman kosteusmäärään. Kesäaikana huoneilman kosteus on noin 50-70%. Yleisesti talvella myös sisäilman kosteus on kuivempaa ja sen mitattu kosteusmäärä on noin RH 40% tai alle, mutta pahimpien pakkaskausien aikana ilman kosteus voi laskea jopa RH 20% alapuolelle. Sisäilman sopivana ja mukavalta tuntuvana suhteellisen kosteuden määränä pidetään talvikautena noin 20-40%. Talvikautena sisäilman suhteellisen kosteuden kohotessa yli 45% aiheutuu se yleensä muista tekijöistä kuin ulkoilman kosteusmäärästä, kosteuskuorman lisääntymistä voivat aiheuttaa esimerkiksi pyykinpeseminen tai ruoan valmistus sekä ilmanvaihdon toimimattomuus. Tällöin riskinä on, että kohonnut ilman kosteus alkaa tiivistymään kylmille pinnoille kuten ikkunoille sekä rakenteiden pinnoille tai ongelmatilanteissa rakenteiden sisäpuolelle. (Hengitysliitto 2019.)

Huoneilman kosteuspitoisuudelle ei ole asetettu selkeitä raja-arvoja, mutta sen pitoisuudesta on säädetty seuraavasti

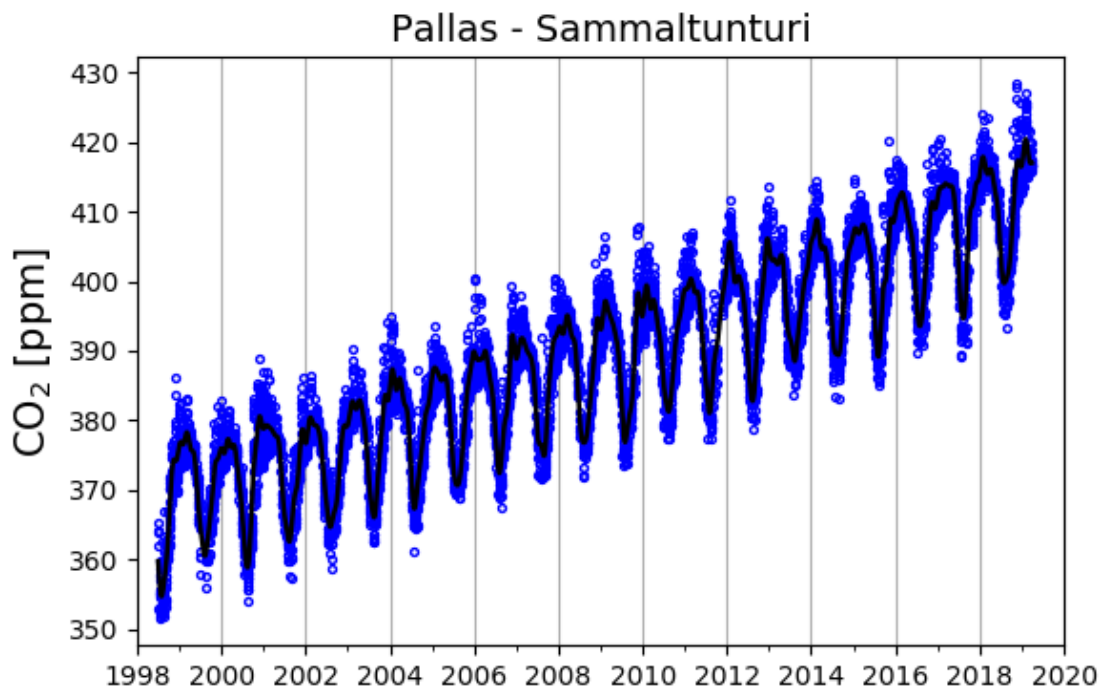
Huoneilman kosteus ei saa olla pitkäkestoisesti niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa, laitteissa taikka niiden pinnoilla mikrobikasvun riskiä. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje: 10.)

Huoneilman kosteuspitoisuus vaikuttaa asumisviihtyvyyteen, mutta myös suoraan tai epäsuorasti terveyteen ja etenkin hengitysterveyteen. Liian kuiva sisäilma aiheuttaa limakalvojen kuivumista ja ihon kuivumista sekä ärsyyntymistä sekä rasittaa hengitysteiden toimivuutta. Ilmankosteuden ollessa liian suuri voi kosteus altistaa rakennuksen kosteus- ja homevauriolle, joiden aiheutumisesta voi syntyä erilaisia terveydellisiä ongelmia ja sairauksia käyttäjille. Huoneilman kosteuspitoisuutta voidaan yrittää hallita ilmanvaihdon säätämällä tai erillisillä laitteilla kuten ilmankostutin tai ilmalämpöpumppu. (Hengitysliitto 2019.)

2.1.3 Hiilidioksidipitoisuus

Sisäilman hiilidioksidi eli kemialliselta tunnisteltaan CO₂ suurin lähde ja aiheuttaja on ihminen, joka tuottaa uloshengityksensä mukana hiilidioksidia sisäilmaan. Lisäksi sisäilmaan kulkeutuu korvausilman mukana ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, joka vaihtelee keskimäärin 350-450 ppm välillä alueesta riippuen. Hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajaksi on asetettu 1 150 ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, joka käytännössä tarkoittaa rajan olevan noin 1500 ppm sisäilmasta mitattuna. Toimenpiderajaa tarkasteltaessa onkin siis tärkeä mitata ja tuntea myös ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. (Pietiko Oy 2018.)

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus syntyy maaperän hengityksestä, kasveista, sementintuotannosta ja muista polttoprosesseista. Hiilidioksidipitoisuuksien on arvioitu kasvavan tulevaisuudessa vuosi tasolla noin 2 ppm. Pitoisuudet vaihtelevat vuodenajasta riippuen ja ovat alhaisimmillaan kasvien kasvukaudella johtuen kasvien yhteyttämisestä, joka sitoo kasveihin ilman hiilidioksidia. Lisäksi vesistöistä merivesi sitoo itseensä hiilidioksidia liukenemisen myötä, käytännössä liukenemista tapahtuu meriveteen kuitenkin vain maapallon kylmillä alueilla. (Ilmatieteen laitos 2018.)



Kuva 1. Ulkoilman hiilidioksidin pitoisuuksien mitatut seuranta-arvot Pallas – Sammaltunturilla vuodesta 1998 (Ilmatieteen laitos 2018).

Hiilidioksidipitoisuuden kohotessa liian korkeaksi voivat tilan käyttäjät tuntea ilman tunkkaiseksi tai kärsiä pään särkemisestä, väsymyksestä ja keskittymisvaikeudesta. Lisäksi keho reagoi hiilidioksidipitoiseen ilmaan nostamalla hengitystiheyttä, joka voi saada aikaan epämiellyttävän tunteen. Monet ihmiset kokevat ilman huonolaatuisena ja tunkkaisena, jos hiilidioksidipitoisuus kohoaa yli 800 ppm:n. (Pietiko Oy 2019.)

Yleisesti pitoisuuksien kohoamista syntyy tiloissa, joissa oleskellaan pitkiä aikoja tai tilassa on paljon ihmisiä esimerkiksi koulussa luokkahuone tai asuinhuoneistossa makuuhuone yön aikana. Hiilidioksidi pitoisuuksien kohoaminen on yleensä selkeä merkki ilmanvaihdon riittämättömyydestä tai sen puuttumisesta. Nykyaikaisesti ohjattuihin ilmanvaihtojärjestelmiin onkin liitetty hiilidioksidiantureita, jotka nostavat esimerkiksi koulun luokkahuoneen ilmanvaihtoa suuremmaksi, jos hiilidioksidipitoisuudet alkavat kohota. Rakennuksissa, jossa koneellista ilmanvaihtoa ei ole, voidaan pitoisuuksia pyrkiä hillitsemään lisäämällä korvausilman saantia esimerkiksi ikkunatuuletuksella tai lisäämällä korvausilmareittejä rakennukseen. (Valvira 2019.)

2.1.4 Rakenteiden kosteus

Rakenteissa vallitsee yleisesti aina jonkin tasoinen kosteusmäärä ja rakennusmateriaalit on suunniteltu kestäväksi tämä rasitus. Ongelmia syntyy kuitenkin, jos rakenteisiin kertyy ylimääräistä kosteutta, joka ei pääse poistumaan rakenteesta ja tällöin on riski materiaalien vaurioitumiselle sekä mikrobikasvuston syntyemiselle. Sisäilman olosuhteet ovat yksi tekijä rakenteiden kosteuskuorman aiheuttajista ja niillä voi olla suurikin vaikutus, jos esimerkiksi rakenteisiin tapahtuu ilmavuotoja ja huoneilman kosteus tiivistyy rakenteiden sisään tai pinnoille. Sama ongelma voi muodostua myös, jos ulkoilman kulkeutuminen rakennuksen sisälle ei toteuteta hallitusti ja ulkoilma pääsee kulkeutumaan rakenteiden lävitse tai rakenteiden sisälle, jolloin ulkoilman kosteus voi tiivistyä rakenteiden väliin aiheuttaen ongelmia. Riittävät kosteusmäärät ja lämpötilat mahdollistavat mikro-
beiden eli kansankielellä homeiden kasvamiselle olosuhteet. (Sisäilmayhdistys ry 2018.)

Rakenteiden kosteuspitoisuuden arvioiminen silmämääräisesti on vaikeaa ja yleensä asia havaitaan vasta kun materiaalit alkavat vaurioitumaan, tästä syystä oikeanlainen suunnittelu ja toteutus rakennuksille ovat tärkeässä roolissa, mutta asettavat silti käytön-
aikaiselle seurannalle haasteita esimerkiksi koneellisella ilmanvaihdon varustettu talo vaatii, että laitteita käytetään ja ne säädetään oikein.

Rakenteen sisälle vaurioituvaan materiaaliin ei saa muodostua kastepistettä vaan rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että kastepiste muodostuu tuulettuvaan tilaan tai esimerkiksi vaurioitumattoman eristelevyn keskelle, jolloin kondenssia ei synny. (Sisäilmayhdistys ry 2018.)

2.1.5 Painesuhteet ja ilmatiiveys

Rakenteiden tiiveys ja rakenteiden läpi mahdollisesti kulkeutuvat epäpuhtaudet vaikuttavat sisäilmanlaatuun heikentävästi. Rakenteiden tiiveyden lisäksi ilmavirtojen määrään vaikuttaa rakennuksessa vallitsevat painesuhteet, jotka määrittelevät ilman liikkumisen suunnan ja ilmavirtausten määrän. Paine-erot voivat aiheuttaa ilmavirtojen kulkeutumisen esimerkiksi rakenteiden läpi, rakennuksen eri kerroksista tai huonetiloista toisiin. (Ympäristöopas 2016: 118-122.)

Ilmavirtaukset kuljettavat mukanaan rakenteiden sisällä olevia epäpuhtauksia kuten mikrobeita tai mineraalivillakuituja, hajuja, radonia ja lisäksi ilman mukana siirtyä kosteutta sekä lämpöä. Painesuhteita voidaan tutkia mittaamalla, mittauksissa voidaan tarkastella ilmavirtausten määrää, niiden suuntaa ja yleisesti rakennuksen painesuhteiden tasapainoisuutta, sekä niiden mahdollista vaikutusta rakennusfysikaalista toiminnallisuutta ajatellen. (Ympäristöopas 2016: 118-122.)

Suomessa rakennusten suunnitteluvaiheessa painesuhteet mitoitetaan pääsääntöisesti alipaineisiksi, johtuen maan ympäristöolosuhteista ja niiden vaikutuksesta mm. konvektion aiheuttamaan kohonneeseen vaurioitumisriskiin rakenteissa. Konvektio tarkoittaa lämmön kulkeutumista nestemäisestä tai kaasumaisesta muodosta lämpötilan tai paineeron aikaansaamien ilmavirtausten mukana. Rakenteiden sisällä konvektio syntyy teoriassa lämpötilan ja ilmanpaineen eroavaisuuksista rakenteen eri osissa, jolloin kylmä ilma painuu alas ja kuumempi ilma pyrkii nousemaan ylös ja ilmanpaineen erot pyrkivät tasoittumaan. (Ympäristöopas 2016: 118-122.)

Rakennuksen sisälle otettava korvausilma tulisi järjestää hallitusti puhtaita korvausilma-
reittejä pitkin kuten tuloilmaventtiileistä tai erillisistä raitisilma-aukoista, eikä rakenteiden läpi hallitsemattomasti. Rakenteet ovat harvoin täysin tiiviit ja niiden liitoskohdat vuotavat lähes poikkeuksetta. Täysin tiivis sisäkuori on mahdollista toteuttaa, mutta se vaatii erikoissuunnittelua ja toteutuksen tarkkaa valvontaa. Aistinvaraisesti vetoisuuden

muodossa tyypillisesti käyttäjät havaitsevat vuotokohtia seinän ja lattian liittymiskohdissa, sekä ikkunoiden ja ulkoseinien alueilla. (Ympäristöopas 2016: 118-122.)

2.1.6 Muut kemialliset epäpuhtaudet

Sisäilman laatuun heikentävästi voivat vaikuttaa hiilidioksidin lisäksi myös monet muutkin tunnetut kemialliset epäpuhtaudet. Sisäilmaan kulkeutuvat kemialliset epäpuhtaudet voivat aiheutua rakennuksesta tai sen käyttäjistä itsestään, sekä käyttäjien toimista kuten teollisuuden prosesseista rakennuksessa. Suomessa on asetettu erilaisia tavoitearvoja näille tunnetuille epäpuhtauksien pitoisuuksille. Lisäksi työturvallisuuden takaamiseksi on valtioneuvoston työturvallisuutta koskevassa laissa määritetty työpaikan sisäilmaa koskeville epäpuhtauksille tarkempia ja sitovia raja-arvoja. Näitä työturvallisuuslaissa kutsuttuja raja-arvoja kuvataan HTP-arvoina eli haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien arvoina, joilla kuvataan pitoisuuksien pienempiä pitoisuuksia, jotka voivat vaarantaa tai vahingoittaa työntekijän terveyttä. HTP-arvoissa on huomioitu myös työntekijän altistumisaika eli arvo ei kuvasta pelkkää pitoisuuden tasoa suoraan. (Sisäilmayhdistys ry 2007.)

Yleisimpiä kemiallisia epäpuhtauksia ovat: aldehydit, ammoniakki, formaldehydi, haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC/TVOC, hiilidioksidi, hiilimonoksidi, otsoni, PAH-yhdisteet, radon, rikkidioksidi, styreeni, typen oksidit ja tupakansavu. Sisäilmassa yleisesti esiintyvät aldehydit voidaan jakaa seuraavasti: asetraldehydi, formaldehydi, propanaali, butanaali, pentanaali, heksanaali, oktanaali ja bentsaldehydi. (Sisäilmayhdistys ry 2007.)

Näiden kemiallisten epäpuhtauksien oireina ovat yleisesti silmien ja hengitysteiden limakalvojen ärsytys tai epämiellyttävän hajuinen. Poikkeuksena erityisesti radon, joka ei aiheuta allergiamaisia oireita, mutta on kuitenkin erittäin vaarallinen aiheuttaen muun muassa syöpäriskin kasvua ja erityisesti keuhkosyövän riskiä. (Sisäilmayhdistys ry 2007.)

