

**OLOSUHDEMITTAUSJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN
MUSEOVIRASTOSSA**



Ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Teknologiaosaamisen johtaminen

Kevät, 2023

Esa Saarela

Tekijä Esa Saarela

Vuosi 2023

Työn nimi Olosuhdemittausjärjestelmän kehittäminen Museovirastossa

Ohjaaja Pasi Laine

TIIVISTELMÄ

Olosuhdemittauksia Museoviraston kohteissa tehdään kokoelmille ensisijaisesti konservaattoreiden toimesta. Aiemmin käytössä on ollut monia olosuhteiden seurantatapoja, mutta nyt koettiin, että olisi ajankohtaista yhdenmukaistaa ja päivittää mittaustapaa uuden järjestelmän avulla.

Työn tavoitteena oli löytää konservaattoreiden käyttöön nykyaikainen ja soveltuva olosuhdemittausjärjestelmä, joka tuottaisi tarvittavan tiedon, ollen samalla kustannustehokas. Työn lähtökohtana on ollut opinnäytetyöntekijän oma asiantuntijatyö Museovirastossa. Museovirasto on kulttuuriperinnön asiantuntija, palvelujen tuottaja, toimialansa kehittäjä ja viranomaisen tehtävään kartuttaa, hoitaa ja esitellä kulttuurihistoriallista kansallisomaisuutta, sekä tallentaa, tuottaa ja välittää tietoa.

Tutkimuksen johtopäätöksenä löydettiin toimivin vaihtoehto olosuhdemittausjärjestelmälle, jonka avulla kokoelmien hallinnointi helpottuu, historiatiedon kerääminen mahdollistuu, ja joka mahdollistaa reaaliaikaiset hälytykset olosuhteiden raja-arvojen ylittyessä. Tutkimustulosten avulla saadaan aikaan kustannussäästöjä, joka oli yhtenä päätavoitteista.

Avainsanat Olosuhdemittaus, LoRaWan, museo

Sivut 72 sivua, joista liitteitä 3 sivua

Author Esa Saarela

Year 2023

Subject Development of a Climate Measurement System at the Finnish Museum Agency

Supervisor Pasi Laine

ABSTRACT

Condition measurements at the sites of the Finnish Museum Agency are carried out for the collections primarily by conservators. In the past, there have been many methods of monitoring conditions, but now it was felt that it would be timely to harmonise and update the measurement method with the help of a new system.

The aim of the work was to find a modern and suitable condition measurement system for conservators that would produce the necessary information, while being cost-effective. The starting point for the work has been the thesis worker's own expert work at the Finnish Museum Agency. The Finnish Museum Agency is an expert in cultural heritage, a service provider, a developer of its field of activity and an authority with the task of accumulating, managing and displaying cultural-historical national assets, as well as storing, producing and transmitting information.

The study concluded that the most functional alternative to a condition measurement system was found, which makes it easier to manage collections, enables the collection of historical data, and enables real-time alarms when the limit values of conditions are exceeded. The results of the study will lead to cost savings, which was one of the main objectives.

Keywords environmental measurement, LPWAN, museum

Pages 72 pages and appendices 3 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	Museovirasto	1
1.2	Tausta	1
1.3	Tavoite	1
1.4	Aiherajaus	2
1.5	Tutkimusasetelma	2
1.6	Työn rajaaminen	3
1.7	Tutkimuksen rajoitukset	3
1.8	Lähdeaineisto	4
2	Olosuhteiden merkitys kokoelmille	6
2.1	Museoiden olosuhdemittausten historia	6
2.2	Aiemmat mittaustavat ja -järjestelmät Museovirastolla	9
2.3	Museovirastossa mitatut olosuhdesuureet	13
2.3.1	Ilmankosteus	15
2.3.2	Lämpötila	16
2.3.3	Ilman epäpuhtaudet	18
2.3.4	Valaistus	19
2.3.5	Paine-ero	20
2.3.6	Kastepiste	21
2.3.7	Ilmanlaatumittaukset	21
2.4	Museoviraston olosuhdestrategia	23
3	Kyselytutkimus	24
3.1	Kyselyn kysymykset ja vastaukset	25
3.2	Kyselytulosten analysointi	43
4	Olosuhdemittausjärjestelmän SWOT -analyysi	46
4.1	Vahvuudet	47
4.2	Heikkoudet	47
4.3	Mahdollisuudet	48
4.4	Uhat	48
4.5	Menestystekijät	49

4.6	Heikkouksiin reagoiminen.....	49
4.7	Uhkatekijöihin reagoiminen.....	50
4.8	Kriisitilanteet	50
4.9	SWOT -analyysin tulosten analysointi.....	51
5	Mittausjärjestelmän valinta kokoelmien olosuhdeseurantaan	51
5.1	LPWAN -tiedonsiirtotekniikat vertailussa	52
5.1.1	NB-IoT.....	52
5.1.2	LoRa	53
5.1.3	Sigfox	55
5.2	Tiedonsiirtotekniikan valinta	55
5.3	Mittausjärjestelmän toimittajan valinta	58
5.4	Mitattavat suureet ja antureiden valinta.....	59
5.5	Käyttöliittymä.....	62
6	Johtopäätökset	63
7	Pohdinta	70
	Lähteet.....	72

Liitteet

- Liite 1 Webropol - olosuhdemittausjärjestelmistä kehittämiskysely
- Liite 2 8 -kenttäinen SWOT -analyysi

Yleisimmät käsitteet

olosuhde	Ympäristössä vaikuttavat fyysiset ja kemialliset tekijät, kuten lämpötila, ilmankosteus, valaistus ja ilmanlaatu
LPWAN	Low-Power Wide-Area network tarkoittaa matalatehoista laajan alueen verkkoa
IoT	Internet of Things tarkoittaa laitteiden ja esineiden internetiä, jossa ne kykenevät lähettämään ja vastaanottamaan tietoa. Toteutus yleensä Wifi-, Bluetooth- tai LoRaWan -tiedonsiirtotekniikalla
konservaattori	Kulttuuriomaisuuden eli esimerkiksi museoesineiden tai muun kulttuurihistoriallisen omaisuuden säilyttämisestä ja hoitamisesta vastaava
Webropol -kysely	Verkkopohjainen ohjelmisto, joka mahdollistaa kyselyiden luomisen, jakamisen ja analysoinnin
SWOT -analyysi	Strategisen suunnittelun työkalu, jota käytetään arvioimaan yrityksen tai organisaation vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia
LoRa	LoRa eli Long Range on yksittäinen modulaatioratkaisu, jota päätelaitteet ja reitittimet käyttävät kommunikoidessaan keskenään
ilmankosteus	Ilmassa olevan vesihöyryn määrä
RH	Relative humidity eli suhteellinen kosteus on suure, jolla ilmoitetaan todellisen ilmankosteuden ja kyllästyskosteuden välinen suhde tietyssä, tulos ilmoitetaan prosenttiyksiköinä (%)
kyllästyskosteus	Kosteustaso, jonka ilma voi maksimissaan sitoa itseensä vettä tiivistymättä pinnoille

1 Johdanto

1.1 Museovirasto

Museovirasto on kulttuuriperinnön asiantuntija, palvelujen tuottaja, toimialansa kehittäjä ja viranomainen. Se kartuttaa, hoitaa ja esittelee kulttuurihistoriallista kansallisomaisuutta, tallentaa, tuottaa ja välittää tietoa. (Museovirasto, n.d.)

Museovirasto vastaa kulttuurihistoriallisesti arvokkaan ympäristön, arkeologisen kulttuuriperinnön ja rakennusperinnön sekä kulttuuriomaisuuden suojelusta yhdessä muiden viranomaisten ja muun museolaitoksen kanssa. Se myös kartuttaa ja esittelee kulttuurihistoriallista kansalliskokoelmaa, tutkii aineellista kulttuuriperintöä sekä tukee ja kehittää museoalaa valtakunnallisesti. (Museovirasto, n.d.)

Museovirasto tarjoaa monipuolisia, jatkuvasti kehittyviä palveluita kaikille kansalaisille. Virasto toimii opetus- ja kulttuuriministeriön alaisuudessa. (Museovirasto, n.d.)

1.2 Tausta

Olosuhdemittauksia tehdään Museoviraston kokoelmille ensisijaisesti konservaattoreiden toimesta. Aiemmin käytössä on ollut monia olosuhteiden mittaustapoja, mutta nyt koettiin, että on ajankohtaista yhdenmukaistaa ja päivittää mittaustapaa uuden järjestelmän avulla. Samalla on mahdollisuus laajentaa sitä luomaan entistä parempi kokonaiskuva kokoelmatilojen olosuhteista eri toimipisteissä. Tiedossa on, että osa kokoelmatiloista on niin suuria, että jo tilan sisällä olosuhteet vaihtelevat. Uuden ja kustannustehokkaamman järjestelmän mahdollistavien lisämittausten avulla ilmiötä on mahdollista tutkia tarkemmin.

1.3 Tavoite

Työn tavoitteena on löytää konservaattoreiden käyttöön nykyaikainen olosuhdemittausjärjestelmä, joka tuottaisi riittävästi tietoa kokoelmien seuraamiseen, ollen samalla myös kustannustehokas. Tärkeinä tutkimuskohteina opinnäytetyössä pidetään

kokemuksien ja toiveiden keräämistä käyttäjiltä kyselyn avulla, sekä arvioidaan järjestelmää asiantuntijoiden kanssa 8 -kenttäisen SWOT- analyysin avulla. Analysoinnin ohessa tutustutaan olemassa oleviin kustannustehokkaisiin LPWAN -tiedonsiirtotekniikoihin, valitaan niistä tarpeeseen sopivin ja sille järjestelmätoimittaja.