3 Olosuhdeseurannan toteutus

Rakennuksen olosuhdeseurannan toteutus on yleensä osa laajempaa kuntotutkimusta, mutta voidaan toteuttaa myös yksittäisenä toimenpiteenä ilman muita tutkimuksia esimerkiksi rakennuksen ylläpitoa varten. Ennen toteutusta tehdään aina lähtötilanneselvitys ja tutkimussuunnitelma mittauksen toteutuksesta. Lähtötilanneselvityksessä käydään

läpi rakennuksen taustatiedot ja jo tiedossa olevat vanhat tutkimukset ja niiden tulokset, lisäksi kohteeseen tutustuminen paikan päällä on suositeltavaa. Tämän jälkeen laaditaan tutkimussuunnitelma, jossa määritetään suoritettavat mittaukset, mittauksen kesto, käytettävät mittalaitteet ja mittalaitteiden sijoittelu tutkittavaan kohteeseen.

Sisäilman lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden määrä mitataan rakennuksen oleskeluvyöhykkeeltä, joka tarkoittaa aluetta tai huoneen tilaa, jossa tilan käyttäjät pääsääntöisesti käyttävät huonetilaa. Oleskeluvyöhykkeen tarkoitettava huonetilan osan tulee Valviran asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan täyttää seuraavat kriteerit: huonetilan alapinnan on rajoituttava lattiaan, yläpinnan on oltava 1,8 metrin korkeudella lattiasta mitattuna ja huoneen sivupinnat on oltava vähintään 0,8 metriä sisä- ja ulkoseinistä tai muista vastaavista kiinteistä rakennuksen osista. (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 25.4.2016/8: 5-6.)

Lisäksi tarvittaessa on valittava myös muitakin mittauspisteitä oleskeluvyöhykkeen lisäksi vertailua varten tai jos halutaan selvittää tutkittavan rakennuksen rakenteisiin aiheutuvaa rasiituksen määrää. Esimerkiksi jos halutaan tarkastella alapohjan kosteuspiitoisuuksia ja -rasitteita sekä niiden vaikutusta sisäilmaan, mitataan huoneilman olosuhteista lämpötila ja suhteellinen kosteus rakennuksen alimman kerroksen huonetilan alaosasta esimerkiksi kellarikerroksesta, vastaavasti yläpohjaa tarkasteltaessa mitataan taas ylimmän kerroksen huonetilan yläosasta samat arvot. Sisäilman lämpötilaolosuhteita mitattaessa tulee aina mitata myös ulkoilman vallitsevat olosuhteet erikseen tai tarvittaessa käyttää esimerkiksi ilmatieteenlaitoksen sääasemilta mitattuja ulkoilman sää-tietoja hyväksi tuloksia tulkittaessa. (Ympäristöopas 2016: 61-63.)

Mittaukset tulisi pyrkiä tekemään aina pidempi aikaisena seuranta mittauksena noin 7-14 vuorokauden pituisena mittausjaksona. Tarvittaessa hetkellisiä mittauksia voidaan suorittaa, mutta tämä tulee huomioida tuloksia tulkittaessa ja niiden pohjalta ei voida lähteä olettamaan rakennuksessa yleisesti vallitsevia olosuhteita. Mittaukset tulee toteuttaa rakennuksen normaaleissa käyttöolosuhteissa eli esimerkiksi ikkunoiden ja ovien tulee olla kiinni eikä ylimääräistä tuuletusta saa suorittaa tai ilmanvaihtoa ei tulisi säätää normaalista poikkeavasti. (Ympäristöopas 2016: 61-63.)

Hiilidioksidimittauksissa lyhyt aikainen mittaus tutkittavaan tilaan silloin kun halutaan tarkastella tilaa tiedossa olevan hiilidioksidirasituksen jälkeen esimerkiksi neuvotteluhuone kokouksen jälkeen tai luokahuone oppitunnin päätyttyä, jolloin pitoisuuksien voidaan

olettaa olevan korkeimmillaan. Kokonaisvaltaisempi tieto saavutetaan kuitenkin pidempiaikaisella seurannalla, jolloin voidaan tarkastella myös ilmanvaihdon vaikutusta ja riittävyyttä tilassa. Tilojen hiilidioksidipitoisuudet vaihtelevat tilan käyttötarkoituksen ja siitä aiheutuvan rasituksen mukaisesti, tästä syystä esimerkiksi makuuhuoneissa pitoisuudet kasvata yleisesti yönaikana, kun tilassa nukutaan. Mittareiden sijoittelussa on tärkeää muistaa, ettei laitetta aseteta paikkaan, jossa ihmisten suora hengitysilma tai ilmanvaihdon ilmavirrat pääsevät vaikuttamaan suoraan mittalaitteeseen. (Ympäristöopas 2016: 61-63.)

Paine-eroja mitattaessa yleisesti suositellaan vain pidempiaikaista seurantamittausta, koska painesuhteet voivat vaihdella suuresti eri hetkillä tarkasteltuna. Ulkovaipan ylittävää paine-eroa mitattaessa on suositeltavaa mitata paine-ero useammalta julkisivulta eli eri ilmansuunnilta, jolloin tuulen mahdollinen poikkeama voidaan huomioida paremmin. Yleisesti mittausta kova tuulisella säällä tai jos ulkolämpötilat ovat poikkeuksellisen korkeita tuli pyrkiä välttämään, yleisesti tuulen ylärajana voidaan pitää noin 5 m/s ja lämpötilan osalta $+ 22 \text{ }^\circ\text{C}$ olosuhteita. Mikäli mittaus tehdään poikkeavissa olosuhteissa eivät ne edusta ns. normaalia olosuhdetta rakennuksessa. (Ympäristöopas 2016: 86-88.)

3.1 Dataloggerit ja mittalaitteet

Rakennuksen sisäilman olosuhteiden seurantaan käytettävät mittalaitteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri ryhmään:

1. Hetkelliseen mittaukseen tarkoitetut laitteet (ei tallentava)
2. Jälkiluettaviin dataloggerit (tallentava)
3. Etäluettavat dataloggerit (hetkellinen/tallentava)

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti opinnäytetyön tutkimusvaiheen kannalta oleellisia laiteryhmiä eli jälkiluettaviin ja etäluettaviin dataloggerimittalaitteisiin, sekä käydään läpi niiden toimintaperiaatteet.

3.1.1 Jälkiluettavat dataloggerit

Jälkiluettava dataloggeri on käyttöperiaatteeltaan perinteinen ja jo vuosia käytössä ollut mittalaitte pidempiaikaisen mittauksen toteutukseen, sillä se voi tallentaa mittatuloksia laitteen muistiin pidemmältä ajalta ja tämän jälkeen tuloksia voidaan tarkastella, kun laitteen data puretaan tietokoneelle. Laitteisto koostuu tyypillisesti mittalaitteesta, virtajohdosta, datakaapelista ja tietokoneohjelmasta. Jälkiluettavia dataloggereita on saatavilla erilaisiin mittauksien toteuttamista varten ja niillä voidaan mitata esimerkiksi lämpötilaa, ilmankosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, paine-eroja. Tämän tyyppin mittalaitteet eivät ole yhteydessä toisiinsa vaan jokainen loggeri toimii itsenäisesti, tulokset yhdistetään manuaalisesti mittausjakson loputtua tietokoneella. Osassa mittalaitteita on näyttö ja hallinta näppäimet, joka mahdollistaa myös hetkellisen mittauksen ja sen tuloksien esittämisen laitteen näytöllä, sekä laitteet säätämisen manuaalisesti käsin.



Kuva 2. Rotronic CP11 jälkiluettava olosuhdemittaukseen tarkoitettu dataloggeri näppäimillä ja näytöllä. (Rotronic 2019.)

Toisissa malleissa näyttöä tai näppäimiä ei ole ja nämä laitteet ohjelmoidaan sekä käynnistetään tietokonetta käyttäen. Laitetyypistä riippumatta suurin osa laitteista toimivat verkkovirralla ja niiden paristot ovat tarkoitettua enemmänkin ylläpitoa varten jos

sähkönsyöttö katkeaa, mutta on olemassa myös langattomia akkukäyttöisiä loggereita, useimmat laitteet toimivat kuitenkin verkkovirralla.



Kuva 3. Tinytag TGC-0046 + Beck 984Q paine-erojen mittaukseen tarkoitettu dataloggeri jossa ei ole näppäimiä. (Stig Wahlström 2019.)

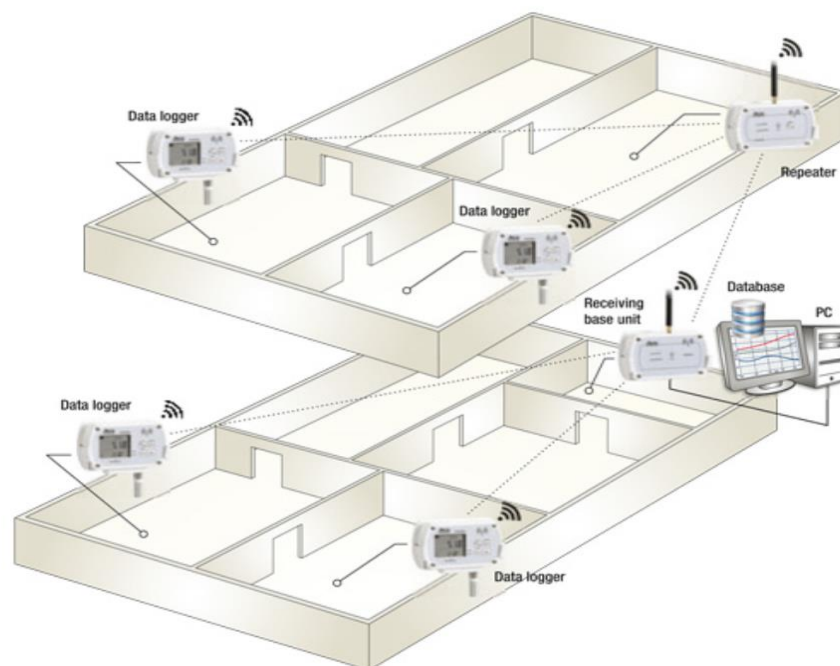
Yleisesti tämän kategorian laitteilla mittaustulokset saadaan hyödynnettyä vasta seurantajakson jälkeen, kun data on purettu tietokoneelle. Tätä ennen laitteet on noudettava tutkimuskohteesta, joka on hidastava tekijä usein raportoinnin kannalta varsinkin, jos kohde sijaitsee pitkän välimatkan päässä. Lisäksi laitteiston tilasta ei saada mitään tietoa mittaussjakson aikana, ellei laitteita käydä tarkastamassa paikan päällä, tämä lisää mittauksen onnistumisen epävarmuutta.

Taulukko 2. Jälkiluettavan dataloggerin toimintaperiaate ja käytön eri vaiheet.

Vaihe	Selite
1.	Kytkeminen verkkovirtaan ja asettaminen kohteeseen
2.	Loggerin vanhan datan tyhjennys, mittauksen ohjelmointi käyttöä varten tietokoneella tai käsin (mallista riippuen)
3.	Tallentava mittaussjakso esimerkiksi 14 vrk
4.	Loggerien noutaminen kohteesta
5.	Loggerien sammutus tietokoneella tai käsin (mallista riippuen)
6.	Loggerin uuden datan purkaminen tietokoneella
7.	Tulosten tulkitseminen ja hyödyntäminen raportoinnissa

3.1.2 Etäluettavat dataloggerit

Etäluettava dataloggeri on tekniikaltaan uudempi ja niitä on ollut markkinoilla vasta muutamia vuosia. Käyttöperiaatteeltaan mittalaite on suunniteltu pidempiaikaisen mittauksen toteutukseen, sillä se voi tallentaa mittatuloksia laitteen muistiin tai esimerkiksi pilvipalvelimelle pidemmältä ajalta ja mittatuloksia voidaan yleensä laitteesta riippumatta tarkastella tietokoneelta jo mittauksen aikana. Etäluettavat loggerit toimivat yleisesti aina yhtenäisesti dataloggerijärjestelmänä eli laitteet ovat yhteydessä toisiinsa tai erilliseen keskusyksikköön. Järjestelmiä on olemassa täysin langattomia, johdollisia ja näiden välimuotoja eli suurin osa laitteista toimii akkuvirralla ja erillistä verkkovirtaa ei välttämättä tarvita. Toimintaperiaatteeltaan langattomuus vaikuttaa suurimmin asentamisen helpouteen, kun asennuksen kriteerinä ei ole verkkovirran saatavuus ja laitteen mittaama tieto siirretään langattomasti eteenpäin.



Kuva 4. Havainnekuva langattoman olosuhdemittauksen toteutuksesta langattomalla dataloggerijärjestelmällä toimistotilassa. (Pietiko 2019.)

Etäluettavat dataloggerijärjestelmät ovat moniosaisia kokonaisuuksia ja yleisesti järjestelmään kuuluu keskusyksikkö, joka toimii lähettimenä ja siihen kytkettävistä langattomista mittaavista dataloggereita. Lisäksi järjestelmiin on yleisesti lisättävissä erilaisia signaalinvahvistimia eli toistimia, jotka vahvistavat langattoman tiedonsiirron toimintaa ja

pidentävät kantasädetä laitteiden välillä. Tämän tyyppisillä loggereilla voidaan mitata esimerkiksi lämpötilaa, ilmankosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, paine-eroja ja rakennekosteuksia. Mittaustulokset siirretään langattomasti laitteistosta riippuen GSM- tai WIFI-yhteydellä jatkuvasti pilvipalvelimeen, mutta ne voidaan myös tarvittaessa lukea erikseen tietokoneeseen kytkemällä. (Pietiko 2019.)

Järjestelmätyypin suurimpia etuja on tulosten tarkasteltu jatkuvasti etänä ilman että laitteita tarvitsee noutaa. Lisäksi mittauksen sujuvuutta ja jokaisen laitteen toimintakykyä voidaan arvioida jatkuvasti ilman kohdekäyntejä.

Taulukko 3. Taulukko 1. Etäluettavan langattoman dataloggerin toimintaperiaate ja käytön eri vaiheet.

Vaihe	Selite
1.	Loggerin vanhan datan tyhjennys, mittauksen ohjelmointi käyttöä varten tietokoneella
2.	Laitteiston asettaminen kohteeseen (kytkeminen verkkovirtaan tarvittaessa)
3.	Tallentava mittausjakso esimerkiksi 14 vrk (tulosten jatkuva seuranta ja data tallentuu automaattisesti pilvipalvelimelle)
4.	Tulosten tulkitseminen ja hyödyntäminen raportoinnissa (tulokset saatavilla jatkuvasti etänä)
5.	Loggerien sammutus tietokoneella etänä tai tietokoneelta paikan päällä (mallista riippuen)
6.	Loggerien noutaminen

3.2 Olosuhteiden seurannan erivaiheet

Rakennusten olosuhdeseurantaa ja siitä saatavaa tietoa voidaan kerätä sekä hyödyntää rakennuksen elinkaaren erivaiheissa halutulla tavalla. Pääsääntöisesti yleisimmät olosuhdeseurannan erivaiheet jakautuvat rakennuksen elinkaareissa rakentamisaikaiseen ja käytönaikaiseen seurantaan.

3.2.1 Rakentamisaikainen olosuhteiden seuranta

Rakentamisaikaisen olosuhdeseurannan tarkoituksena on parantaa työmaavaiheen aikaista jatkuvaa hallittavuutta muun muassa halutun työmaan ilman lämpötilan ja ilmankosteuden ylläpitämiseksi, jotka vaikuttavat oleellisesti esimerkiksi kosteusvaurioiden syntymiseen ja kuivumista vaativien rakennusvaiheiden aikatauluihin kuten betonivalu- töihin. Jatkuvalla olosuhdeseurannalla voidaan pyrkiä puuttumaan nopeasti havaittuihin

puutteisiin, kuten talvikaudella lämmityksen lisäämiseen tai vähentämiseen. (Ramirent 2016.)

Suomessa rakennustyömailla on ollut pitkään tapana seurata betonivalujen kuivumista erilaisten laskentataulukoiden avulla ennakoiden, jonka jälkeen arvioiduin kuivumisajan täytyessä, kutsutaan paikalle kosteusmittaaja. Kosteusmittaaja suorittaa mittauksen RT 14-10984 ohjeen mukaisesti, jolloin kosteuspitoisuutta mitataan betonirakenteen alueilta valituilta tarkastelupisteistä eri syvyyksiltä ja verrataan tavoiteltuihin kosteuspitoisuuksiin, mikäli kosteuspitoisuudet ovat mittaushetkellä liian korkeat jatketaan kuivuttamista ja tarvittaessa sitä tehostetaan koneellisesti esimerkiksi nostamalla lämpötilaa tai vähentämällä ilmankosteutta. Tällä tavalla toteutettuna saadut mittaustulokset ovat kuitenkin hetkellisiä ja mahdollisiin kuivumisolosuhteiden puutteellisuuksiin voidaan puuttua vasta mittausten suorittamisen jälkeen tai kuivumisajan aikana tehtyihin työmaan omiin arvioihin perustuen. (Ramirent 2016.)

Rakentamisaikana toteutetun jatkuvan olosuhdeseuranta mahdollistaa vallitsevia olosuhteiden seurannan koko työmaavaiheen ajan vuorokauden ympäri. Lisäksi asentamalla betonivaluihin kosteusanturit voidaan tarkkailla myös rakenteiden kosteuspitoisuutta ja niiden kuivumisen tilaa. Tällöin työmaanjohtolla on mahdollista arvioida realistisesti näiden työvaiheiden kesto ja niiden vaikutus vaihe- sekä kokonaisaikatauluihin. Jatkuvaseuranta mahdollistaa myös tietäntyyppisten virheiden ennaltaehkäisyn kuten betonin liian nopean kuivumisen, jolloin on riskinä, että rakenteeseen syntyy haluttua suurempaa elämistä ja muun muassa halkeamia. Olosuhdeseurantajärjestelmään voidaan asettaa halutessaan hälytyksiä, jotka lähettävät välittömästi viestin valituille henkilöille ja näin ollen tarvittaviin muutoksiin voidaan ryhtyä välittömästi, jopa työmaanollessa suljettuna esimerkiksi yön tai viikonloppujen aikana. (Ramirent 2016.)

3.2.2 Käytönaikainen seuranta

Rakennuksen käytönaikaisella vaiheella tarkoitetaan elinkaressa aikaa, jolloin rakentaminen on valmistunut ja rakennus on otettu sen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaiseen käyttöön. Rakennuksen käytönaikaiseen vaiheeseen liittyy jatkuvaa ylläpitoa ja tarvittaessa erilaisten korjaustarpeiden selvittämisen, sekä korjausten toteuttaminen. Nykyään halutaan entistä enemmän ennalta ehkäistä ongelmia ja puuttua asioihin riittävän ajoissa ja näin ollen toteuttaa suunnitelmallista kiinteistön kunnossapitoa. Tämä voidaan mahdollistaa käytönaikaisella jatkuvalla olosuhdeseurannalla, jolloin olosuhteiden tilasta

saadaan jatkuvaa tietoa ja niiden perusteella voidaan arvioida muun muassa ilmanvaihdon riittävyttä käytön eri aikoina, jolloin vältytään haitallisten pitoisuuksien kuten hiilidioksidin kohoamiselta. Lisäksi poikkeamia havaittaessa voidaan tarvittaessa ryhtyä korjaustoimenpiteisiin nopeasti jo ennen kuin suurempia ongelmia tai terveyshaittoja pääsee syntymään. Seurannalla saavutettu mittausdata mahdollistaa myös avoimen viestinnän kiinteistön ylläpidon ja käyttäjien välillä, kun esimerkiksi sisäilman tilasta on selkeää dataa ja se voidaan tarvittaessa esittää selkeästi. (Baumedi Oy 2019.)

3.3 Olosuhde seurannan taustat

Olosuhdeseurannan taustat ja syyt sen toteuttamiseksi ovat olleet pitkään vasta tarpeen vaatiessa eli vaiheessa, jossa erilaisia ongelmia oli jo esiintynyt tai niiden olemassa oloa epäiltiin. Nykypäivänä Suomessa sisäilman ja rakentamisen laatua valvotaan sekä ohjataan useiden eritahojen laatimien määräysten ja ohjeiden avulla. Pääsääntöisesti pyrkimyksenä ennaltaehkäistä ongelmien syntyminen ennakoiden ja taata terveellinen sisäilma rakennusten käyttäjille. Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään seuraavasti:

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen. Rakennuksesta ei saa aiheutua terveyden vaarantumista sisäilman epäpuhtauksien, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn taikka rakennuksen osien ja rakenteiden kosteuden vuoksi.

Rakentamisessa on käytettävä tuotteita, joista ei niiden suunnitellun käyttöiän aikana aiheudu sisäilmaan, talousveteen eikä ympäristöön sellaisia päästöjä, joita ei voida pitää hyväksyttävänä. Rakennuksen järjestelmien ja laitteistojen on sovellettava tarkoitukseensa ja ylläpidettävä terveellisiä olosuhteita.

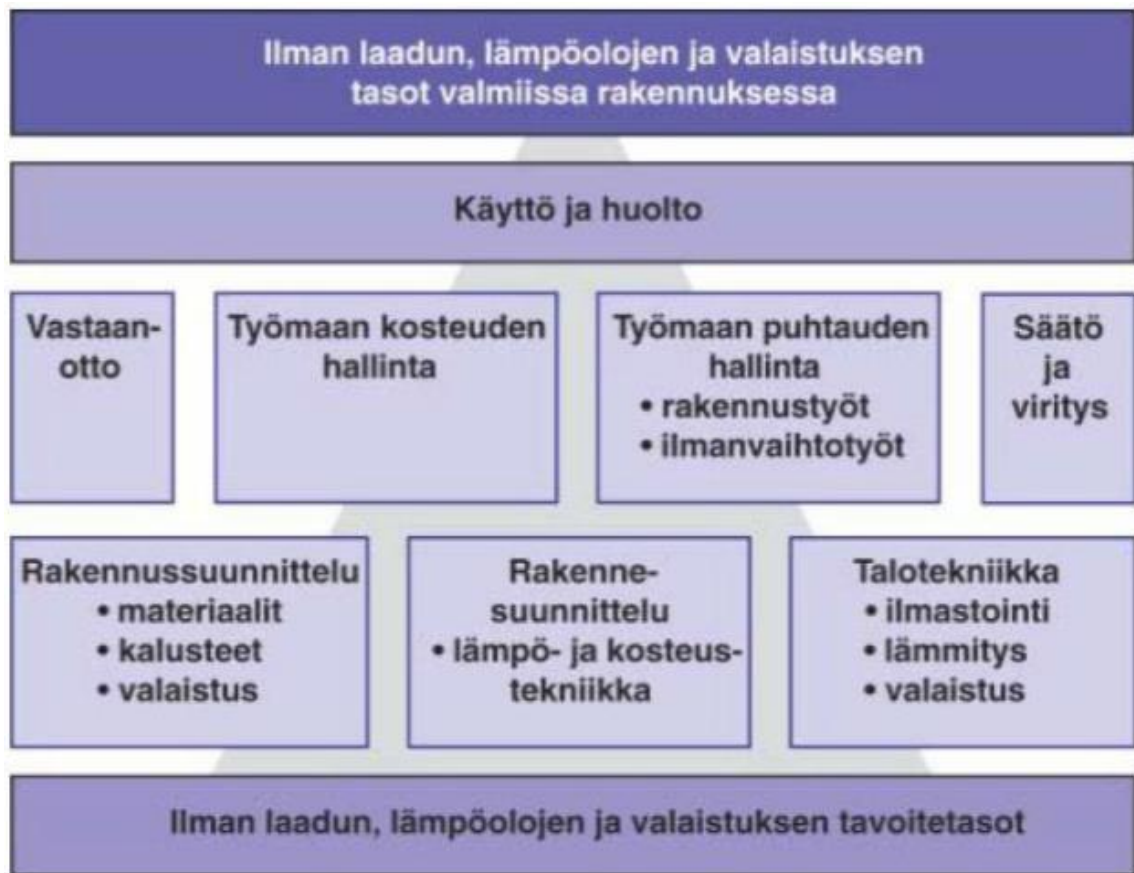
Ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta varten tarvittavia tarkempia säännöksiä rakennukselta edellytettävistä terveellisyyteen liittyvistä fysikaalisista, kemiallisista ja mikrobiologisista olosuhteista, taloteknisistä järjestelmistä ja laitteistoista sekä rakennustuotteista. (Maankäyttö ja rakennuslaki 958/2012: 117 §)

3.3.1 Rakentamisen laatu ja sisäilman terveellisyys

Uusimpia rakentamisen laadun ja sisäilman terveellisyyden takaamiseksi perustettuja hankkeita Suomessa ovat Terve talo vuodelta 2003 ja Kuivaketju10 vuodelta 2018.

Molempien ohjehankkeiden sisältöön kuuluu keskeisenä osana olosuhteiden hallinta ja seuranta niin rakennuksen rakentamisen kuin käytönkin aikana.

Terve Talo -hankkeen perusajatus on saavuttaa kokonaisuutena terveellinen rakennus, jolloin on keskityttävä materiaalivalintoihin, puhtauden- ja kosteudenhallintaan. Lisäksi Terve Talo -kohteiden suunnittelussa otetaan entistä enemmän huomioon korkeatasoisen sisäilmaston vaatimuksen tarpeet ja toimenpiteet haluttujen vaatimusten täyttämiseksi rakentamisen- ja käytönaikana. (Rakennustieto 2003: 6.)



Kuva 5. Terve talo hankkeen peruseriaatteet (Rakennustieto 2003: 6)

Terve talo -määritelmän täyttävän rakennushankkeen toteutukselle on määritetty kriteereitä, joita on suositeltu käytettäväksi jo ennen rakentamiseen ryhtymistä eli aina hankesuunnittelusta varsinaisen suunniteluun asti. Käytännössä hankkeella on pyritty edesauttamaan kaikkien asioiden huomioon ottamista, joilla on vaikutus kosteus- ja sisäilmasioihin, siten että ne voivat vaikuttaa terveyteen ja niin aiheuttaa oireita tai laskea viihtyvyyden tunnetta sekä vaikuttaa alentavasti toimitiloissa työntuottavuuteen.

Toimitilarakentamiseen on laadittu tarkentavat ohjeet sisäilmayhdistyksen toimesta ja ne on esitetty osana Sisäilmaopasta. (Sisäilmayhdistys ry 2009.)

- | | |
|--|---|
| <p>1. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.</p> | <p>6. Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.</p> |
| <p>2. Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.</p> | <p>7. Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.</p> |
| <p>3. Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.</p> | <p>8. Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen.</p> |
| <p>4. Kosteutta siirtyy ilmansulkerakkeiden vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.</p> | <p>9. Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen.</p> |
| <p>5. Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.</p> | <p>10. Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.</p> |

Kuva 6. Kuivaketju10 -riskilista (Kuivaketju10 2019.)

Kuivatketju10 -hankkeen avulla kehitettiin toimintamalli kosteudenhallintaan rakennusprosessin aikana. Toimintamallin pääasiallinen tehtävä on pyrkiä vähentämään kosteusvaurioita ja niitä aiheuttavia riskejä ottaen huomioon rakennuksen koko elinkaari aina rakentamisesta käyttövaiheeseen. Kuivaketju10 -mallissa kosteusriskien hallinta on esitetty perustuvan ketjumaiseen ajatteluun, jolloin riskejä pyritään eliminoimaan jatkuvasti rakentamisen erivaiheissa ja riskien hallinnan keinot sekä niiden onnistuminen todennetaan luotettavasti. Osana toimintamallia on laadittu Kuivaketju10 -riskilistaus ja niiden todentamisen ohje. Hankkeen nimen mukaisesti keskeisimpiä riskejä on yhteensä kymmenen ja niiden välttämällä on arvioitu voitavan välttää jopa yli 80 % näiden aiheuttamista kustannuksista. (Kuivaketju10 2019.)

3.3.2 Sisäilmaston ja energiatehokkuuden yhteensovittaminen

Maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään seuraavasti liittyen rakennuksen energiatehokkuudesta ja sen saavuttamisen keinoista:

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan energiatehokkaaksi siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi. Energiatehokkuuden vähimmäisvaatimusten täyttyminen on osoitettava energiankäyttöön, energiahäviöön ja energiamuotoon perustuvilla laskelmilla. Rakennuksessa käytettävän energiamuodon kertoimia määritettäessä arvioidaan jalostamattoman luonnonenergian kulutusta, uusiutuvan energian käytön edistämistä sekä lämmitystapaa energiantuotannon yleisen tehokkuuden kannalta. Rakennuksessa käytettävien tuotteiden ja taloteknisten järjestelmien sekä niiden säätö- ja mittausjärjestelmien on oltava sellaisia, että energiankulutus ja tehontarve rakennusta ja sen järjestelmiä käyttötarkoituksensa mukaisesti käytettäessä jää vähäiseksi ja että energiankulutusta voidaan seurata. (Maankäyttö ja rakennuslaki 132/1999: 117 §.)

Terveellisyyden lisäksi nykypäivänä pyritään myös tarkkailemaan ja valvomaan rakennusten energiankulutusta, sekä parantamaan kiinteistöjen energiatehokkuutta. Erityisesti säästötoimenpiteitä on pyritty saavuttamaan kiinteistöjen ylläpitoon liittyvällä energiankulutuksen hallinnalla, joiden menetelmät aiheuttavat joskus sisäilman laadun heikkenemistä, jos muutoksia esimerkiksi talotekniikan säätöjen osalta tehdään liian suuria muutoksia, ilman että sisäilmanolosuhteita seurataan samanaikaisesti. Erityisesti kunnallisella puolella kiinteistöjen kuten koulujen ja päiväkotien ilmanvaihdon käyntiaikojen ja -tehojen säätäminen kiinteistön käyttöaikojen mukaan on jakanut vahvasti mielipiteitä. Pelkästään energian säästön näkökulmasta olisi erittäin tehokasta säätää vähemmälle teholle tai sulkea kokonaan ilmanvaihtokoneet, silloin kun tiloja ei käytetä, mutta tällöin voi olla vaarana sisäilman terveellisyyden ja laadun huononeminen, kun korvausilma siirtyy rakennukseen hallitsemattomasti rakenteiden ilmapuotokohdista ja ilman pitoisuudet kuten suhteellinen kosteus kasvavat. Yleisesti kerättyjen kiinteistöylläpidon kokemusten mukaan kiinteistöissä talotekniikan oikealla säätämällä ja käytöllä on mahdollisuksia säästää noin 10-20 prosenttia energian aiheuttamista kustannuksista, huonontamatta sisäilman laatua. (Suomen kuntaliitto 2015.)