1.4 Aiherajaus

Aihe rajataan koskemaan teoreettiselta osuudelta olosuhteiden merkitystä kokoelmille, sekä LPWAN -tekniikkaan pohjautuvan mittausjärjestelmän soveltuvuutta Museoviraston kehitettäviin ja lisääntyviin olosuhdemittaustarpeisiin.

1.5 Tutkimusasetelma

Tutkimusongelma muodostuu seuraavien kysymysten ympärille. Millainen olosuhdemittausjärjestelmä ja -tekniikka olisi sopiva Museoviraston konservaattoreille kokoelmien olosuhdeseurantaan? Millaisia hyötyjä ja kustannussäästöjä uudella järjestelmällä voidaan saavuttaa? Mitä vahvuuksia, heikkouksia, uhkia tai mahdollisuuksia uuden järjestelmän valinnassa on syytä ottaa huomioon.

Näiden selvittämiseen käytetään ensimmäisenä haastattelututkimusta, jolla kerätään aineistoa asiantuntijoilta opinnäytetyön tietoperustaan. Samalla dokumentoidaan hiljaista tietoa siirrettäväksi uusille henkilöille.

Toisena työkaluna käytetään kvalitatiivista tutkimuskyselyä. Kysely suunnataan konservaattoreille ja kysymykset mietitään mahdollisimman selkeiksi, ja sellaisiksi, että ne antavat mahdollisuuden esittää muita toiveita tai huomioita järjestelmää kohtaan. Kysely pitää sisällään monivalintaisia- ja avoimia kysymyksiä. Kysely järjestetään Webropol Survey & Reporting -työkalulla, joka on Museoviraston valitsema pilvipohjainen ohjelmisto. Haastattelukysymyksissä selvitetään erilaisia tarpeita ja toiveita uudelle järjestelmälle, sekä positiivisia ja negatiivisia kokemuksia aiemmista mittaustavoista. Vastaajia arvioidaan olevan kymmenkunta, joten tulosten käsittely ja analysointi on resurssimielessä helppoa. Aihealue on konservaattoreille niin tuttu, että vastaaminen kysymyksiin tulee sujumaan vaivattomasti.

Kyselyssä vastaajat laitetaan vertailemaan ja painottamaan vastauksissaan järjestelmältä odotettavia ominaisuuksia.

Kolmantena työkaluna toimivan SWOT- analyysin on tarkoitus tehdä riskiarviota uuden järjestelmän hankintapäätöksen tueksi. SWOT -kysely suunnataan konservaattoriryhmälle ja tilapalveluiden asiantuntijaryhmälle. Näistä saatavasta yhteenvedosta tehdään analyysi, joka pohjaa tutkimuksensa ja kehitysajatuksensa olemassa olevaan historia- ja taustatietoon.

Haastatteluilla, kyselyllä ja SWOT-analyysillä saadaan selville, mitä asioita asiantuntijat pitävät tärkeinä, ja mitä vahvuuksia, mahdollisuuksia, heikkouksia ja uhkia uudella kehitettävällä järjestelmällä on.

1.6 Työn rajaaminen

Työssä ei ole tarkoitus analysoida sisäilmaolosuhteita, vaan tutkia tekniikan ja järjestelmän toiminnallisuutta ja käytettävyyttä eri kohteissa. Tarkoituksena ei ole tutkia laajemmin markkinoilla olevia laitteita tai järjestelmiä, vaan saada arvioitua LPWAN -tekniikan sopivuutta ja hyötyjä olosuhdemittausten tiedonsiirtoon, sekä valita soveltuva järjestelmätoimittaja.

1.7 Tutkimuksen rajoitukset

Tutkimuksessa tarkastellaan aiempien olosuhdemittausjärjestelmien toimivuutta ja toiveita uuteen järjestelmään liittyen ennen kaikkea konservaattorien näkökulmasta. Kysely on siksi suunnattu pelkästään heille. Haastattelut pyritään kohdentamaan kokeneisiin asiantuntijoihin, joilla on pitkä kokemus olosuhdemittauksista ja olosuhteista ylipäätään. SWOT -analyysissä mukana on konservaattoreiden lisäksi tilapalveluiden asiantuntijoita.

Hyvin palveleva järjestelmä vaatii hyvää yhteistyötä järjestelmätoimittajan ja käyttäjien välillä. Tärkeinä työkaluina tällöin ovat järjestelmän muokkaamiset, kehitysprojektit ja uusien ominaisuuksien lisääminen käyttäjien toiveiden mukaisesti. Tähän tutkimukseen ei saada aikataulullisista syistä mukaan noita elementtejä muuten kuin lähtötilanteen osalta.

Järjestelmä saattaa sopia työkaluksi esimerkiksi huoltohenkilöstölle, mutta sen tutkiminen rajataan tässä työssä pois. Tutkimus olisi mahdollista toteuttaa erilaisilla tutkimusmenetelmillä ja otannoilla, jolloin tuloksetkin saattaisivat erota jonkin verran valituilla menetelmillä saatavista, mutta näihin päädyttiin, jotta käyttäjiltä saataisiin kerättyä mahdollisimman hyvin toiveita ja järjestelmän riskit voitaisiin huomioida mahdollisimman tarkasti.

1.8 Lähdeaineisto

Opinnäytetyö tehdään uuden olosuhdemittausjärjestelmän hankinnan tueksi ja hiljaisen tiedon keräämiseksi. Opinnäytetyön tekijän kollegoina toimii kolme Museoviraston tilapalveluiden asiantuntijaa, joiden kanssa yhteistyössä aihetta käsitellään säännöllisesti. Heidän kanssaan asiaa tarkastellaan hallinnollisesta ja taloudellisesta näkökulmasta, mutta lisäksi heiltä löytyy teknistä osaamista olosuhteiden hallintaan ja mittaamiseen runsaasti. Muilta osin tilapalveluiden asiantuntijat osallistuvat SWOT -analyysin tekemiseen ja heille annetaan mahdollisuus opinnäytetyön asiasisällön lukemiseen ja kommentoimiseen työn aikana.

Lähtötilanne kartoitetaan haastattelemalla esine- ja rakennuskonservaattoreita, samalla selvitetään heidän käytäntöjään, mittaustoiminnan historian eri vaiheita ja tallennetaan hiljaista tietoa. Haastatteluissa pyritään alustavasti saamaan heikkoja signaaleja siitä, mihin asioihin uudessa järjestelmässä tulisi kiinnittää huomiota. Tätä tietoa pystytään hyödyntämään muun muassa Webropol -kyselyä laadittaessa. Kustannus- ja sopimusasioihin on mahdollista saada tietoa tilapalveluiden edustajilta, jotta ne pystytään huomioimaan järjestelmää valittaessa.

Tietoperustan pohjalta halutaan löytää vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Millainen vaikutus olosuhteilla on museokokoelmille?
- Millainen historia olosuhdemittauksilla on kansainvälisesti ja Museoviraston osalta?
- Mitä olosuhdesuureita Museovirastossa on aiemmin mitattu?

- Millainen on Museoviraston olosuhdemittausten strategia ja sen asettamat vaatimukset uudelle olosuhdemittausjärjestelmälle?

Kirjallisuudesta lähdeaineistoksi tietoperustaan valitaan alan merkittävimpiä teoksia, joita käytetään konservattorikoulutuksessa edelleen, vaikka niiden julkaisusta on jo kulunut aikaa, sillä perusasiat ovat pysyneet kuitenkin samoina. Tällaisia ovat esimerkiksi Lontoon Kansallisgallerian tieteellisen neuvonantajan Garry Thomsonin 1978 julkaisema kirja museoiden olosuhdehallinnan vaatimuksista. Siitä tulikin alalle teos, jota käytetään tietolähteenä konservattori -koulutuksessa edelleen.

Toinen merkittävä teos on May Cassarin teos *Guidelines for Museums and Galleries*, johon hän on kerännyt laajalti aineistoa Iso-Britannian museoista monilta asiantuntijoilta. Hän on taustaltaan konservattori, joka on täydentänyt osaamistaan olosuhdesuunnittelun ja kiinteistötekniikan osalta. (Cassar, 1995, s. xiii). Garry Thomson ja May Cassar ovat molemmat alansa arvostettuja asiantuntijoita kansainvälisesti ja niihin on koottu laajasti olosuhteisiin ja olosuhdestrategiaan liittyviä asioita.

Tietoperustassa käytettäviä julkaisuja peilataan noihin lähteisiin ja täydennetään Museoviraston viimeisimmällä julkaisulla *Opas paikallismuseoiden hoitoon*. Lisäksi käytetään kotimaisella ja kansainvälisillä foorumeilla julkaistuja tutkimusmateriaaleja olosuhteiden hallinnasta ja -mittauksesta lähdekritiikkiä ja opinnäytetyön ohjeistusta noudattaen.

LPWAN -tekniikoista tietoa ja vertailuja on saatavana sähköisessä muodossa muun muassa Digitalta, opinnäytetöistä sekä eri tekniikoiden kehitysyhteisöjen portaaleista. Näistä lähtökohdista on tarkoitus muodostaa kuva olosuhdemittausten historiasta ja nykytilasta, sekä luoda näkemystä tuleviin mittaustarpeisiin.

Opinnäytetyön tekijänä haluan kasvattaa tietämystäni olosuhdehallintaan ja mittaamiseen liittyen, jotta voin olla mukana jatkokehittämässä olosuhdemittaustoimintaa. Tekniikan parissa työskennelleenä, monet asiat mittaamiseen liittyen ovat minulle melko tuttuja, mutta museoympäristössä toimiminen ja kokoelmien säilymisen näkökulmasta asioiden katsominen on uutta.