Sisäilmasto ja energiatehokkuus SE 5 -projektin kaltaisten energian säästöön tähtäävillä selvityksillä ja hankkeilla on hyvä mahdollisuus ohjeistaa oikeaan suuntaan etenkin kiinteistön ylläpidon aikaisessa energian säästössä. On kuitenkin tärkeää muistaa seurata säästön vaikutuksia sisäilmanlaatuun, kokonaisvaltaisen seurannan ja säädön samanaikaistamisella voidaan saavuttaa haluttuja tuloksia. Tärkeää on muistaa, että sisäilmaston

laatu ja energiatehokkuus kulkevat rinnakkain ja näiden asioiden huomioiminen on tärkeää koko rakennuksen elinkaaren ajalta.



Sisäilmaston hyvän laadun ja energiatehokkuuden yhteinen laatupolku läpi koko rakennuksen elinkaaren!

Kuva 7. SE5 hankkeen hierarkiamalli koko rakennuksen elinkaarelle

4 Etäluettava dataloggerijärjestelmä rakennuksen olosuhteiden seurannassa

4.1 Järjestelmän käyttö- ja soveltuvuustutkimus

4.1.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarkoituksena on perehtyä ja tutustua tarkemmin tutkimuskohteeksi valittuun etäluettavaan langattomasti toimivaan dataloggerijärjestelmän laitteistoon. Tutkimuksessa tarkastellaan laitejärjestelmän mahdollisuuksia ja käytettävyyttä yleisesti, sekä pohditaan sen soveltuvuutta sisäilman olosuhteiden tutkimiseen. Mikäli järjestelmä havaitaan toimivaksi ja helpottavaksi tekijäksi, on tulevaisuudessa tarkoitus mahdollisuuksien mukaan soveltaa järjestelmää tulevilla tutkimustoimeksiannoissa yrityksemme Sitowisen toimesta.

4.1.2 Tutkimuskohde etäluettava MIRAN DLS dataloggerijärjestelmä

MIRAN DLS loggerijärjestelmä on langaton loggerijärjestelmä, joka on alan uusimpia ja se on suunniteltu sekä toteutettu Suomessa Pietiko Oy:n toimesta. Laitteisto on kehitetty erityisesti kiinteistöjen olosuhteiden tehokkaaseen seurantaan. Järjestelmä koostuu erilaisista langattomista lähettimistä ja keskusyksiköstä. Langattomilla lähettimillä voidaan mitata ilman kosteutta, lämpötilaa, paine-eroja, barometristä painetta, TVOC- ja hiilidioksidipitoisuutta sekä rakenteiden kosteutta. Järjestelmää on mahdollista käyttää pilvipalvelun kanssa, jolloin keskusyksikkö lähettää tallentamansa mittaukset GSM/GPRS-yhteyden välityksellä suoraan pilvipalveluun ja tulosten seuranta voidaan suorittaa etänä tai ne voidaan jakaa helposti suurelle käyttäjäjoukolle. Laitteiston testaus osana opinäytetyötä toteutettiin yhteistyössä Pietiko Oy:n kanssa.

4.2 Tutkimuksenkulku

Laitteiston tutkimus toteutettiin neljässä erivaiheessa, joiden sisältöä ja tarkoitusta on kuvattu tässä luvussa.

4.2.1 Tutkimussuunnitelma

Ennen varsinaista tutkimuksen toteutusta laadittiin tutkimuksesta tutkimussuunnitelma. Tutkimussuunnitelman laadinnassa huomioitiin käytössä oleva laitteisto, miten laitteet sijoitetaan esimerkkikohteena toimivaan kiinteistöön, sekä mitä suureita halutaan mitata ja kuinka kauan tutkimusvaihe kestää.

Tutkimukseen tarkasteltavaksi valittu langaton MIRAN DLS loggerijärjestelmä, jota lähdettiin testaamaan, koostui seuraavista laitteista:

- 1kpl, MIRAN DLS Keskusyksikkö
- 1kpl, MIRAN DLS Lähetin rakennekosteus: WP.T+eTH-HMP110 -lähetin HMP110 anturilla
- 3kpl, MIRAN DLS Lähetin sisäilmanolosuhteet: IAQ.THB+CO₂ -lähetin
- 2kpl, MIRAN DLS Lähetin paine-ero: IAQ.THB+DP -lähetin

- MIRAN DLS Pilvipalvelin

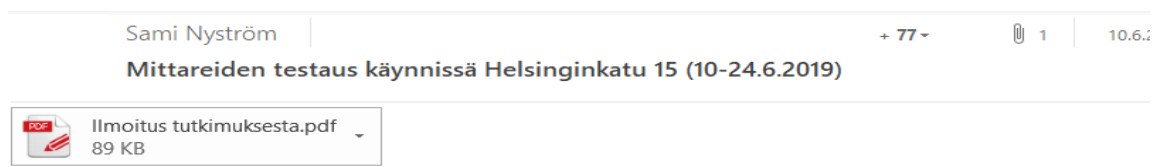
Laitteisto päätettiin sijoittaa niin että langattoman järjestelmän kantavuuden riittävyttä pystyttäisiin myös arvioimaan ja tästä syystä muutama anturi sijoitettiin mahdollisimman etäälle keskusyksiköstä. Pääsääntöisesti laitteet sijoitettiin ns. todellista sisäilmatutkimusta vastaaviin tiloihin, jotta laitteiston soveltuvuutta pystyttäisiin arvioimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Tutkimuksen kestoksi valittiin kaksi viikkoa eli 14 vuorokautta, jonka aikana dataa saataisiin kerättyä riittävästi ja analysoitua järjestelmän toimivuutta yleisesti. Tutkimusjakson aikana ja sen jälkeen seurataan laitteiston keräämää dataa pilvipalvelun kautta, mutta tutkimuksessa ei varsinaisesti analysoida laitteiston mittaustulosten luotettavuutta ja esimerkkitilana toimineen toimistotilan sisäilman laatua tai sen sisältöä ei analysoida tutkimustulosten yhteydessä tarkemmin, vaan tarkoituksena on keskittyä laitteiston toiminnallisuuden ja soveltuvuuden arviointiin.



Kuva 8. Tutkittava mittalaitteisto MIRAN DLS

4.2.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen toteutus ja varsinainen suunnittelu aloitettiin noin kaksi kuukautta ennen varsinaista tutkimuksen toteutusta. Laitteiston käyttöön saamiseksi järjestettiin palaveri yhdessä Pietiko Oy:n kanssa perjantaina 3.5.2019, jolloin esittelin heille ideani toteutuksesta ja sovimme yhteistyöstä tutkimuksen toteuttamiseksi. Varsinaisen tutkimuksen toteutusajankohdaksi sovittiin tuolloin yhden kuukauden kuluttua ja saimme laitteet käyttöön noin kaksi viikkoa ennen testijakson aloitusta, jolloin suoritettiin tutustuminen laitteisiin tarkemmin. Pietiko Oy oli konfiguroinut laitteet valmiiksi eli tutkimuksessa ei oteta tarkemmin kantaa konfigurointiohjelmistoon tai sen käyttöön laitteiden esiasetusten asettamista varten. Varsinainen testausjakso toteutettiin 10-24.6.2019 jolloin laitteet asennettiin esimerkkikohteena toimivaan avotoimistoomme. Ennen laitteiden asennusta tiedotin toimistossamme työskenteleviä ihmisiä tutkimuksesta ja sen tarkoituksesta.



Hei kaikille,

Suoritan toimistollamme Helsinginkadulla langattomien mittalaitteiden testausta osana ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon (YAMK) päättötyötä ja olen asentanut tänään toimistotiloihimme yhteensä seitsemän (7) kappaletta antureita. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole analysoida toimistomme sisäilmastonolosuhteita vaan testata itse laitteiston toiminnallisuutta ja siihen liitetyn pilvipalvelun ominaisuuksia, testikäyttö tulee kestämään noin kaksi (2) viikkoa. Jokaisen anturin yhteyteen on asetettu A4 kokoinen lappu (liitteenä .PDF), jotta jokainen tunnistaa laitteiston ja osaa varoa testauksen häiritsemistä. Pyytäisinkin että laitteistoihin ei koskettaisi ja niitä ei saisi peittää, mutta mikäli ongelmatilanteita ilmenee niin otattehan rohkeasti yhteyttä allekirjoittaneeseen.

Laitteistot sijaitsevat:

- Neuvotteluhuone Kakola: 2kpl
- Neuvotteluhuone Seili: 1 kpl
- Neuvotteluhuone Aurajoki: 1 kpl
- Avotoimisto KOR: 2 kpl
- Avotoimisto infra/smartcity/hankejohtaminen: 1 kpl

Ystävällisin terveisin

Sami Nyström
Ryhmäpäällikkö, tutkimus ja tarkastus

Kuva 9. Sähköposti-ilmoitus tutkimuksesta

Lisäksi laadittiin huomioilmoitukset jokaisen mittalaitteen vierelle tutkimuksen ajaksi, jotta laitteistoa ei siirrettäisi tai muuten häirittäisi esimerkiksi peittämällä laitteita.



Kuva 10. Tutkimuksen huomioilmoitus, joka asennettiin mittalaitteiden vierelle

Tutkimusjakson aikana laitteiston toimivuutta ja kantavuuden säilymistä seurattiin aktiivisesti keskusyksikön monitorista ja pilvipalvelusta johon mittaustulokset tallennettiin. Tutkimusjakson päätteeksi mittalaitteisto poistettiin tutkitusta tilasta ja saatuja tuloksia tarkasteltiin kriittisesti, sekä pohditaan laitteiston käytössä havaittuja etuja ja mahdollisia puutteita.

4.3 Tutkimusvaihe

4.3.1 Esimerkkikohte

Tutkittavan mittalaitteiston seuranta varten esimerkkikohteeksi valittiin Sitowise Oy:n avotoimistona toimiva liiketila, joka sijaitsee Turussa Aurajoen rannalla osoitteessa Helsinginkatu 15. Paikallisesti Turussa kiinteistö tunnetaan nykyään nimellä Strand Business Park, mutta se on pitkän historiansa aikana palvellut aikaisemmin mm. viina- ja polkupyörätehtaan. Rakennus on rakennettu alkujaan vuonna 1865, jolloin kauppias Victor Alexander Reims perusti silloiselle tontille viinanjalostusta varten tehtaan nimellä

A. Reims sprit- och punschfabrik. Viinan jalostuksen jälkeen rakennusta on laajennettu laajemmaksi useassa eri vaiheessa, vastaamaan kyseisen aikakauden käyttötarkoitusta. Viimeisin suuri saneeraus nykymuotoonsa on suoritettu vuosina 2010-2011, jolloin tilat muutettiin toimimaan pääsääntöisesti liiketiloina ja sen yhteydessä olevana parkkitilana, joka koostuu piha-alueesta ja parkkihallista. Rakennuksen kokonaislaajuus on suuruudeltaan noin 6657 br-m². Tutkimuksessa tästä tilasta hyödynnettiin rakennuksen toisessa kerroksessa eli sisäpihan maantasa-kerroksessa sijaitsevaa avokonttoritilaa ja sen huonetiloja, johon mittalaitteisto asennettiin tutkimuksen ajaksi. (Optiplan 2017.)



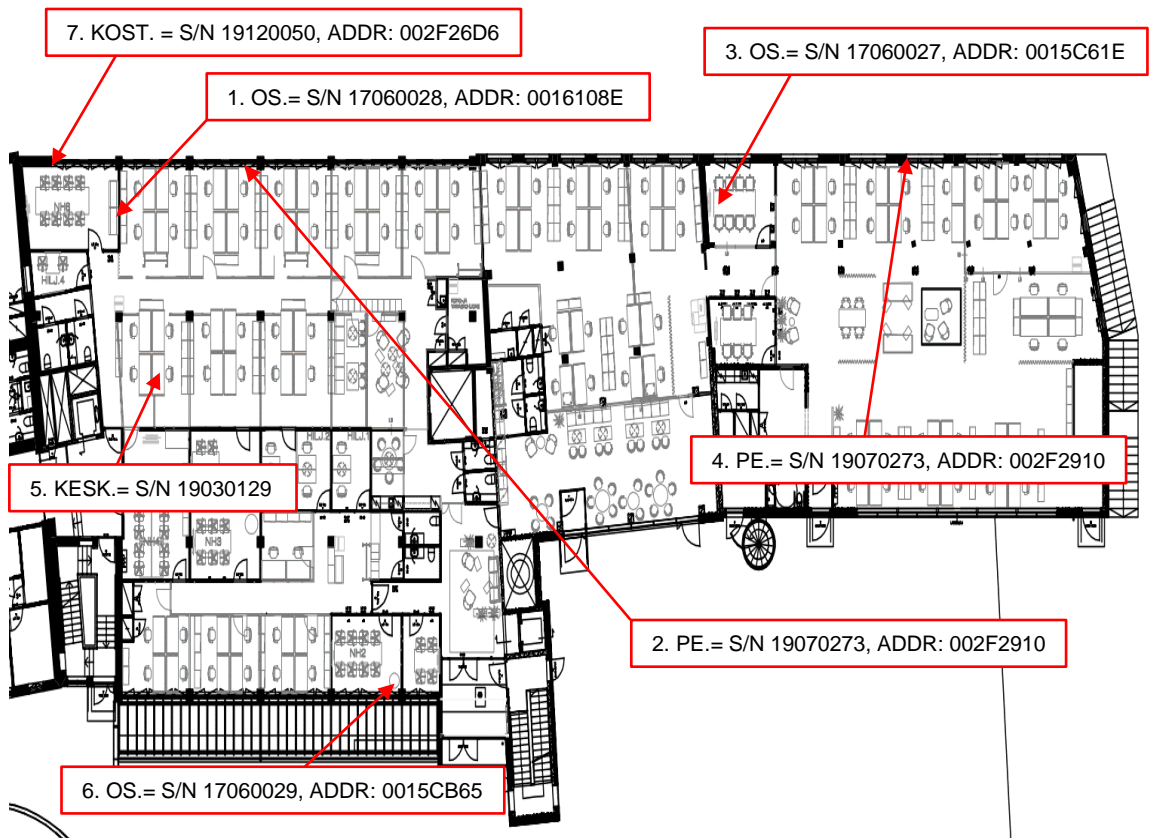
Kuva 11. Esimerkkikohte Strand Business Park. (Optiplan 2017.)

4.3.2 Laitteiston asennus ja sijoittelu kiinteistöön

Tutkittavat mittalaitteet päätettiin sijoittaa esimerkkikohteena toimivaan avotoimistoon siten, että ne vastaisivat mahdollisimman totuuden mukaisesti aitoa sisäilmatutkimusta, mutta huomioiden kuitenkin langattoman laitteiston kantavuuden testauksen ja tästä syystä etäisyydet valittiin muutamissa antureissa mahdollisimman pitkiksi.

Laitteistojen sijoittelu tutkittavaan tilaan:

- Neuvotteluhuone Kakola: 2kpl (rakennekosteus + sisäilmanolosuhteet)
- Neuvotteluhuone Seili: 1 kpl (sisäilmanolosuhteet)
- Neuvotteluhuone Aurajoki: 1 kpl (sisäilmanolosuhteet)
- Avotoimisto KOR: 3 kpl (paine-ero, sisäilmanolosuhteet, keskusyksikkö)
- Avotoimisto infra/smartcity/hankejohtaminen: 1 kpl (paine-ero)



Kuva 12. Tutkittavan mittalaitteiston sijoitus esimerkikohteeseen esitettynä pohjakuvassa

Taulukko 4. Laitteiston tutkimusnumerot, etäisyydet keskusyksiköstä ja laitetunnisteet sekä anturintyypit taulukoituna.

Tutkimusnumero	Etäisyys keskusyksiköstä	Laitetunniste	Anturityyppi
1.	n. 7,5 m	S/N 17060028 ADDR: 002F2910	Olosuhde
2.	n. 10,4 m	S/N 19070273 ADDR: 002F2910	Paine-ero + olosuhde
3.	n. 38,5 m	S/N 17060027 ADDR: 0015C61E	Olosuhde
4.	n. 51,2 m	S/N 19070273 ADDR: 002F2910	Paine-ero + olosuhde
5.	0 metriä	S/N 19030129	Keskusyksikkö
6.	n. 21 m	S/N 17060029 ADDR: 0015CB65	Olosuhde
7.	n. 13 m	S/N 19120050 ADDR: 002F26D6	Rakennekosteus + olosuhde

Mittalaitteet asennettiin noin +1,1 metrin korkeuteen lattiapinnasta mitattuna ja kiinnityksiä ei tehty mekaanisesti vaan laitteet kiinnitettiin kevyesti sinitarraa käyttäen alustana toimineisiin työtasojen pintaan.



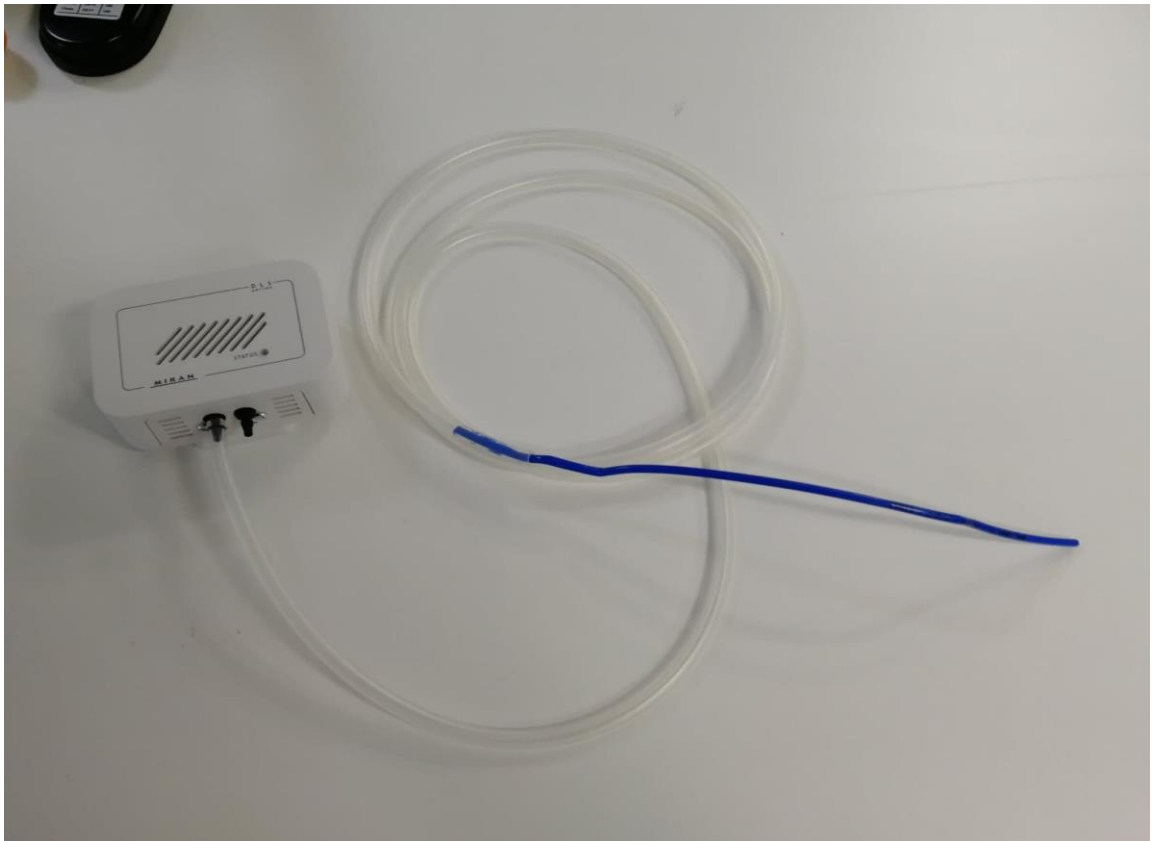
Kuva 13. Asennuslevy laitteiden kiinnittämistä varten.

Jokaisessa mittalaitteen pohjaan on saatavana lisävarusteena mekaanista kiinnitystä varten asennuslevy, joka voidaan asentaa muutaman ruuvin avulla kiinni ja näiden avulla laitteet saa asennettua kätevästi esimerkiksi rakennuksen seiniin halutessaan. Laitteiden kiinnittäminen tai poistaminen asennuslevystä tapahtuu liikuttamalla laitetta pystysuorassa suunnassa, jolloin laite napsahtaa irti asennuslevystä.

Laitteiston asennus aloitettiin kytkemällä keskusyksikkö verkkovirtaan ja asettamalla se toisen avotoimistotilan työpöydälle, josta oletettavasti on hyvät olosuhteet signaaleille antureita varten. Tämän jälkeen mittalaitelähettimet asennettiin toimistotiloihin tutkimussuunnitelman mukaisesti.

Lähettimien asennusta helpottaa suuresti se, että lähettimet ovat valmiiksi paritettuja keskusyksikön kanssa, joten ne alkavat etsimään signaalia keskenään automaattisesti. Jokaisessa lähettimessä on sininen ja vihreä huomiovalona toimiva led, joka vilkkuu eri sykleissä kertoen laitteen tilasta, jos yhteyttä ei löydetä ja lähetin yrittää muodostaa yhteyttä keskusyksikköön vilkkuu valo 60 sekunnin välein, mikäli valo vilkkuu sinisenä 2 sekunnin välein tarkoittaa se lähettimen olevan paritustilassa ja se odottaa yhteyttä keskusyksikköön, mutta kun yhteys on muodostettu palaa valo vihreänä jatkuvasti tämän merkinä.

Lähettimiä asennettiin kaikkiaan yhteensä kuusi kappaletta. Lähettimistä kolme kappaletta, jotka mittaavat sisäilmanolosuhteista lämpötilaa, hiilidioksidia ja ilman kosteutta sijoitettiin avotoimisto- ja neuvotteluhuonetiloihin. Paine-eromittausta varten asennettiin kaksi anturia eri ikkunoihin mittaamaan sisäilman ja ulkovaipan ylittävää paine-eron suuruutta.



Kuva 15. Paine-erolähetin ja mittausletkut

Paine-eromittareissa on valmiiksi toimitettuna mittauksia varten tarvittavat paineletkut pituudeltaan kolme metriä, joten asentamista varten ei tarvinnut hankkia lisätarvikkeita. Letkut koostuvat pidemmältä osuudeltaan materiaailtaan pehmeämmästä ja läpinäkyvästä putkesta, joiden päässä lyhyempi osuus on materiaailtaan kovempaa ja väriltään sinistä putkea, joka on tarkoitettu läpivientiä varten esimerkiksi ikkunaa varten.

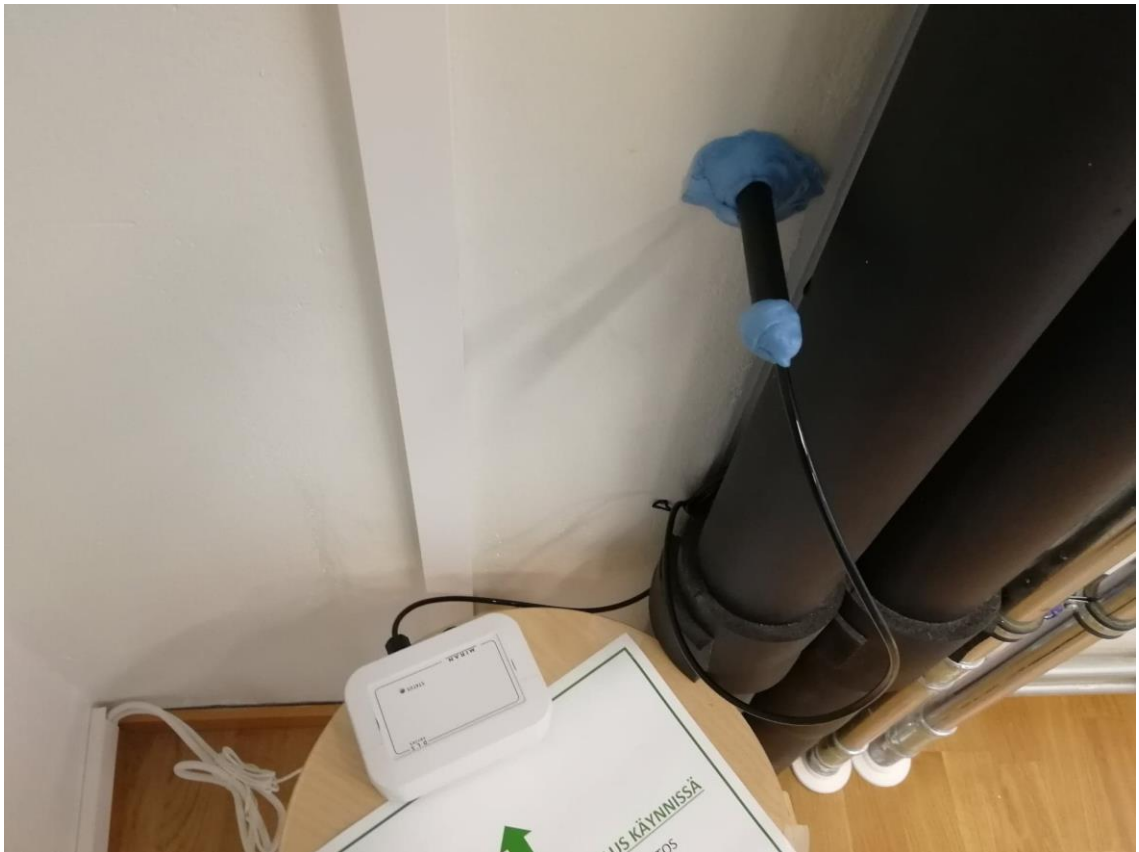
Lisäksi asennettiin yksi lähetin mittaamaan rakennekosteutta rakennuksen ulkoseinä-rakenteesta, mittaus suoritettiin tutkimusta varten koeluontoisesti rakenteen sisäpuoleisesta tiiliverhouksesta. MIRAN DLS järjestelmän rakennekosteuden mittauksia varten oleva mittalaite sisältää Vaisala Oy:n valmistaman HMP110 kosteusanturin, jolla mittaus tapahtuu rakenteen sisästä, mutta tämän lisäksi MIRAN:n oma lähetin mittaa myös sisäilmanolosuhteita ja tallentaa siis ilmassa olevan lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden pilvipalvelimeen. Mittauksia varten tarvittiin lisäksi iskuporakone, 16:n mm:n poranterä, tiivistysputki halkaisijaltaan 16 mm ja tiivistystä varten sinitarraa.



Kuva 14. Rakennekosteuslähetin

Seinärakenteeseen porattiin kuudentoistamillin reikä syvyydeltään noin kymmenen millimetriä. Porauksen jälkeen reikä imuroitiin ja siihen asennettiin tiivistymistä varten mittaputki, joka tiivistettiin huolellisesti putken ja rakenteen liittymäkohdasta. Tämän jälkeen HMP110 mitta-anturi asennettiin putken sisälle ja tiivistettiin päästään huolellisesti. Itse MIRAN lähetin asetettiin tason päälle noin puolen metrin korkeudelle lattiasta ylöspäin.

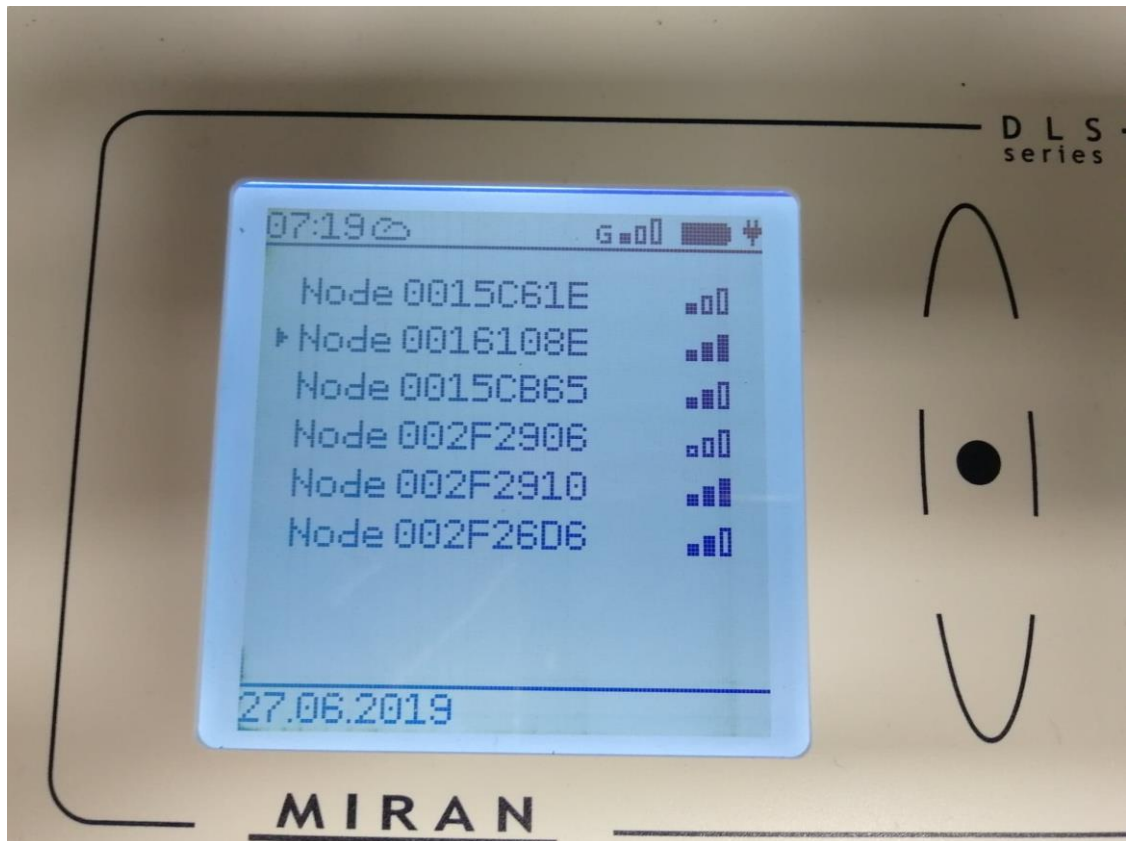
Mittalaitteiden lähettimien asennus esimerkkikohteena toimivaan tilaan tapahtui nopeasti ja aikaa tähän kului noin puoli tuntia, huomioiden ikkunoiden avaukset ja seinärakenteen porauksen sekä anturoinnin. Asennusta nopeutti huomattavasti se, että laitteet toimivat akkuvirralla ja erillistä verkkovirta asennusta ei keskusyksikköä lukuun ottamatta vaadittu, joka mahdollistaa normaalia monipuolisemmat mahdollisuudet laitteiden asennuspaikoille.