2 Olosuhteiden merkitys kokoelmille

Olosuhteet ovat merkittävin tekijä kokoelmien säilyvyydelle ja siksi niiden hallinnointi ja seurantamittaukset ovat erittäin tärkeitä asioita. Mittaustiedot antavat konservaattoreille tietoa millaisia olosuhteita esineisiin on kohdistunut ja millaisia konservointi- tai restaurointitarpeita ne vaativat. Kokoelmia pyritään säilyttämään olosuhdevalvotuissa tiloissa. (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023)

Mitä vähemmän muutoksia, ja mitä hitaampia muutokset olosuhteiden osalta ovat, sitä todennäköisemmin kokoelmat säilyvät vahingoittumattomina. Esineiden siirtelyssä pitäisi huomioida suunnitelu siten, että siitä seuraisi olosuhteiden muutoksia mahdollisimman vähän. Mitä nopeampi muutos olosuhteissa on, sitä suurempia vaikutukset esineille ovat. (Cassar, 1995, s. 16)

Ilmankosteuden ja lämpötilan lisäksi valaistuksella ja ilman epäpuhtauksilla on merkittävä vaikutus esineiden säilyvyyteen (Thomson, 1986, s. 43).

Olosuhteita määritettäessä on tärkeää ottaa huomioon näyttely-, varastointi- tai pakkausmateriaalit, sillä niidenkin tulee olla validoituja ja soveltuvia käyttöön (Cassar, 1995, s. 16).

2.1 Museoiden olosuhdemittausten historia

Museoiden sisäilman kosteusolosuhteita on muokattu ilmanvaihtoteknisillä laitteilla esineistön säilyvyyden parantamiseksi jo yli 100 vuoden ajan. Keskuslämmitysjärjestelmien yleistyttyä havaittiin, että orgaaninen esineistö kuivui, ja alkoi halkeilla liian alhaisessa ilman suhteellisessa kosteudessa. Jos taas kosteus oli liian suuri esineistö turposi, homehtui ja hajosi vesipohjaisten liimausten irtoillessa. Epäorgaaniset materiaalit kuten metalliesineet taas ruostuivat jo melko alhaisissakin suhteellisissa kosteuksissa. Voitiinkin todeta, että vääränlaiset säilytysolosuhteet johtivat esineiden vaurioitumiseen tai tuhoutumiseen. Esineet voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin, sekä niihin, jotka koostuvat sekamateriaaleista ja niillä kaikilla on materiaaleina on omat ominaisuutensa. Tästä johtuen

oikeat säilytysolosuhteet vaihtelevat materiaaleittain. (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023)

Yksi ensimmäisistä kostutusjärjestelmistä asennettiin 1908 Bostonin taidemuseoon. Sen tarkoitus ei ollut vain kostuttaa näyttelytiloja, vaan myös poistaa ilmasta epäpuhtauksia, joita kaupunki ilmaan kertyi etenkin lämmityskaudella savun muodossa. Kahden vuoden kokemusten jälkeen taidemuseo totesi, että paras suhteellinen kosteus esineiden säilymiseksi on 55 – 60 %RH. Huomionarvoista on, että tuohon aikaan sisäilman lämpötila museoissa oli vain noin 13 °C, joten kosteusarvo oli talvisinkin melko helposti saavutettavissa. Erityisen haastaviksi säilytettäväksi koettiin puusta tehdyt esineet, jotka halkesivat herkästi ilmankosteuden päästyä liian matalaksi. Vuosikymmenten aikana kokemukseräisen tiedon määrä karttui, kiinteistötekniikka kehittyi ja uusia ohjeita päivitettiin. (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023)

Tasaisten ilmankosteusarvojen todelliset hyödyt säilytyksessä tuli esiin toisen maailmansodan aikana, kun Lontoon Kansallisgallerian teokset vietiin pommituksilta turvaan Walesissa oleviin luoliin. Luolissa oli luonnostaan tasainen ja viileä lämpötila, mutta kosteus oli lähellä 100 %RH. Esineiden siirto tällaisiin tiloihin olisi aiheuttanut nopeasti sen, että taulut olisivat homehtuneet ja liimaukset irronneet. Suhteellista kosteutta päätettiin laskea yksinkertaisesti lämmittämällä tilaa. Lämpötilaa säätelemällä kosteus saatiin pysymään tasaisena ja oikealla alueella, ja huomattiin, että lämpötilalla ei ollut kovinkaan suurta merkitystä säilyvyyteen. Puiset taulut, joita oltiin jouduttu kunnostamaan aiemmin vuosittain, havaittiin niin hyväkuntoiseksi, että niiden konservoinnin tarve väheni ja poistui lähes kokonaan. Sodan jälkeen maalaukset palautettiin takaisin Lontoon museoon, ja halkeamisepidemia alkoi heti. Tämä havainto johti päätökseen kansallisgallerian ilmastointilaitteiston uusimisesta pian sodan päätyttyä. Toisen maailmansodan jälkeen museomaailmalle määräytyi tavoitearvoksi 58 %RH. Se ei perustunut muuhun kuin kokemukseräisen arvioon siitä, millaiset olosuhteet Walesin luolassa olivat vallinneet. (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023)

1950- ja 1960 -lukuilla kehitettiin tuotantokäyttöön ensimmäiset jäähdyttimet, joilla absorptiotekniikkaan perustuen voitiin ilmaa myös kuivattaa. Tuolloin huomattiin sekin

seikka, että näyttelylaineissa siirron yhteydessä olosuhteiden muuttuivat ja aiheuttivat esineille todellisen riskin. Samoin huomattiin, että talviaikaan suhteellisen kosteuden pitäminen 50 - 65 %RH prosentissa oli aiheuttanut kylmillä alueella isoja kondenssi ongelmia esineille ja rakennuksille. Ilmankosteustason laskua 40 - 50 %RH pidettiin sen takia välttämättömänä. (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023)

Garry Thomsonin teos käsitteli olosuhteita hyvin perinpohjaisesti ja todisti eri materiaalien osalta mitä raja-arvoja ja vaihteluvälejä suhteelliselle kosteudelle pitäisi asettaa. Yleispätevä ohje oli, että ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla 50 - 55 %RH. Hänen ajatuksensa oli myös, että museoiden, jotka koostuvat paikallisista esineistä, tulisi olla olosuhdehallinnaltaan lähellä paikallista suhteellisen kosteuden vuotuista keskiarvoa. Tällöin esineistö on jo sopeutunut kyseisiin olosuhteisiin ja olosuhteiden ylläpitäminen niille on kaikkein kustannustehokkainta toteuttaa. (Thomson, 1986, s. 89)

1980 -luvulla tutkittiin paljonko vaihtelua eri esineryhmät sietävät vahingoittumatta ja määritettiin, että kokeiden perusteella 50 ± 15 %RH on yleisesti turvallinen raja orgaanisille materiaaleille lämpötilan ollessa 20 ± 4 °C. Alle 13 °C ei suositeltu, koska osalla materiaaleista havaittiin haurastumista matalissa lämpötiloissa. Ulkopuolelle jäivät esimerkiksi valokuvamateriaalit, jotka vaativat kylmempiä ja kuivempia tiloja säilyäkseen. (Taylor, T. H., 1996, s. 20)

1990 -luvulla tietokoneohjaukset ja automaatio lisääntyivät, ja tekivät mahdolliseksi entistä tarkemman olosuhdehallinnan ja niiden mittausjärjestelmät. Alkuun järjestelmät tosin olivat vielä hyvin epävarmatoimisia. (Erhardt, 2007, s. 11)

2000 -luvulla automaatio- ja anturitekniikka kehittyi ja alettiin hiljalleen ottamaan mukaan langatonta tiedonsiirtotekniikkaa (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023).

2010 -luvun kehityksessä mukaan tulivat mittaustekniikan pilvipalvelut ja mobiilisovellukset niihin, jolloin voitiin olosuhteiden hallintaa ja mittausta suorittaa ajasta ja paikasta riippumatta (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023).

2020 -luvun alussa on menossa esineiden internetin eli IoT:n vahva esiinmarssi, joka vaatii kehitystä monilla osa-alueilla mahdollistuaan ja skaalautuaan ilman ongelmia. Yhtenä kehitysalueena on tiedonsiirtotekniikoiden kehittäminen energiatehokkaammiksi. Sellaista edustaa LPWAN -tekniikka. (Erno Nolvi, kiinteistöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto 14.2.2023)

Kestävän kehityksen mukaan tulon myötä olosuhteissa kiinnitetään paljon huomiota myös energian kulutuksen vähentämiseen. Ratkaisuksi on löydetty kokoelmien keskittäminen, rakennusten energiatehokkuuden parantaminen, olosuhdearvojen hienosäätäminen runsaasti energiaa kuluttavien toimintojen kuten lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmastointituksen osalta. Tästä on saatu erittäin hyviä tuloksia esimerkiksi Tanskassa sijaitsevan kulttuuriperintökeskus Vejlen kohdalla. Se suunniteltiin varta vasten matalaenergiarakennukseksi erityisesti kokoelmakäyttöön, ja otettiin käyttöön 2013. Sen energiatehokkuus on ICOM-CC, 18th Triennial Conference, 2017 Copenhagen -konferenssissa esitellyn artikkelin mukaan jopa 99% parempi kuin tavallisissa ilmastoiduissa rakennuksissa. (Knudsen, L.R., 2017)

Yksi nykyaikainen tapa toimia energiatehokkaasti on käyttää olosuhdehallituja vitriinejä, jolloin huonetilan olosuhteet voidaan luoda ihmisille sopiviksi ja vitriinien sisällä olosuhteet esineille sopiviksi. Samalla energiaa säästyy, kun olosuhdehallitun tilan tilavuus pienenee.

Museoviraston tehtävä tässä työssä ei ole pelkästään parantaa omien kohteidensa ja esineidensä olosuhteita, vaan seurata kansainvälistä kehitystä ja olla eturintamassa kehittämässä ratkaisuja valtakunnallisesti koko museokentän käyttöön Suomessa. (Museovirasto, n.d.)

2.2 Aiemmat mittaustavat ja -järjestelmät Museovirastolla

Hygrometrit, jotka ovat olleet pääosin mekaanista mallia. Mekaaniset hygrometrit perustuvat kosteuden vaikutuksen seuraamiseen jonkin fyysisen kappaleen koossa tai muodossa. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi hius-, paperi- tai kangashygrometrit. Alla on kuvattu thermohygrografi (kuva 1), jossa vasemmalla puolella pyörii kellon mukaisesti

piirturin rumpu ja siihen piirtää kaksi kynää. Ylempää kynää ohjaa bimetalililiuska lämpötilan mukaan ja alempaa kynää hiukset, jotka venyvät tai kutistuvat ilman kosteuden mukaan. Nämä olivat aiemmin laajalti käytössä, mutta niiden huonona puolena oli jatkuva ja runsas huoltotarve. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

Psykrometri oli toinen käytössä ollut mekaaninen mittari, jonka toimintaperiaate on ehkä vieläkin yksinkertaisempi. Siinä on kaksi lämpömittaria, joista toinen on kuiva ja toisen ympärillä on kostea kangas. Kostea mittaria puhalletaan tuulettimella ja haihtuminen jäädyttää lämpömittaria sitä enemmän, mitä voimakkaampaa se on. Eli mitä pienempi ilman suhteellinen kosteusprosentti on, sitä voimakkaampaa on haihtuminen, ja sitä enemmän lämpötila tuossa mittarissa laskee. Lopputulos on lämpötilaero kahden mittarin välillä, josta saadulla arvolla voidaan katsoa taulukosta ilman suhteellisen kosteuden arvo. Mittaria käytettiin lähinnä yksittäisissä mittauksissa ja esimerkiksi kalibrointien varmistuksessa. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

Kuva 1. Thermohygrografi



Sähköiset hygrometrit perustuvat kosteuden vaikutuksen seuraamiseen jossakin sähköisessä elementissä, esimerkiksi vastuksen tai kapasitanssin muutokseen. Tällaisia on käytetty Museovirastossa jonkin verran. Etenkin Elsec -merkkinen monitoimimittari on ollut käytössä kalibrointi- ja yksittäismittauksissa. Myöhemmin markkinoille tulleet dataloggerit ja sähköiset järjestelmät käyttävät samaa periaatetta kosteuden mittauksessa, vaikka ovat muutoin kehittyneet lisää. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

Dataloggerit olivat seuraava kehitysaskel Museoviraston ilmankosteus- ja lämpötilamittauksissa. Niissä merkittävimpiä asioita olivat pieni koko ja itsenäinen tiedonkeruu vähäisellä huoltotarpeella. Mittauskohteissa oli kuitenkin käytävä lähes kuukausittain keräämässä data tietokoneelle ja lataamassa mittalaitteen virtalähde. Oltiin

siirrytty mittauksissa jo vahvasti tietokoneaikaan aiemmista paperipiirtureista ja käsin kirjoitetuista merkinnöistä. Laite oli TinyTag -nimellä markkinoilla oleva tuote. Myöhemmin dataloggereista on tullut paranneltuja versioita, joihin on lisätty monia uusia ominaisuuksia (kuva 2). (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

Kuva 2. TinyTag -dataloggeri



Mittalaitteiden kehittyessä edelleen seuraava kehitysaskel oli langattomaan tiedonsiirtoon pystyvät dataloggerit. Museoviraston käyttämä järjestelmä dataloggereineen oli FoxerIoT. Se käytti Sigfox -tekniikalla matkapuhelinverkkoa tietojen siirtoon mittauspaikasta mittajalle. Vaikka kyseessä oli laitteen ensimmäisiä sukupolvia, kyseessä oli suuri parannus, joka säästi kustannuksia ja vaivoja aiempaan verrattuna merkittävästi. Enää ei tarvinnut niin usein matkustaa pitkiä matkoja kohteeseen lukemaan mittausdataa vaikkakin haasteena oli monesti lataustarve, ellei kiinteää sähkölähdettä ollut käytettävissä. Toiminta-ajaksi luvattiin jopa vuosia riippuen mittausfrekvenssistä ja matkapuhelinverkon kentän vahvuudesta. Markkinoille oli tullut uusia antureita ja esimerkiksi VOC -mittausmahdollisuus oli käytössä ja sen hyödyllisyyttä päästiin arvioimaan käytännössä. Järjestelmän käyttöliittymä ja sen soveltuvuus tarpeisiin havaittiin tärkeäksi osa-alueeksi ja sitä kehitettiin itse sekä yhdessä toimittajan kanssa. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

Tilanne lähdeettäessä tekemään tätä opinnäytetyötä oli se että aktiivisia TinyTag -mittauksia oli käytössä 68 kpl:tta ja FoxerIoT -mittauksia 63 kpl:tta, ja mittalaitteiden kalibrointivälinä on ollut Museoviraston toimesta noin puoli vuotta. Kalibrointi on ollut varmennustarkastus, jossa toisella mittalaitteella on todettu laitteiden mittatarkkuus. Tuo varmennusmittalaite on tarkastettu säännöllisesti FINAS:n akkreditoimalla tarkastuslaitoksella. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

2.3 Museovirastossa mitatut olosuhdesuureet

Konservaattorireiden ja tutkijoiden vuosien varrella tekemät mittaukset ja havainnot ovat selventäneet suhteellisen kosteuden, lämpötilan ja valon vaihtelun vaikutuksia esineille.

Monitoroimalla olosuhteita on mahdollista saada aikainen varoitus, ennen kuin vahinkoja syntyy ja tunnistaa tekijöitä, jotka epävakauttavat olosuhteita. Tärkeintä on että päätöksenteko eri tilanteissa voidaan perustaa tiedon varaan (Cassar, 1995, s. 53).

Esineiden säilytysolosuhteille on määritetty tavoitearvot materiaaliryhmittäin omaan käyttöön sekä jaettavaksi oppimateriaaliksi paikallismuseoille (kuva 3) (Mattila ym., 2005, s. 210).

Kuva 3. Suomen kansallismuseon museoesineiden käsittely kurssi -oppimateriaali (Mattila ym., 2005, s. 210)

Esineiden säilytysolosuhteet

Esinemateriaali	Lämpötila	Suhteellinen ilmankosteus	Valaistusvoimakkuus
Metalliesineet - rautaesineet, niklatut, kromatut - kupariesineet, kupariyhdiste- ja lyijy-esineet - hopea- ja kultaesineet, korut - aseet - tinaesineet	+16 – +20 °C Yli +13 °C	Alle 30 %RH	Max 300 lx
Keramiikka-, posliini- ja lasiesineet	+16 – +20 °C (tasainen)	30–40 %RH	Max 300 lx
Puuesineet - maalaamattomat - maalatut tai lakatut - kullatut puu- ja kipsiesineet	+18 – +20 °C (tasainen)	45–55 %RH (tasainen)	Max 150 lx
Tekstiilit - pellava ja puuvilla - villa ja silkki - tekokuitutekstiilit	+18 – +20 °C (tasainen)	45–55 %RH (tasainen)	Max 50 lx (säilytys pimeässä)
Nahka ja turkisesineet	Alle +15 °C (säilytystilassa)	45–55 %RH (tasainen)	Alle 50 lx
Taideteokset - kankaalle maalatut öljy- ja temperamaalaukset - puupohjalle maalatut teokset - akvarellit, grafiikka, piirroksiset, pastellit - maalatut ja maalaamattomat puuveistokset	+18 – +20 °C	45–55 %RH (tasainen)	Max 150 lx

2.3.1 Ilmankosteus

Ehkä tärkein mitattava suure olosuhteista on ilman kosteus ja nimenomaan suhteellinen kosteus, sillä väärä ilman kosteus saattaa aiheuttaa suurta vahinkoa esineille.