Kuva 15. kuva mittauksen asennuksesta seinärakenteeseen

Antureiden asentamisen jälkeen tarkistettiin keskusyksiköstä signaalien vahvuudet ja että jokainen lähettäjä oli toimintakykyinen, sekä lähetti dataa halutulla tavalla. Keskusyksikössä on LCD-näyttö ja hipaisunäppäimet eri ominaisuuksien valintaa varten.

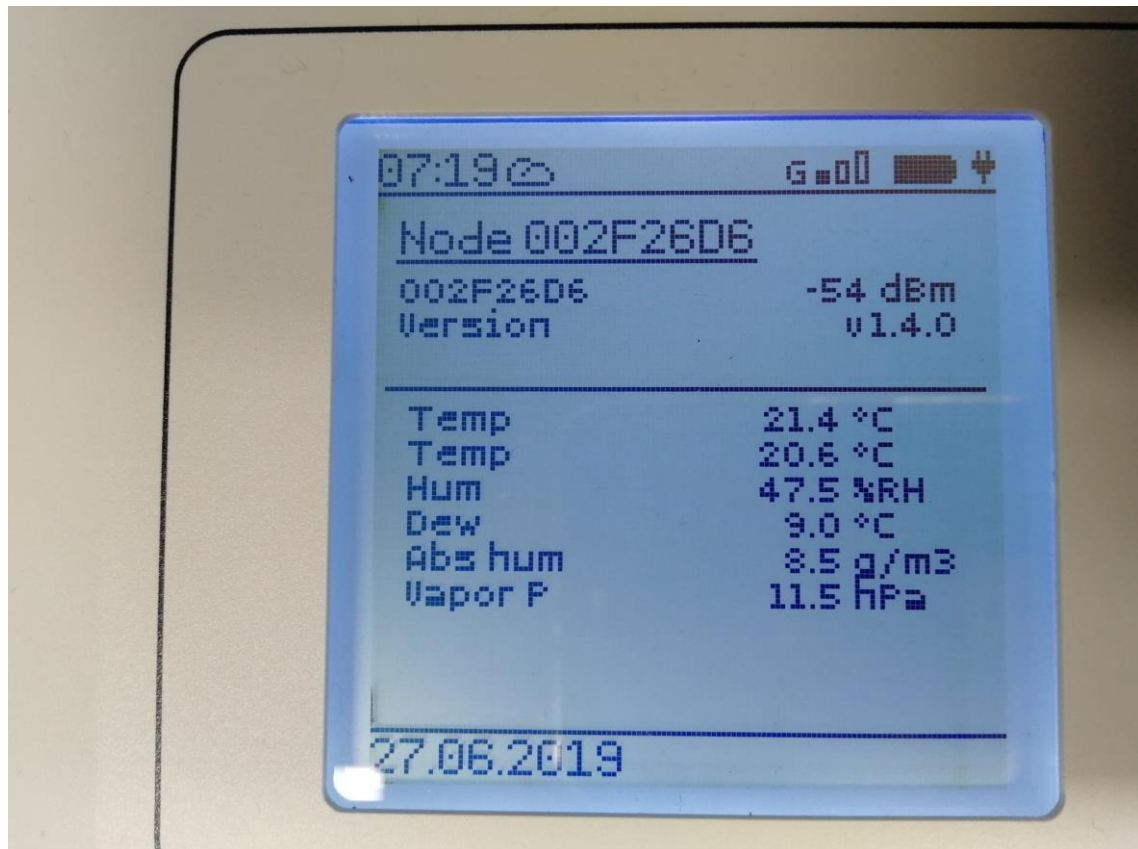
Keskusyksikön näytössä näkyy selkeästi luettelo siihen paritetuista mitta-antureiden lähettimistä ja ne ovat lueteltuna niiden ADDR:n tunnisteen mukaisesti eli tästä syystä laitteita asentaessa kannattaa kirjata esimerkiksi pohjakuvaan jokaisen anturin ADDR:n numero, joka löytyy jokaisen anturin pohjassa sijaitsevasta tuotetarrasta. Keskusyksikön yleisnäytöllä on nähtävillä jokaisen anturin signaalin vahvuus selkeästi kolmella signaalipalkilla symboloituna, jotka palavat sitä tummempana mitä parempi yhteydentila on tarkasteluhetkellä.



Kuva 16. Keskusyksikön näytön yleisnäkymä

Lisäksi keskusyksikön näytöltä on nähtävissä laitteeseen asetettu kellonaika, joka toimii dataloggauksen kellonaikana ja laitteiston GSM modeemin tila sekä sen verkon kuuluvuus on esitetty näytön yläkulmassa. Keskusyksikkö toimii ensisijaisesti verkkovirralla, mutta siihen on asennettu lisäksi varavirtalähteeksi akku, joka ylläpitää järjestelmää noin viidentoista minuutin ajan, jos verkkovirta yhteys katkeaa. Akun tila ja latauksen toimivuuden voi tarkistaa yleisnäytön oikeasta yläkulmasta akku- ja verkkovirtasymbolista.

Keskusyksiköstä voidaan tarkistaa myös jokaisen mitta-anturin hetkelliset mittatulokset ja kyseisen anturin tarkemmat tiedot muun muassa yhteyssignaalin tarkasta tasosta. Käytännössä tämä mahdollistaa myös hetkellisten mittausten toteuttamisen ilman pitkäaikaisista seuranta. Samat tiedot ovat luettavissa myös pilvipalvelimelta pois lukiennin signaalin hetkellinen vahvuuden ilmaiseva RSSI-lukema.



Kuva 17. Keskusyksikön mitta-anturikohtainen näkymä, jossa esitetty mm. hetkelliset mittatulokset.

Taulukko 5. RSSI-tason selitteet laitteiston ohjekirjasta

RSSI-taso	Yhteyslinkin luotettavuus
> -70 dBm	Erinomainen
> -85 dBm	Erittäin hyvä
> -95 dBm	Hyvä
> -102 dBm	Tyydyttävä
> -106 dBm	Linkki saattaa hetkittäin pätkiä
< -106 dBm	Linkki todennäköisesti pätkee hetkittäin

RSSI-lukeman eli vastaanotetun signaalin voimakkuuden tason lukeman selitteet on esitetty käyttöohjeessa taulukon muodossa

4.4 Tutkimustulosten analysointi ja vertailu

Tässä kappaleessa käydään läpi tutkimusjakson aikana tehtyjä havaintoja ja analysoidaan saatuja tuloksia, sekä vertaillaan langattoman laitteiston eroja vanhan aikaisempaan langalliseen dataloggerin käyttöön.

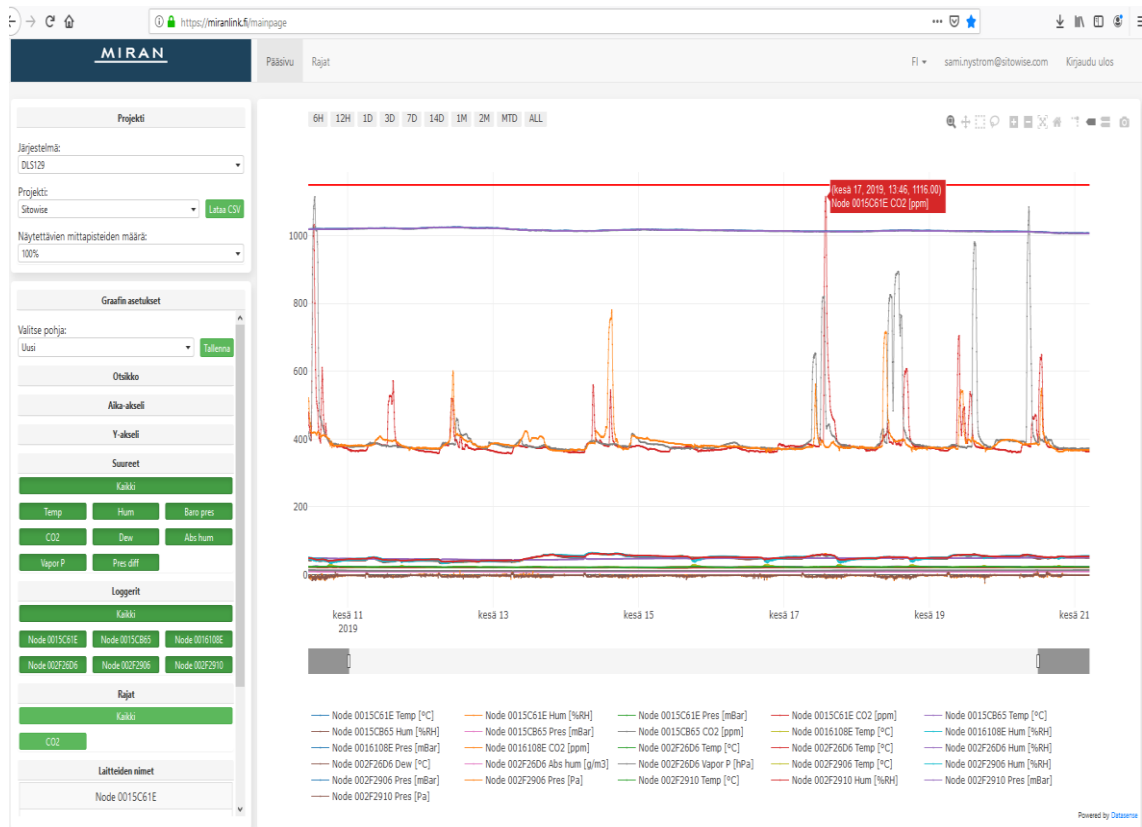
4.4.1 Tutkimustulokset ja laitteiston vertailu perinteiseen jälkiluettavaan dataloggeriin

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia ja selvittää valitun laitejärjestelmän etuja, huonoja puolia ja pohtia mahdollisia kehitysmahdollisuuksia laitteiston tulevaisuutta ajatellen valmistajalle. Lisäksi tutkimuksen aikana vertailtiin testatun langattoman dataloggerijärjestelmän eroavaisuuksia, hyötyjä ja mahdollisia heikkouksia verrattuna perinteiseen jälkiluettavaan dataloggereihin. Vertailussa hyödynnettiin omaa rakennusten kuntotutkimuksiin liittyvästä työstä noin kuuden vuoden ajalta saatua kokemuspohjaista tietoa perinteisten dataloggerien toiminnasta ja niiden hyvistä, sekä huonoista ominaisuuksista.

Tutkimuksen testausjaksoon valittu esimerkkikohteeseen vastasi kokoluokaltaan yleisesti kuntotutkittavaa toimitilarakennuksen osaa ja tästä syystä muun muassa laitteiston asentamisesta saatu tieto vastaa totuuden mukaista tilannetta. Testauksessa järjestelmään kuului yhteensä kuusi kappaletta erilaisia mitta-anturilähettimeitä ja näistä kolme olivat niin kutsuttuja yhdistelmä mitta-antureita eli ne mittavat pääsuureen lisäksi myös sisäilman olosuhteiden lämpötilan ja suhteellisen kosteuden, tästä esimerkkinä paine-eroanturi tutkimusnumerolta 2. ja laitetunnisteiltaan S/N 19070273/ADDR: 002F2910. Nämä yhdistelmä anturit helpottavat huomattavasti sisäilmaolosuhteiden mittauksen toteutusta, sillä yhdellä mittalaitteella saadaan useampi tarpeellinen asia tutkittua kerralla ja monta erillistä laitetta ei tarvitse kytkeä samaan tilaan.

Laitteiston asennus esimerkkikohteeseen kesti noin 30 minuuttia ja kyseessä oli ensimmäinen kerta kyseisellä laitteistolla eli rutiinilla useiden kohteiden jälkeen tämä varmasti onnistuisi vieläkin nopeammin. Suurimpana etuna laitteiston asennuksessa oli akkutointisuus eli verkkovirta kytkentöjä ei tarvittu muuta kuin keskusyksikön osalta eli kytkimme testausjakson aikana vain yhden verkkovirta kaapelin pistorasiaan. Laitteiston lähettimeiden esiasetuksia ei jouduttu asettamaan, sillä laitetoimittaja Pietiko Oy toimittaa laitteet aina käyttövalmiiksi konfiguroituna asiakkaan tarpeiden mukaan, mutta mikäli asetukset olisi jouduttu asettamaan tai muokkaamaan tapahtuisi tämä laitteistoon laaditun Miran konfigurointiohjelmiston avulla, jossa voidaan määrittää dataloggerien asetukset ja muun muassa määrittää mittauksille hälytyksiä, jos tietyt raja-arvot täyttyvät. Pietiko Oy:n mukaan tämä on erittäin nopeaa ja vaivatonta, tutkimuksessa käytetyn laitteiston konfigurointi kestää arviolta noin 15 minuuttia. Laitteiston asentamisen aikana lähettimeiden signaalien toimivuus pystyttiin tarkastamaan lähettimeiden huomio led-valoista ja lopuksi keskusyksikön näytöltä, joka ilmoittaa kaikkien laitteiden tilanteen.

Pilvipalvelimelta mittaustietoa pystyttiin tarkastelemaan noin 10 minuutin kuluttua laitteen asentamisesta. Pilvipalveluun kirjautuminen tapahtuu verkkoselaimella tietokoneella ja mittaustulosten seuraaminen havaittiin vaivattomaksi, tuloksia pystyy seuraamaan graafilta kokonaisuutena eli kaikki anturit samanaikaisesti tai valitsemalla tarkasteltavaksi vain tietyt anturit. Lisäksi valittavissa on näytettävien suureiden valinta ja mahdollisuus lisätä suureille raja-arvoja, jotka esitetään kuvaajassa rajaviivana.



Kuva 18. Kuvankaappaus selainpohjaisesta pilvipalvelusta ja sen ominaisuuksista

Tulosten tulkittavuutta varten lähettimien uudelleen nimeäminen onnistuu pilvipalvelimelta käsin, joka helpottaa raportointia ja vähentää ADDR-tunnistenumeroiden käytön tarvetta. Pilvipalvelusta on lisäksi mahdollista ladata mittausten tarkat tulokset tietyltä mittaushetkeltä taulukoituna, mutta mittaustulosten keskiarvo tuloksissa ei suoraan ole eritelty. Tulosten liittämistä esimerkiksi asiakkaan raporttiversioon helpottaa mahdollisuus luoda tarkastellusta graafista suoraan kuvaversio, joka voidaan liittää varsinaiseen tutkimusraporttiin suoraan. Pilvipalvelimen käyttöliittymää pystyy käyttämään yhteensä kolmella eri kielellä englanniksi, suomeksi ja ruotsiksi. Tulosten jatkuvasti saatavilla oleminen mahdollistaa esimerkiksi kuntotutkimus raportointivaiheen raportin valmistelun myös olosuhdemittausten osalta jo ennen mittausten varsinaista päättymistä.

Tutkimuksen laitteiston testausjakson aikana havaitut järjestelmän edut, heikkoudet ja kehittämismahdollisuudet on esitetty alapuoleisessa taulukossa.

Taulukko 6. Tutkimuksen testausjakson aikana havaitut huomiot tutkitusta MIRAN laitteistosta ja sen edusta, heikkouksista ja kehitysmahdollisuuksista.