Suomessa ilmasto on vuodenaikojen mukaan vaihtelevaa kesäisin on lämmintä ja kosteaa, keväisin ja syksyisin kylmän kosteaa ja talvella yleensä kylmää ja kuivaa. Rakennusten lämmittäminen talvella johtaa siihen, että sisällä ilma on sitä kuivempaa mitä kylmempää on ulkona. (Mattila ym., 2005, s. 85)

Museoesineistä kulttuurihistoriallisissa museoissa mittakaavaltaan pienempi osa on yleensä epäorgaanista materiaalia. Metallit vaativat hyvin kuivat säilytysolosuhteet RH 30% tai vähemmän. Osa esineistöstä taas koostuu sekamateriaaleista, joita on pyrittävä säilyttämään tilassa, jossa sen kosteusprosentti on määritetty siten, että esineistön tärkeimmät osat ja ominaispiirteet säilyvät parhaiten. Ei siis ole olemassa yhtä ja ainoata oikeaa säilytysolosuhteasetusta, joka kattaisi kaikkien esineryhmien säilytykselle edellytetyt RH% arvot. Lisäksi osa esineistä vaatii eri säilytyslämpötiloja. Tyypillisen kulttuurihistoriallisen museon kokoelmasäilytystiloissa onkin useita säilytystiloja, joissa lämpötila ja RH% vaatimukset eroavat toisistaan. Historiallisesti merkittävä esineryhmä olosuhdevaatimusten määrittelyssä ovat olleet puupaneeleille maalatut teokset, joiden sopivien kosteusolosuhteiden vaatimus pitkäaikaissäilytyksessä on ollut kokemusperäisesti kaikkein tarkimpia. Esineryhmä on hyvin herkkä vaurioitumaan kosteusvaihteluissa. Olosuhteiden tasaaminen on auttanut tällaisten esineiden säilymisessä. Samalla tämä esineryhmä on luonut perusvaatimustason, joka useille muille esineryhmille on tarpeettoman tiukka. (Tomi Nikander, käyttöpäällikkö, henkilökohtainen tiedonanto, 7.2.2023)

Ilmankosteuden suuruutta on vaikea arvioida aistinvaraisesti, joten mittausta tarvitaan. Kosteuden määrää voidaan ilmaista eri tavoin, mutta tunnetuin ja eniten käytetty suure on suhteellinen kosteus. Suhteellinen kosteus on ilmassa olevan vesihöyryn määrä suhteessa tarkasteltavan ilman kyllästyskosteudella ja ilmoittamalla tulos prosentteina. Suhteellisen kosteuden laskukaava on esitetty kaavassa 1.

Kaava 1. Suhteellisen kosteuden laskukaava

$$RH = \frac{vi}{vk} * 100\%$$

, jossa

RH on ilman suhteellinen kosteus (%)

vi on ilman vesihöyryn määrä (g/m³)

vk on ilman kyllästyskosteus (g/m³)

(Hyperphysics, n.d.)

Kyllästyskosteus vaihtelee ilman lämpötilan mukaan siten, että lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä kosteutta enemmän kuin kylmä ilma.

2.3.2 Lämpötila

Lämpötilan suuruus ei ole esinekokoelmien kannalta niin merkittävä tekijä, kuin alkuun voisi luulla. Sen edelle menevät ilmankosteus, valo ja ilman epäpuhtaudet. Se ei kuitenkaan ole täysin merkityksetön. Kemialliset hajoamisprosessit, jotka eivät vaadi valoa, nopeutuvat jopa 2,5 -kertaisiksi, jos lämpötila nousee 5 astetta korkeammaksi. Samalla viiden asteen lämpötilan nousulla haihtuvien aineiden virtaus materiaalista ulos lisääntyy ja aiheuttaa ikäaurastumista. Lämpölaajeneminen komposiittiesineissä, jotka sisältävät kahta tai useampaa eri materiaalia, voi irroittaa materiaalit toisistaan. Positiivisena puolena voidaan todeta, että kuivumisen aiheuttama lämpötilan nousu vähentää useampien värjäysten haalistumisnopeutta. Tämä ei kuitenkaan ole yleensä niin merkittävä tekijä, että tekstiilejä alettaisiin säilyttämään erityisen kuivissa olosuhteissa. (Thomson, 1986, s. 43)

Kaikkein optimaalisin lämpötila kokoelmaesineille on $+18 \pm 2$ °C, sekä ilmankosteus on RH 35 – 55 %, riippuen objektin materiaaleista. Kokoelmatilojen lämpötilaa säätelemällä voidaan hidastaa tuholaisten leviämistä säilytystiloissa. Kun lämpötilaa lasketaan alle $+15$ °C tuhohyönteisten kasvaminen, leviäminen ja lisääntyminen hidastuu tai loppuu kokonaan. Tätä voidaan käyttää kuitenkin vain väliaikaisena ratkaisuna kokoelmien tuholaistorjunnassa. Tuhohyönteisten eliminoimiseen tarvitaan huomattavasti alhaisempaa lämpötilaa, ja siihen käytetään pakastamista. Hyönteiset alkavat poistaa eritteitä ja vettä kehostaan, kun lämpötilaa lasketaan niille epäsuotuisempaan suuntaan, ja näin pystyvät nopeasti sopeutumaan laskevaan lämpötilaan. Osa hyönteisistä pystyy lisäämään sokeria ja glyserolia kudoksiinsa ja laskemaan näin jäätymispistettään. Kun alhaiseen lämpötilaan on riittävä aika sopeutua ja suotuisa ympäristö, hyönteiset pystyvät selviytymään alhaisista lämpötiloista elossa. Kun lämpötila lasketaan tarpeeksi matalaan lämpötilaan ($-34 - 39$ °C) tarpeeksi nopeasti (kokoelmaesineiden pakastaminen), hyönteiset eivät ehdi sopeutua matalaan lämpötilaan ja kuolevat. Osa hyönteisistä pystyy kontrolloimaan jään muodostumista kehossaan infusoimalla erityistä proteiinia kehon nesteeseen. Nämä hyönteiset voivat olla jäätyneenä kuukausia, ja toipua silti sulatuksen jälkeen. Hyönteiset eivät kuitenkaan tuota proteiinia jatkuvasti vaan ainoastaan silloin, kun olosuhteet muuttuvat niille epäsuotuisiksi. Kun objekteja tuodaan viileistä olosuhteista sisälle, objektien tulisi antaa olla lämpimissä olosuhteissa noin kuukauden, jotta tuhohyönteiset ovat ehtineet ”huuhdella” proteiinit ulos kehostaan, ja vasta sitten laittaa ne pakastimeen tai kylmiöön. Tällä tavalla toimittaessa hyönteiset eivät ehdi sopeutua matalaan lämpötilaan. (Asta Pyysalo, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto, 17.3.2023)

Museoviraston kokoelma- ja konservointikeskuksessa orgaanisia materiaaleja säilytetään $+18 \pm 2$ °C RH 50 ± 5 %, epäorgaanisia materiaaleja $+18 \pm 2$ °C, RH 35 ± 5 %. Turkiksia, suolipukuja ja elintarvikkeita säilytetään kylmiösäilytystiloissa, jossa tilojen lämpötila on laskettu $+10 - 12$ °C:een. Jos objekteja säilytetään pimeissä, likaisissa tai kosteissa (RH yli 65 %) olosuhteissa, tuholaisina voivat olla erilaiset eliöt kuten sienet ja homeet (esim. lattiasieni, kellarisieni, laakakääpä). (Asta Pyysalo, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto, 17.3.2023)

Toisena tuholaistorjuntametodina Suomen museoissa on käytetty lämpökäsittelyä, ja joissakin museoissa sitä käytetään edelleen. Käsiteltävät objektit suljetaan kuumaan kaappiin, saunaan tai lämpökammioon. Lisäksi on olemassa erilaisia lämpökäsittelypusseja (esim. aurinkopussi), joihin mahtuu kuitenkin vain melko pieniä objekteja. Lämpökäsittely on tehokas ja edullinen metodi, jolla tuloksia saadaan aikaan jo kolmessa tunnissa. Mitä paksummasta ja tiheämmästä objektista on kyse, sitä kauemmin käsittely vie aikaa. Jo 55°C:n lämpö riittää hyönteisten kaikkien elämän vaiheiden hävittämiseen. Lämpökäsittely ei kuitenkaan sovi materiaaleille, jotka ovat erityisen herkkiä suhteellisen kosteuden muutoksille. Lämpökäsittelyä ei pidä myöskään käyttää matalan sulamispisteen materiaaleille (alle 60 °C) . Tällaisia ovat esimerkiksi vahat, tietyt liimat, tulenarat aineet, räjähteet ja muovit. Lisäksi kohteet, joilla on alhainen aktivointienergia esimerkiksi magneettiset väliaineet ja uretaanisidokset, voivat olla erityisen alttiita lämpökäsittelyn aiheuttamalle nopeutuneen vanhenemisen vaurioille, koska lämpö lisää hydrolyysinopeutta. Museovirasto ei nykyisin käytä lämpökäsittelyä tuholaisten torjunnassa. (Asta Pyysalo, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto, 17.3.2023)

Yhteenvetona voidaan todeta, että pienellä lämpötilan muutoksella voi olla useita vaikutuksia, sekä hyviä että huonoja, mutta lämpötilan muutos ei ole yhtä tärkeää kuin kosteudenmuutos, paitsi silloin, kun se itsessään aiheuttaa kosteudenmuutoksen (Thomson, 1986, s. 44).

2.3.3 Ilman epäpuhtaudet

Pöly on erittäin vahingollista esineille. Se on epähygieenistä ja sitoo kosteutta. Säilytystilassa avohyllyssä ja lattialla seisovat esineet suojataan aina pölyä vastaan esimerkiksi hapottomalla silkkipaperilla tai pestyllä puuvillakankaalla (Mattila ym., 2005, s. 96).

Oikein suunnitellulla ilman suodatuksella voidaan ehkäistä pölyn ja lian hankausvaikutus esineille. Säännöllisellä siivouksella, sekä tarkastuksilla näyttely- ja varastotiloissa voidaan saavuttaa oikea puhtaustaso. Samalla olosuhteet tuhohyönteisten menestymiselle vähenevät. (Cassar, 1995, s. 85)

2.3.4 Valaistus

Valaistus on syytä huomioida olosuhdesuureena, sillä se on paitsi ihmisten, myös kokoelmien osalta turvallisuuteen vaikuttava tekijä. Se on myös hyvä näyttelytekninen keino luomaan haluttua tunnelmaa. Valon vaikutukset on Museoviraston kohteissa tehty riskiarvioinneissa, joissa on huomioitu muun muassa luonnonvalon määrä ja sen pohjalta määritetty esimerkiksi verhojen tarve näyttely- ja kokoelmatiloissa. Samalla on arvioitu keinovalolähteen tarve ja sopivuus kyseiseen kohteeseen sekä vaikutusarvio esineille. (Petri Luoma, vastaava näyttelymestari, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

Kokoelmaturvallisuuden kannalta tärkeimmät valoon liittyvät tekijät ovat valaistuksen voimakkuus (luksi) sekä ultraviolettisäteilyn (UV) ja lämpö eli infrapunasäteilyn (IR) määrät. Liiallinen valo ja väärät valaistusratkaisut ovat merkittäviä museokokoelmia tuhoavia tekijöitä. Aineistojen vahingoittumisriskiä kasvattaa kokonaisuus, jonka ne ovat valolle alttiina. Valaistuksen merkitys korostuu erityisesti museon näyttelytiloissa, joissa museoesineet ovat eniten alttiina valon vaikutuksille. Liika valo haalistuttaa, haurastuttaa, tummentaa tai muuttaa muilla tavoin esineiden materiaaleja. Esineet valaistaankin ainoastaan näytteilläöoloaikana. Erityisen vahingollista on suora päivänvalo ja auringonpaiste. Esineet suojataan valolta peittämällä ikkunat verhoilla. Voimakkaiden kohdevalojen vaikutus on verrattavissa päivänvaloon. Esineiden tarpeetonta valaisemista tulee välttää aina kun museo on suljettu. Siivottaessa valaistaan lattiat, ei esineitä. (Mattila ym., 2005, s. 183)

Eri aineistoryhmiä sisältävissä näyttelytiloissa valaistus järjestetään arimman aineistoryhmän mukaan. Tekstiilien näytteillä pitoa voi lyhentää vuorottelemalla eri esineitä tai käyttää jäljennöstä tai kopiota. Valaistusta voidaan rajoittaa myös esittelemällä tekstiilejä pimennetyssä tilassa, jossa kävijä tullessaan sytyttää valot aikakytkimestä. On hyvä, jos valon voimakkuutta voidaan vielä säätää himmennyskytkimellä. (Mattila ym., 2005, s. 183)

Aiemmin hyviä valaisimia olivat UV -suojatut halogeenit sekä kuituvalot. Loisteputket olivat ongelmallisempia, koska ne tuottivat paljon UV -säteilyä. Loisteputkia käytettäessä, tarvittiin suodattimeksi aina opaalipleksi tai joku muu UV -säteilyä leikkaava kalvo. Nykyisin LED - valaisimet ovat syrjäyttäneet aiempia valaistustekniikoita ja näin ollen UV -säteilyongelma on

pienentynyt ja energiatehokkuus parantunut. (Jari Valo, näyttelymestari, henkilökohtainen tiedonanto 17.1.2023)

Valaistuksen voimakkuutta mitataan Museoviraston kohteissa pääsääntöisesti käsikäyttöisillä valaistusmittareilla olosuhdejärjestelmän sijaan, joten valaistus jää tässä tutkimuksessa pienelle huomiolle, mutta mittauksen lisääminen järjestelmään ei pitäisi olla ongelmallista, mikäli tarve tulevaisuudessa nousee esiin.

2.3.5 Paine-ero

Rakennuskonservaattorit ovat kertoneet olevansa kiinnostuneita tekemään jatkossa paine-eromittauksia Seurasaaren ulkoilmamuseon rakennuksissa, saadakseen lisätietoa kiinteistöjen ilmanvaihtoon liittyen. Rakennukset ovat yleensä painovoimaisen ilmanvaihdon varassa ja niiden toiminta kiinnostaa asiantuntijoita. Kokoelmatiloissa sen sijaan pyritään saamaan paine-ero neutraaliksi ulkoilman kanssa. Paine-eroa mitattaessa on hyvä ymmärtää siihen liittyvät mekanismit, jotta mittausanturit osataan asentaa oikeisiin paikkoihin ja että tuloksia osataan analysoida oikein. (Erkka Pajula, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto, 2.11.2022)

Rakennuksissa lämmin sisäilma pyrkii ulos rakennuksen neutraalitason yläpuolelta, ja sisäilmaa kylmempi ulkoilma pyrkii sisään neutraalitason alapuolelta. Tätä ilmiötä kutsutaan termiseksi paine-eroksi ja tunnetaan myös nimillä hormivaikutus ja savupiippuvaikutus. Paine-erojen tasapainotus on tavallista haastavampaa korkeissa rakennuksissa, koska tiheyserosta johtuen alemmat kerrokset ovat lähtökohtaisesti alipaineisia ja ylemmät kerrokset ylipaineisia ulkoilmaan nähden. (Karhu, 2022, s. 4)

Kun rakennuksessa on useampia kerroksia, paine-eron mittaamista suositellaan vähintään ylimmästä ja alimmasta kerroksesta sekä kahdelta julkisivulta. Korkeissa rakennuksissa portaikko yhdistää kerrokset toisiinsa. Termisen paine-eron takia rakennuksen neutraalitaso (paine-ero = 0 Pa) asettuu korkeussuunnassa yleensä lähelle rakennuksen keskiosaa. (Karhu, 2022, s. 4)

Lämpötilaero, ilmanvaihto ja tuuli vaikuttavat rakennuksen paine-eroihin. Ilmanvaihdon ja sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron yhteisvaikutuksella on erittäin suuri merkitys rakennuksen paine-erossa. (Björkroth, 2019, s. 13)

2.3.6 Kastepiste

Kastepistettä pyritään välttämään, sillä se tarkoittaa sadan prosentin suhteellisen ilmankosteuden saavuttamista, joka on kaiken tyyppisille kokoelmille täysin sopimaton olosuhde. Vaikkakin ilman kosteutta pystytään arvioimaan suhteellisen kosteuden mittaamisella ja tulkinnalla taulukoiden avulla hyvin, joissakin tapauksissa on mitattu kastepistettä myös suoraan. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

2.3.7 Ilmanlaatumittaukset

Konservoitavissa rakennuksissa ja kokoelmissa on paljon haitallisia materiaaleja ja kemikaaleja, jotka täytyy huomioida turvallisuuden takaamiseksi. Osassa mittauksia käytetään alan asiantuntijoita ja osa tehdään Museoviraston henkilökunnan toimesta.

Museoesineiden valmistusaineina on voitu käyttää muun muassa asbestia, elohopeaa, lyijyä, arseenia ja PCB-yhdisteitä sisältävää öljyä. Keskeisiä altisteita voivat olla myös museokokoelmien suojelemiseen käytettyjen hyönteismyrkkujen jäämät, muun muassa arseeniyhdisteet, elohopea ja naftaliini. Homesienten ja mikrobien pitoisuudet tiloissa ja kokoelmissa voivat nousta esimerkiksi vesivahinkojen seurauksena. Museokokoelmat voivat kontaminoitua säilytystilojen rakennusmateriaaleista vapautuneiden asbestikuitujen vuoksi tai nokeentua tulipaloissa. (TTL, n.d.)

Asbestin, PAH -yhdisteiden, raskasmetallien sekä muiden mahdollisten lahosuoja-aineiden, että mikrobien tutkimuksissa on käytetty ulkopuolista toimijaa (Jani Puhakka, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 25.1.2023). PAH -yhdisteet eli polyaromaattiset hiilivedyt ovat ympäristömyrkyjä, joita on voinut kertyä esineisiin tai niiden suojamateriaaleihin esimerkiksi aiemmin käytössä olleista hyönteismyrkyistä. PAH -yhdisteet voivat aiheuttaa

vahinkoja esineille ja ovat haitallisia myös terveydelle, joten niiden hallinta ja vähentäminen on huomioitava. (Eeva-Maria Tikka, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2022)

VOC -yhdisteet eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Ne voivat olla esimerkiksi aromaattisia hiilivetyjä, alkoholeja tai estereitä. VOC -yhdisteet voivat vaikuttaa säilytysolosuhteisiin ja esineiden kuntoon. Mittaamalla pitoisuuksia voidaan havaita mahdolliset ongelmat ja toteuttaa tarvittavat toimenpiteet päästöjen vähentämiseksi ja hallinnoimiseksi. Mittauksia voidaan tehdä erilaisilla menetelmillä, kuten mittaussensoreilla tai kaasukromatografiaspektrometrillä. Mittauksen jälkeen tulokset analysoidaan ja niiden perusteella suositellaan toimenpiteitä, kuten ilmanvaihdon parantaminen, materiaalin eristäminen tai poistaminen. (Baumedi Solutions, n.d.)

VOC- päästömittaukset on todettu herkiksi, ja sen takia mittausdatassa voi olla suurtakin vaihtelua jo pelkästään henkilön läsnäolosta ja esimerkiksi hajusteista johtuen. Mittausarvojen tulkintaan onkin pitänyt suhtautua varauksella. (Eeva-Maria Tikka, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 2.11.2022)

Näyttely- ja toimistotiloissa on mitattu ilmankosteuden ja lämpötilan lisäksi hiilidioksidia, sillä se kertoo ilmanvaihdon tehokkuudesta henkilömäärään nähden. Sen avulla saadaan optimoitua ilmanvaihdon määrää, ja luodaan hyvät sekä toimivat olosuhteet museovierailulle ja henkilökunnan työskentelylle. Olosuhteiden ylläpitäminen rajoittaa monesti kuitenkin sisäänotettavan raitisilman määrää, joten suurten vierailijamäärien kohdalla on tärkeää seurata ilman hiilidioksidipitoisuutta, ja tarvittaessa rajoittaa henkilömäärää tiloissa. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 5§) sanoo asiasta seuraavasti:

Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. Sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1 450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. Kuvassa 4 on Kansallismuseon

hiilidioksidin mittaukseen käytetty yhdistelmämittari, jolla on mahdollista mitata myös lämpötilaa ja ilmankosteutta.