Järjestelmän edut (+)
Akku-/paristokäyttöiset lähettimet
Asentamisen helppous ja nopeus
Asennuslevyjen saatavuus
Vahva signaalin kantavuus ilman vahvistinta (toistinta)
Signaalin vahvistin (toistin) saatavilla tarvittaessa
Lähettimien monipuoliset mittausominaisuudet (yhdistelmä mittarit esim. paine-ero/olosuhde)
Mittausdata luettavissa verkkoselain pohjaisesta käyttöliittymästä mittauksen aikana
Helppokäyttöinen käyttöliittymä tulosten lukemiseen (MIRAN LINK)
Laitteistossa ei näppäimiä asetusten muuttamiseksi
Pilvipalvelu mahdollista hankkia myös oman yrityksen palvelimelle
Kalibroituavuus
Käyttäjän tarpeisiin muokattava kokonaisuus monenlaisilla erilaisilla lähettimillä
Varoitusten asettaminen
Antureiden nimeäminen tutkimuskohtaisesti pilvipalvelimelta
Kuljetussalkku
Kilpailukykyinen hinnoittelu
Raja-arvojen lisäys mahdollisuus mittatulosten graafeihin pilvipalvelimella
Laitteisto toimitetaan asiakkaalle valmiiksi konfiguroituna eli käyttövalmiina
Mittaus tulokset esitetty selkeänä graafina ja lisäksi taulukkomuodossa hetkellisinä mittaustuloksina
Järjestelmän heikkoudet (-)
Signaalin kantavuus kaikissa olosuhteissa ja signaalin vahvuuden seuranta etäyhteydellä (hälytys SMS- vain jos signaali kokonaan katkeaa)
Keskusyksikkö vaatii verkkovirran
Pilvipalvelin laitevalmistajan ylläpitämä (ilman erillistä sopimusta)
Tietoturva ja salassapito
Lähettimien signaalitason tarkistaminen vain keskusyksiköstä ja lähettimistä
Taulukkomuodossa esitetty vain hetkellisinä mittaustuloksina ja keskiarvo tuloksia ei nähtävillä suoraan.
Akku-/paristokäyttöisiä lähettämiä ja keskusyksikkö ei pysty lataamaan vaan akut-/paristot joutuvat uusimaan muutaman vuoden välein.
Kehittämismahdollisuudet (+/-)
Mobiilisovellus tulosten seurantaan
Keskusyksikön akkukäyttöisyys (täysin verkkovirta vapaa järjestelmä)
Useamman rakennekosteusanturin kytkeminen yhteen lähettimeen
Lähettimien asetusten muuttaminen ja tyhjentäminen pilvipalvelimen kautta
Lähettimien signaalitason tarkistaminen pilvipalvelimen kautta ja hälytys jos signaali heikkenee
Akku-/paristokäyttöisiä lähettimien ja keskusyksikön ladattavuus, kun mittauksia ei suoriteta

Kokemuspohjaiseen tietoon perustuva vertailua varten pohdittiin teoreettisesti vastaavanlaisen mittaustapahtuman toteuttamista perinteisillä jälkiluettavilla dataloggereilla ja rakennekosteuden mittaaminen rakennekosteusmittarilla. Vertailun laitekokonaisuuteen valittiin yrityksemme käytössä olevat ja yleisesti tunnetut mittalaitteet. Olosuhdemittarina Rotronic CP11, joka pystyy mittaamaan ilman suhteellisenkosteuden, hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan. Paine-eromittarina Tinytag TGC-0046 + Beck 984Q paine-erojen mittaukseen tarkoitettu dataloggeri. Lisäksi rakennekosteuden mittausta varten Vaisala HUMICAP HM40S kosteusmittari ja mittapää HMP110 rakennekosteuden mittaamiseen. Testattu MIRAN järjestelmän lähettimet olivat yhdistelmälähettämiä eli esimerkiksi paine-eromittarilla pystyttiin myös mittaamaan samanaikaisesti huoneen sisäilmasta olosuhdeita, vertailtaessa toteutusta perinteiseen mittakalustoon joudutaan vastaavaan mittauksen toteuttamiseksi käyttämään useampia erimittareita. Alapuolella taulukoituna tarvittavat mittalaitteet vastaavan mittadatan keräämistä varten yläpuolella esitetyllä mittakalustolla.

Taulukko 7. Vertailua varten tarvittava perinteinen mittakalusto

Laitenumero	Laite	Anturityyppi
1.	Rotronic CP11	Olosuhde
2.	Tinytag TGC-0046 + Beck 984Q	Paine-ero
3.	Rotronic CP11	Olosuhde
4.	Rotronic CP11	Olosuhde
5.	Tinytag TGC-0046 + Beck 984Q	Paine-ero
6.	Rotronic CP11	Olosuhde
7.	Rotronic CP11	Olosuhde
8.	Vaisala HUMICAP HM40S + HMP10	Rakennekosteus

Vertailussa huomattiin, että vastaavanlaiseen mittaukseen jouduttaisiin perinteisillä mittalaitteilla asentamaan kaksi ylimääräistä mittalaitetta, vaikka mittauksen vaatima mittalaitteiden määrä esimerkkikohteessa onkin vähäinen. Käytännössä suuremmissa mittauskokonaisuuksissa erona olisi kymmenien mittalaitteiden määrä, sillä useasti olosuhdemittauksissa samasta tilasta halutaan selvittää sisäilmanolosuhteet kuten lämpötila, hiilidioksidi ja kosteus sekä paine-ero, tällöin MIRAN järjestelmällä käyttämällä yhdistelmälähettämiä voidaan vähentää asennettavaa kaluston määrää huomattavasti. Lisäksi järjestelmään voidaan kytkeä halutessaan TVOC-pitoisuutta mittaava yhdistelmä anturi.

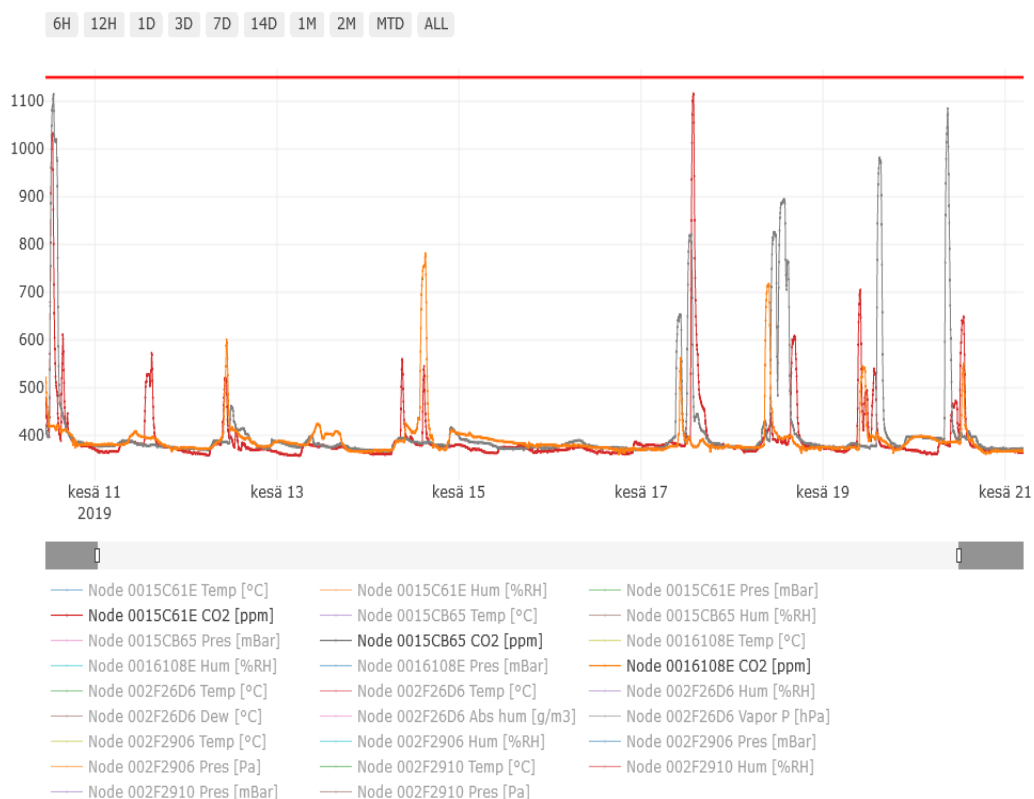
Ajateltaessa vertailukaluston asentamista vastaavaan kohteeseen jouduttaisiin huomioidaan mittalaitteiden vaatimat verkkovirta tarpeet ja tämän vaikutus asennuspaikkojen

vähentymiseen, kun pistorasioita ei ole aina saatavilla ja voidaan joutua käyttämään jatkojohtoja. Lisäksi ennen asennusta laitteisto pitää tyhjentää tietokoneella ja konfiguroida käyttöä varten, pois lukien Vaisalan kosteusmittari. Laitteiston asennus vaiheessa jokainen loggeri vaatii erikseen käynnistämisen, kun laite on asetettu paikalleen, osa laitteista voidaan käynnistää manuaalisesti näppäimiä käyttäen, mutta osa joudutaan käynnistämään tietokoneen avulla, ellei erillistä ajastusta ole määritetty alkuvaiheen konfiguroinnin aikana. Arvioitu koko laitteiston asentamiseen kuluva aika huomioiden alkuvaiheen toimenpiteet ovat arvioituna noin 1-1,5 tuntia, kun taas MIRAN asennus onnistui noin 30 minuutissa. Asentamiseen kulunut aika on siis arvioituna noin 2-3 kertainen laitteistojen välillä. Lisäksi kosteusmittauksia varten alkuvaiheessa mitta-anturin asentamisen jälkeen jouduttaisiin tekemään erillinen mittauskäynti tasaantumisaikojen jälkeen kolmen vuorokauden kuluttua, käytännössä tämä vaatii kosteusmittaajalta 1 tunnin matka-ajat huomioiden, jos kohde sijaitsee automatkan päässä. MIRAN järjestelmällä kosteusmittaukseen ei vaadita erillistä mittauskäyntiä, sillä laite mittaa tuloksia rakenteesta jatkuvasti ja tulokset saadaan heti tarkasteltavaksi pilvipalvelimelta.

Perinteisten loggereiden mittausjakson 14 vuorokautta jälkeen laitteisto pitää käydä noutamassa pois, jonka yhteydessä jokaisesta mittalaitteesta katkaistaan loggaus eli tallennus. Tämän jälkeen laitteista voidaan lukea tallennetut mittatulokset tietokoneella USB-johtoa käyttämällä ja laitevalmistajien ohjelmistoja hyödyntäen. Yhden mittalaitteen purkamisen tutkijalta vie noin 5 minuuttia eli koko tutkimuslaitteistolta yhteensä noin 30-40 minuuttia kun huomioidaan myös kosteusmittausten tulosten siirtäminen tietokoneelle. Tässä vaiheessa tutkijalla on käytettävissään tutkimusjakson aikana kerätty data ja tähän on kulunut työaikaa noin 2,5-3 tuntia, jonka jälkeen varsinaisen tutkimusraportin laadinta voidaan aloittaa. Vertailtaessa MIRAN laitteiston asentamiseen kulunut aika 30 minuuttia, jonka jälkeen tulokset olivat heti tutkijan käytettävissä pilvipalvelimelta ja raportointia pystyttäisiin jo aloittamaan mittausjakson aikana, ero on merkittävä noin 4 kertainen aika. Tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että kyseessä on teoreettinen arvio, mutta eroavaisuuden määrä on kuitenkin selkeä. Muita huomioita vertailussa olivat, jos mittausjakson pituus olisi äärimmäisen pitkä esimerkiksi yksi vuosi, jouduttaisiin perinteisellä kalustolla tuloksia käydä mittausjakson välissä lukemassa ja tyhjentämässä, sillä tallennustila on rajallinen, kun taas MIRAN tallentaa tulokset pilvipalvelimelle, jossa tilaa on paljon.

Perinteisen laitteiston selkeänä etuna on mittatulokset tietokoneelle siirrettäessä ne sisältävät muun muassa keskiarvo tulokset ja taulukoituna jokaisen mittapisteen

loggausjaksolta, jota taas MIRAN järjestelmästä ei toistaiseksi ole vielä saatavissa vaan tulokset on esitetty pelkästään graafilla, josta pystytään hetkellisiä mittatuloksia tarkastelemaan. Raportointia ajatellen perinteisten laitteiden mittaustulosten graafeihin joudutaan useasti itse manuaalisesti lisäämään jälkikäteen raja-arvoja kuvaavia mittaviivoja esimerkiksi hiilidioksidin toimenpideraja, kun taas MIRAN järjestelmässä nämä saadaan suoraan lisättyä graafeihin pilvipalvelimelta ja näin ollen kuvaajat ovat valmiit raportointiin pilvipalvelun oman kuvankaappaus toiminnolla lähes suoraan.



Kuva 19. MIRAN pilvipalvelun kuvan kaappaus hiilidioksidi mittauksista, jossa punaisella ylhäällä järjestelmästä lisätty raja-arvo viiva.

Vertailussa havaittiin perinteisten mittalaitteiden olevan käytännöllisimpiä pienempien tai yksittäisten sisäilmanolosuhteiden selvitysten mittaukseen, kun taas MIRAN tyyppisellä langattomalla järjestelmällä saavutettavat hyödyt korostuvat mitä suurempi mittauskokonaisuus on kyseessä.

Tutkimuksessa ei vertailtu mittaustulosten mittatarkkuutta koejakson aikana mitattujen tulosten pohjalta, mutta laitevalmistajat ilmoittavat laitteidensa mittatarkkuuden ja mittausalueen, jolla tarkkuus on testattu. Pietiko Oy ilmoittaa MIRAN järjestelmän jokaiselle eri mittalaitelähtetimen tyyppille mittatarkkuuden- ja alueen erikseen, jaoteltuna

lähettimen mittaamien suureiden mukaisesti. Alapuoleisessa taulukossa esitettynä mittatarkkuuksien vertailu MIRAN järjestelmän ja perinteisten järjestelmien välillä, perustuen laitevalmistajien ilmoittamiin tietoihin.