Kuva 4. Yhdistelmämittari hiilidioksidimäärän mittauksiin



2.4 Museoviraston olosuhdestrategia

Olosuhdestrategiaa luodessa tulisi huomioida neljä pääkohtaa. Sää, rakennus, kiinteistötekniikka (lämmitys, valaistus, jäähdytys, kostutus) ja ihmiset. Tarkemmin eriteltyinä riskejä Cassarin mukaan muodostavat:

- epäsoviva- tai vaihteleva kosteus, lämpötila ja valo
- epäpuhtaudet ja tuhoeläimet

- esineiden käsittely ja säilytystapa

- museossa tapahtuvat aktiviteetit

Nämä riskit voidaan ehkäistä ainoastaan siinä tapauksessa että on olemassa suunnitelma tai strategia hallinnoida niitä. Tämän olosuhdestrategian eli suunnitelman kokoelmien säilyttämisestä, tulee pyrkiä saavuttamaan ja ylläpitämään olosuhteiden jatkuvuutta ja vakautta. (Cassar, 1995, s. 22)

Museoviraston olosuhdestrategian päivityksestä näyttäisi olevan aikaa ja moni asia on voinut muuttua ajan myötä. Yhtenä kehityskohtana työtä tehtäessä havaittiin nykytilan perusteellisempi läpikäynti ja sen pohjalta olosuhdemittausstrategian ja osaamismatriisin päivitys. Isoja muutoksia on luvassa muutoinkin, kun osaa kokoelmista ollaan siirtämässä uusiin tiloihin. Tämä luo samalla mahdollisuuksia koko toiminnan kehittämiseen. (Vuokko Ahlfors, konservaattori, henkilökohtainen tiedonanto 24.1.2023)

3 Kyselytutkimus

Kysely (Liite 1.) luotiin Webropolin Survey & Reporting -työkalulla ja lähetettiin 27:lle konservaattorille vastattavaksi. Kyselyn toteutustapa valittiin sähköiseksi sen sopivuuden takia, sillä konservaattorit toimivat eri yksiköissä ja toimipisteissä. Valittu kyselytapa mahdollistaa jokaiselle kyselyyn vastaamisen oman aikataulun mukaisesti paikasta riippumatta. Ainoat vaadittavat asiat ovat toimiva internet -yhteys ja -selainohjelmisto, jotta kyselyn vastaukset siirtyvät pilvipalveluun. Tutkimuskyselyssä ei nähty tarpeelliseksi selvittää vastaajista taustatietoja, vaan kysely tehtiin anonyymisti. Kyselyssä kartoitettiin käyttäjäkokemuksia aiemmista mittausjärjestelmistä ja -tavoista, sekä haluttiin löytää käyttäjien näkökulmasta tärkeitä ominaisuuksia järjestelmälle. Kyselyä lähetettäessä ei ollut tiedossa kuinka moni konservaattoreista käyttää olosuhdemittauksia aktiivisesti työssään, joten kysely päätettiin lähettää heille kaikille. Tutkimuksen vastausaika alkoi 30.01.2023 ja loppui 14.02.2023. Tutkimuskyselyä varten lähetettiin muistutusviesti kaksi kertaa 7.2.2023 ja 14.2.2023. Kaksi vastausta tuli vielä annetun takarajan jälkeen 21.2.2023 ja 22.2.2023, mutta ne päätettiin ottaa mukaan, koska sähköposti ei ollut tavoittanut vastaajia ajoissa, ja

suuremmalla vastaajien määrällä haluttiin parantaa tutkimuksen reliabiliteettiä. Tutkimuksen tulokset esitetään prosentuaalisesti vastausten mukaan siten, että 100% tarkoittaa kymmentä vastaajaa, jolloin yhden vastaajan painoarvo on 10% olettaen, että kaikki vastaajat ovat vastanneet kysymykseen. Vastaajamäärä on nähtävissä kysymyksen alla. Tuon tiedon perässä on toinenkin lukema, joka kertoo kaikkien vastaajien kyseiseen kysymykseen tekemien valintojen lukumäärän. Tulokset on esitetty kuvissa ja taulukoissa seuraavasti. Ensin on pylväsdiagrammi, josta nähdään montako prosenttia vastaajista on valinnut kyseisen vaihtoehdon. Diagrammin alapuolella näkyy vastausmäärät (n) lukuina jokaiseen vaihtoehtoon, sekä uudelleen prosenttiosuudet. Kysymykset, joissa on sanallinen vastausmahdollisuus, ovat taulukkona joko itsenäisesti tai diagrammin alla. Kysymyksissä 4, 7 ja 10 käy diagrammin alapuolella olevasta taulukosta ilmi myös vastauksien keskihajontaprocentti, keskiarvo ja mediaani.

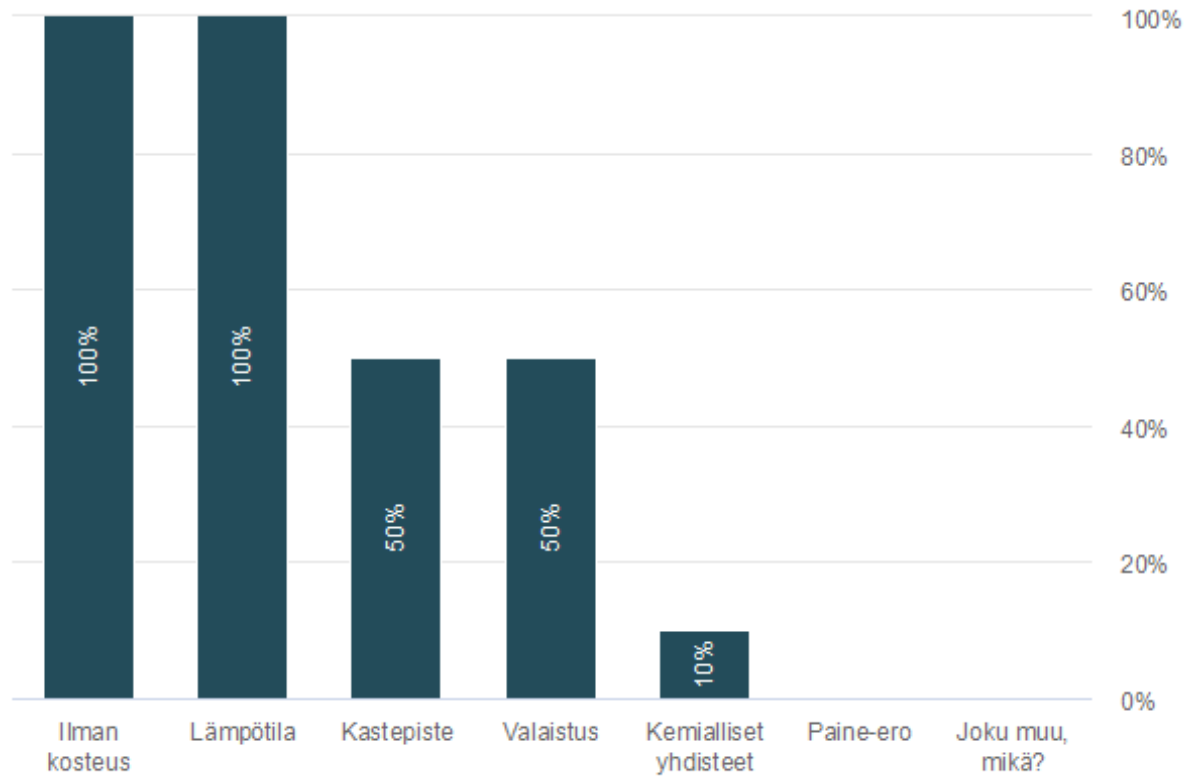
3.1 Kyselyn kysymykset ja vastaukset

Ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin, mitä olosuhdesuureita konservattorit seuraavat työssään tällä hetkellä. Kaikki vastaajat vastasivat kysymykseen ja ilmoittivat seuraavansa ilmankosteutta sekä lämpötilaa. Puolet seurasi kastepistettä sekä valaistusta, ja yksi vastaajista seurasi kemiallisia yhdisteitä (kuva 5).