Taulukko 8. Sisäilmanolosuhteiden mittalaitteiden mittatarkkuuden- ja alueiden vertailu

Vertailu		
Valmistaja	Pietiko Oy	Rotronic
Mittalaite	MIRAN IAQ.THB+CO2 - lähetin	CP11
Lämpötila (°C)		
Tarkkuus (testattu)	± 0,3 °C	± 0,3 °C (+5...+40°C)
Mittausalue	-40 – +125 °C	-20 – +60°C
Suhteellinen kosteus (RH%)		
Tarkkuus (testattu)	± 2,5% (20 – 80 % RH)	±3% (10-95 % RH, 25°C)
Mittausalue	0 – 100 %RH	0.1 – 99.9 %RH
Hiilidioksidi (CO₂)		
Tarkkuus	± 50 ppm	± 30 ppm + 5% lukemasta
Mittausalue	0 – 2000 ppm	0 – 9999 ppm

Tarkasteltaessa mittalaitteiden mittatarkkuuksia ja -alueita huomataan nopeasti erojen olevan vähäisiä eli tarkkuudet ovat lähes samalla tasolla. Suurimmat poikkeamat ovat MIRAN:n lämpötilan mittausalueessa, joka on huomattavasti laajempi kuin Rotronic CP11:sta. Ilman suhteellisen kosteuden osalta MIRAN:n mittaustarkkuus on 0,5 % tarkempi, mutta tarkkuuteen testaamiseen ilmoitettu käytetty mittausalue on Rotronic:n verrattuna suppeampi, vaikkakin itse varsinainen laitteen mittausalue on molemmilla lähes yhtä laaja 0.1 % erolla. Ilman hiilidioksidin mittauksessa tarkemmaksi valmistajien tietoihin pohjautuen on Rotronic, jossa tarkkuus on ilmoitettu ± 30 ppm + 5% lukemasta eli todellisuudessa noin ± 35 ppm. Laitevalmistajan mittausalue on huomattavasti MIRAN:n aluetta laajempi ja suuresta mittausalueesta johtuen valmistaja on asettanut mittaasepävarmuuden huomioksi + 5% lukemasta. Molempien valmistajien hiilidioksidin mittausalueet ovat kuitenkin normaaliin sisäilman olosuhteiden seurantaan nykyisillä raja-arvoilla täysin riittävät, toimenpiderajana Suomessa pidetään 1150 ppm asumisterveysasetuksen mukaisesti. Rotronic:n laajalle mittausalueelle hiilidioksidin osalta käyttöalueet voivat löytyä esimerkiksi teollisuudesta, jossa halutaan tarkkailla erittäin korkeiden hiilidioksidipitoisuuksien alueita. Yhteenvetona voidaan todeta mittatarkkuuksien olevan erittäin lähellä toisiaan perinteisten mittalaitteiden ja tarkastellun langattoman dataloggerin välillä, ja molempien laitteiden mittatarkkuudet sekä -alueet soveltuvat olosuhteiden seurannan toteuttamiseksi hyvin.

5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Tutkimuksessa havaittiin selkeitä hyötyjä MIRAN DLS -järjestelmän käytöstä ja sen hyödyntäminen olosuhdeseurannassa sekä esimerkiksi kuntotutkimuksissa on varteen otettava vaihtoehto. Järjestelmän käytön parhaat edut tulevat ilmi suuremmissa tutkimuskonaisuuksissa, jossa tutkittavan tila on laaja ja mittalaitteita tarvitaan paljon tai mikäli tutkittava kohde sijaitsee kaukana, jolloin tulosten lukeminen etänä vähentää matkustamiseen kuluva työaika. Keskusyksikköön on mahdollista liitä kerralla yhteensä 16 lähetintä. Tällöin kootusti keskusyksikön kautta kerätty data helpottaa tutkimuksen suorittamista perinteisiin mittaustekniikoihin verrattuna huomattavasti. Laitteiston parhaimmiksi ominaisuuksiksi havaittiin selkeästi asentamisen helppous, jonka mahdollistaa langattomuus ja akku-/paristokäyttöiset laitteet, jotka eivät tarvitse erikseen verkkovirtaa. Lisäksi laitteiston yksi selkeä vahvuus on pitkäaikaisten jatkuvien mittausten toteuttamisessa, kun kyseessä on kuukausia tai vuosia kestävä mittaukset, mutta tällöin tulee huomioida akku-/paristokäyttöiset lähettimien varauksen tarkistaminen ennen mittauksen toteuttamista tai suorittaa tutkimuksen aikana varausten jännitteiden tarkistus.

Etäluettavan langattoman dataloggerijärjestelmän mittaustulosten seuranta onnistuu kätevästi verkkopohjaiselta selaimelta ja käyttöympäristöön voidaan luoda useampia käyttäjätilejä, sekä tarvittaessa jakaa tulosten katselu oikeus esimerkiksi asiakkaalle tai rakennuksen käyttäjille, joka lisää tutkimusten avoimuutta.

Laitteisto on turkulaisen mittaustekniikkaan erikoistuneen vuonna 1989 perustetun Pietiko Oy:n kehittämä ja tuottama, joka aloitti tuotekehitys- ja tuotantotoiminnan reilu kolme vuotta sitten. Yrityksen vahva tuntemus ja osaaminen mittaustekniikasta näkyvät MIRAN laitteiston käytettävyydessä ja se on vahvasti suunniteltu sekä toteutettu vastaamaan asiakkaiden toiveita ja tarpeita. Laitteistoon on jo nyt saatavilla runsaasti erilaisiin mittaustarpeisiin soveltuvia lähettimiä ja lisätarvikkeita, joita kaikkia ei tässä tutkimustyössä testattu tai tarkasteltu. Pietiko Oy:n on tarkoitus jatkossakin kehittää ja parantaa MIRAN DLS -järjestelmän käytettävyyttä jatkuvasti, tästä syystä yritys tekeekin aktiivisesti yhteistyötä eri asiantuntija yritysten ja korkeakoulujen kanssa. Tämän opinnäytetyön aikana havaitut huomiot ja kehitysmahdollisuudet luovutetaan yrityksen käytettäväksi.

Tutkimuksen aikana havaitut järjestelmän heikkoudet ja kehittämis- mahdollisuudet olivat signaalin kantavuus monimutkaisissa massiivirakenteisissa kiinteistöissä ja järjestelmän laitteiden virran hallinnassa, sillä keskusyksikkö tarvitsee toimiakseen verkkovirtaa

ja lähettimet toimivat vaihdettavilla paristoilla. Tutkimusten aikana selkeäksi puutteeksi havaittiin lähettimien signaalin ja lähettimien akku-/paristojen latauksen tason tarkistettavuuden vain keskusyksiköstä eli järjestelmän kokonaisvaltaisen toiminnan tarkistaminen etänä pilvipalvelimelta ei onnistu. Kehittämiseksi jatkossa keskusyksikön näytön heijastaminen eli niin kutsuttu mirror-link-näkymän saatavuus pilvipalvelimelle tai erillinen välilehti, josta keskusyksiköstä tarkistettavat tiedot olisivat selkeästi nähtävillä ja virta tason laskiessa ennakoivan varoituksen ilmoittaminen käyttäjälle hyvissä ajoin, jotta virtalähde voidaan vaihtaa tai ladata. Lisäksi heikkoudeksi havaittiin pilvipalvelun tiedonhallinta, jos pilvipalvelun ylläpito pidetään laitevalmistajan ylläpitämällä palvelimella ja tällöin myös tietoturva ja salassapito on vaikeammin hallittavissa, varsinkin suurimmilla yrityksillä on tarkat tietoturva ohjeistukset ja laitteiston hankinnan kriteeriksi saattaa muodostua myös tiedon hallinnan luotettavuus. Pietiko Oy:n edustajat tarjoavat myös mahdollisuutta pilvipalvelun omaan ylläpitoon, joka osaltaan poistaa edellä mainittuja heikkouksia datan hallittavuuden ja tietoturvan kanssa. Järjestelmän laitteet toimivat lähettimien osalta paristokäyttöisesti ja keskusyksikkö verkkovirralla, mutta se on myös varustettu akulla ylläpitoa varten. Kehitysehdotuksena järjestelmän täysin langattomaksi toteuttaminen, jolloin koko järjestelmä toimisi ilman verkkovirtaa ja laitteiston varustaminen täysin akkutekniikalla, johon voisi kehittää esimerkiksi lataustelakan useammalle lähettimelle kerrallaan. Tutkimuksen aikana pohdittiin myös mahdollisuutta virran saatavuuteen ja laitteistoon voisikin jatkossa kehittää ns. varavirtalähteen eli lisäakun, jolla voitaisiin jatkossa tarvittaessa antaa virtaa kesken mittausjakson havaituille akuille, joista virta on vähenemässä ja tällöin mittausta ei tarvitse keskeyttää. Varavirtalähde toimisi samalla myös keskusyksikön virtalähteenä, jos laitteisto päätetään kehittää täysin langattomaksi. Varavirta-akulla lisävarusteena saavutettaisiin virran saannin helppous, joka ei vaikuttaisi kuitenkaan esimerkiksi lähettimien kokoluokkaan, sillä lataus tapahtuisi johdon välityksellä.

Opinnäytetyön laitteiston tutkimusvaiheessa ei tarkasteltu laadullisesti mittaustarkkuuksia tai tulosten luotettavuutta, sillä tutkimusrajattiin kattamaan laitteistoon tutustumisen ja sen ominaisuuksien, sekä mahdollisuuksien tarkasteluun. Esimerkkikohteessa suoritettuja mittaustuloksia ei käytetty kiinteistön tai sen sisäilman tilan analysointiin, vaan ainoastaan mittalaitteiston laitteiden käytön ja toiminnallisuuden arviointiin, sekä mittaustulosten luotettavuuden arviointiin pilvipalvelimelta. Mittatarkkuuden ja -alueen vertailu toteutettiin kuitenkin olosuhdeanturin osalta valmistajien ilmoittamien arvojen avulla teoreettisella tasolla. Mittatarkkuuden vertailun yhteenvetona voidaan todeta mittatarkkuuksien olevan erittäin lähellä toisiaan perinteisten mittalaitteiden ja tarkastellun

langattoman dataloggerin välillä, ja molempien laitteiden mittatarkkuudet sekä -alueet soveltuvat olosuhteiden seurannan toteuttamiseksi hyvin.

Tutkimuksen aikana oli erittäin mielenkiintoista päästä tutustumaan moderniin etäluettavaan langattomaan dataloggerijärjestelmän mahdollistamaan mittaustekniikkaan ja verrata sitä omakohtaisiin vuosien aikaan hankittuihin kokemuksiin mitta- ja tutkimuskokemuksiin perinteisemmällä laitteistolla, sekä pohtia ja vertailla näiden laitteistojen eroavaisuuksia käytännön mittaustyössä. Tutkimuksessa saatu tieto etäluettavan langattoman dataloggerijärjestelmän mahdollisuuksista osana sisäilmaolosuhteiden mittausta tarjosivat korvaamatonta tietoa tutkimustyön tekijälle, mutta myös työnantajana toimivalle yritykselleni Sitowise Oy:lle. Toimin itse työssäni Turun toimipisteemme korjausrakentamisen tutkimus ja tarkastustoiminnan ryhmäpäällikkönä sekä rakennusterveysasiantuntijana. Työssämme tarjoamme monipuolisia kiinteistöjen kunnon tutkimiseen ja seurantaan liittyviä palveluita, joissa jo nyt käytetään monenlaisia mittalaitteita tutkimusten apuna. Etäluettavien ja langattomien antureiden toiminnan hyödyntäminen jatkossa tutkimustyössä tyyppisessä työssä tulee lisääntymään ja haluamme olla mukana tämänkin palvelun tarjoamisessa, sekä ennen kaikkea ymmärtää ja tutkia näillä saavutettavia konkreettisia hyötyjä myös asiakkaana toimiville työn tilaajille. Yrityksemme palvelee asiakkaitamme Suomessa kahdellakymmenellä paikkakunnalla ja työllistää jo lähes 1700 asiantuntijaa, tämän opinnäytetyön avulla saadut kokemukset ja laitteiston mahdollisuudet jaetaan yrityksen sisällä toimivien tutkijoiden kanssa, sekä jatkossa hyödynnetään laiteinvestointeja tehtäessä.

Haluan kiittää opinnäytetyöni toteuttamisen tukemisesta ja siihen osallistumisesta seuraavia tahoja: Pietiko Oy:n toimitusjohtaja Sami Pietilää ja yrityksen tuotekehittelystä sekä myynnistä vastaavaa Riku Lindströmiä yhteistyöstä ja laitteiston koekäytön mahdollistamisesta osana tutkimusta, sekä laitteiston käyttöön opastamisesta. Opinnäytetyöni toteutus ja YAMK-opintojen suorittaminen ei olisi onnistunut ilman työnantajani Sitowise Oy:n ja esimieheni Joni Avikaisen tukea. Lisäksi haluan antaa erityiset kiitokset avopuolisolleni opiskeluissa tukemisessa ja kannustamisessa, sekä kiitos myös kaikille muille, jotka olette tukeneet ja auttaneet minua opintojeni eteenpäin saattamisessa. Yksin tästäkään projektista ei olisi selvitty, kiitos.

Lähteet

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/25.4.2016.

Baumed Oy 2019. Jatkuva toiminen olosuhdeseuranta. <<https://www.baumed.fi/sisailmatutkimukset/jatkuvatoiminen-olosuhdeseuranta/>>. Viitattu 14.8.2019.

Hengityслиitto 2019. Sisäilman kosteus ja lämpötila. <<https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila/>>. Viitattu 12.8.2019.

Ilmatieteen laitos 2018. Kasvihuonekaasujen pitoisuudet. <<https://ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-pitoisuudet>>. Viitattu 5.8.2019.

Ilmatieteen laitos 2019. Ilman kosteus. <<https://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>>. Viitattu 6.8.2019.

Kuivaketju10 2019. Mikä on Kuivaketju10. <<http://kuivaketju10.fi/>>. Viitattu 15.8.2019.

Maankäyttö ja rakennuslaki 132/5.2.1999.

Maankäyttö ja rakennuslaki 41/17.1.2014.

Maankäyttö ja rakennuslaki 958/21.12.2012.

Optiplan 2017. Strand Business Park – Turku. <<https://optiplan.fi/arkkitehtuuri/strand-business-park/>> Viitattu 11.8.2019.

Pietiko 2019. Langattomat dataloggerijärjestelmät. <<https://www.pietiko.fi/kauppa/dataloggerit/langattomat-dataloggerijarjestelmat/>>. Viitattu 1.8.2019.

Pietiko Oy 2019. Hiilidioksidipitoisuus sisäilmanlaadun mittarina. <<https://www.pietiko.fi/mittaustietoa/hiilidioksidipitoisuus-sisailman-laadun-mittarina/>>. Viitattu 3.8.2019.

Rakennustieto 2003. RT 07-10805 TERVEEN TALON TOTEUTUKSEN KRITTEERIT Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle.

Ramirent 2016. Olosuhdevalvonta vähentää rakennusten kosteusvaurioita. <<http://www.mynewsdesk.com/fi/ramirent/news/ramismarttm-olosuhdevalvonta-vaehentaae-rakennusten-kosteusvaurioita-162100>>. Viitattu 7.8.2019.

Rotronic 2019. CP11 - Handheld Instrument for CO₂, Humidity and Temperature. <<https://www.rotronic.com/en/cp11.html>>. Viitattu 20.8.2019.

Sisäilmayhdistys ry 2007. Kemialliset epäpuhtaudet. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>>. Viitattu 4.8.2019.

Sisäilmayhdistys ry 2008. Kosteuslähteet. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>>. Viitattu 4.8.2019.

Sisäilmayhdistys ry 2009. Terve Talo -kriteerit. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Terve-Talo-kriteerit>>. Viitattu 11.8.2019.

Sisäilmayhdistys ry 2019. Perustietoa sisäilmasta - terveysvaikutukset. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Terveysvaikutukset>>. Viitattu 31.7.2019.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/15.5.2015

Stig Wahlström 2019. 6BE7000 Beck – Rekisteröivä paine-eromittausjärjestelmä. <<https://www.swoy.fi/tuote/6be7000-beck-rekisteroiva-paine-eromittausjarjestelma/>>. Viitattu 12.8.2019.

Suomen kuntaliitto 2015. Sisäilmasto ja energiatehokkuus SE 5 -projekti. <https://www.shop.kuntaliitto.fi/download.php?filename=uploads/sisailmasto_ebook.pdf>. Viitattu 8.9.2019.

Tekeville 2008. Ilman kosteus. <<http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>>. Viitattu 8.8.2019.

Valvira 2018. Sisäilman kemikaalit. <<https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit>>. Viitattu 31.7.2019.

Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Tu-
renki: Hansaprint Oy.