Kuva 5. Kyselyn tuloksia osa 1 (Webropol, 2023)

1. Mitä olosuhdesuureita seuraat työssäsi tällä hetkellä?

Vastaajien määrä: 10 , valittujen vastausten lukumäärä: 31



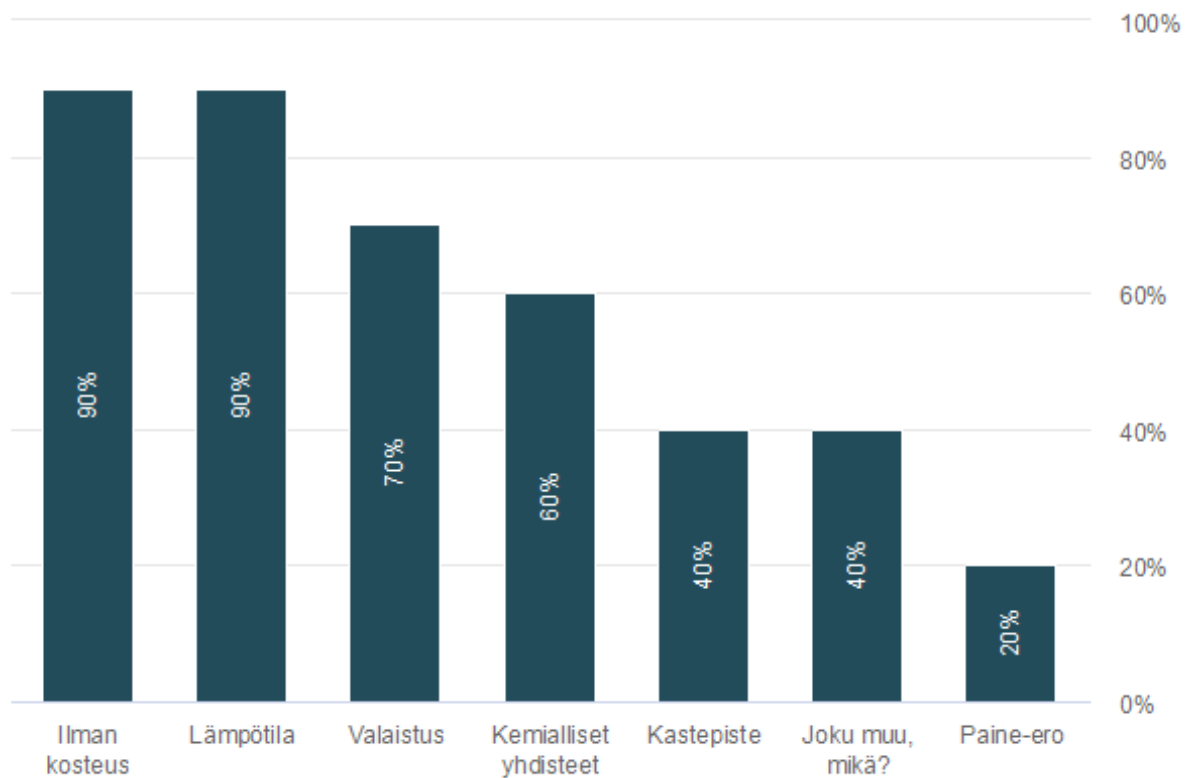
	n	Prosentti
Ilman kosteus	10	100,0%
Lämpötila	10	100,0%
Kemialliset yhdisteet	1	10,0%
Paine-ero	0	0,0%
Kastepiste	5	50,0%
Valaistus	5	50,0%
Joku muu, mikä?	0	0,0%

Toisessa kysymyksessä kysyttiin, mitä olosuhdesuureita haluaisit seurata jatkossa, johon vastasivat kaikki vastaajat. 9 ilmoitti ilmankosteuden ja lämpötilan, 7 haluaisi mitata valaistusta ja 6 kemiallisia yhdisteitä, 4 oli kiinnostunut mittaamaan kastepistettä ja 2 paine-eroa. 4 vastaajista lisäsi Joku muu/mikä -tekstikenttään kiinnostuksensa mitata tärinää, pienhiukkasia, homeita, mikrobeita tai etikkasyndroomaa. Kiinnostusta olisi lisäksi LED -valaistustasojen mittaamiseen tai ainakin sen varmistamiseen, että käytössä olevat valaistusmittaukset ovat soveltuvia LED -valaisimille (kuva 6).

Kuva 6. Kyselyn tuloksia osa 2 (Webropol, 2023)

2. Mitä olosuhdesuureita haluaisit seurata jatkossa?

Vastaajien määrä: 10 , valittujen vastausten lukumäärä: 41



	n	Prosentti
Ilman kosteus	9	90,0%
Lämpötila	9	90,0%
Kemialliset yhdisteet	6	60,0%
Paine-ero	2	20,0%
Kastepiste	4	40,0%
Valaistus	7	70,0%
Joku muu, mikä?	4	40,0%

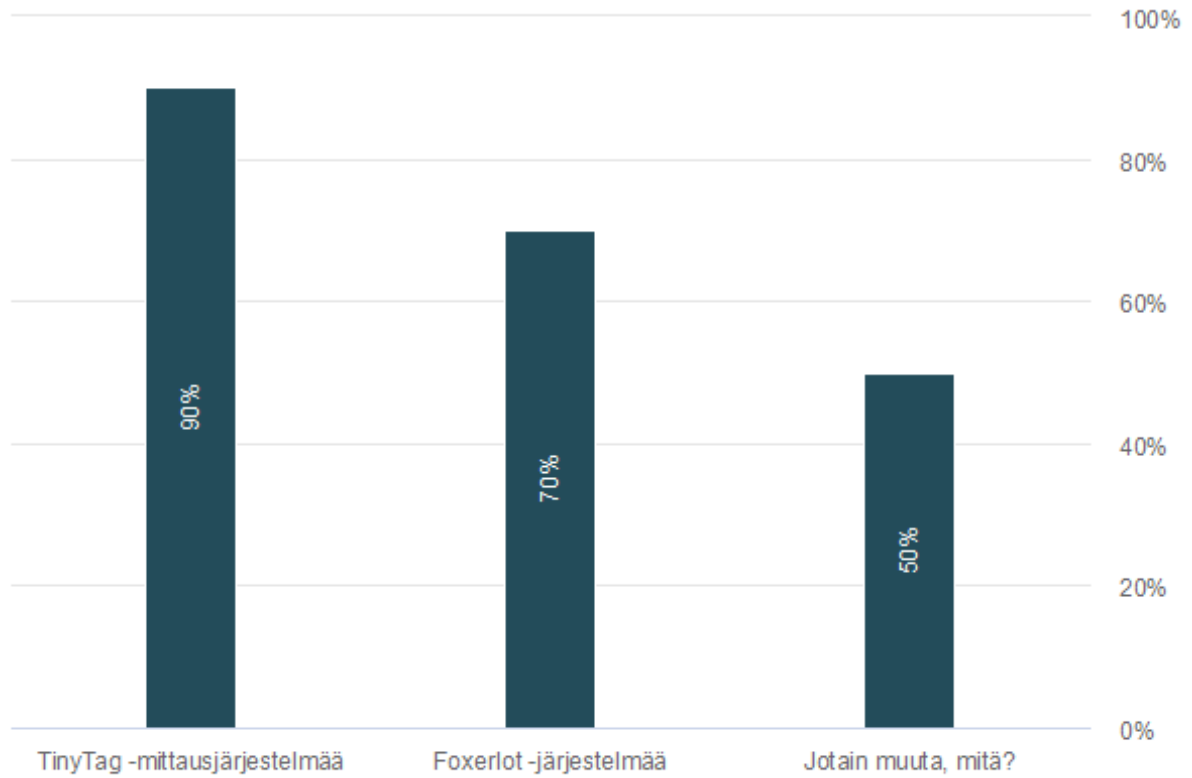
Vastausvaihtoehdot	Teksti
Joku muu, mikä?	tärinä (erityisesti kuljetuksissa)
Joku muu, mikä?	tärinä
Joku muu, mikä?	homeet ja mikrobit?, etikkasyndrooma, LED -valaistustasot (vanhat luxmittarit eivät välttämättä osaa lukea arvoja oikein)
Joku muu, mikä?	pienhiukkaset

Kokemusta mittausjärjestelmistä ja muista mittaustyökaluista kartoitettiin kolmannella kysymyksellä. TinyTag -mittausjärjestelmää oli käyttänyt 9 vastaajaa. 7 ilmoitti käyttäneensä FoxerloT -järjestelmää ja 5 jotain muuta mittaustyökalua. Muita mittaustyökaluja olivat Elsec -museomittari, Waisala -mittari, Simap ja termohygrografi. Etikkasyndroomaa oli mitattu testiliuskoilla sekä osalle vanhat piirturitkin olivat tuttuja. Caverion sai myös yhden maininnan (kuva 7).

Kuva 7. Kyselyn tuloksia osa 3 (Webropol, 2023)

3. Mitä työkaluja olet käyttänyt olosuhdemittaukseen työssäsi?

Vastaajien määrä: 10 , valittujen vastausten lukumäärä: 21



	n	Prosentti
TinyTag -mittausjärjestelmä	9	90,0%
Foxerlot -järjestelmä	7	70,0%
Jotain muuta, mitä?	5	50,0%

Vastausvaihtoehdot	Teksti
Jotain muuta, mitä?	Elsec museomittari, Waisala mittari
Jotain muuta, mitä?	Simap
Jotain muuta, mitä?	termohygrografi
Jotain muuta, mitä?	Elsecin mittaria (lämpö, kosteus, luxit, kastepiste), etikasyndroomaa mitattu testiliuskoilla, vanhoja piirtureitakin on joskus käytetty
Jotain muuta, mitä?	Caverion

Kysyttäessä, jos olet käyttäjä, niin kuinka tyytyväinen olet nykyiseen TinyTag -olosuhdemittausjärjestelmään, kysymykseen vastasi 9 vastaajaa. Arvosteluasteikko oli 0 – 5 ja vastauksista muodostettiin keskiarvot kysymyksittäin.

Keskiarvon 3,0 sai toteamus ”koen saavani tarvittavat tiedot järjestelmästä” mediaanin ollessa 2,0.

Toteamus ”olen tyytyväinen nykyiseen TinyTag -järjestelmään” sai arvosanakseen 2,2 mediaanin ollessa 3,0.

”Käyttöliittymä vastaa odotuksiani -kohdan arvosana oli 1,8 mediaanin ollessa 2,0.

”Asiakaspalvelu/tekninen tuki on toiminut hyvin” sai arvosanakseen 1,5. Mediaanin ollessa 1,5. 7 vastaajista ei osannut sanoa kuinka hyvin asiakaspalvelu/tekninen tuki on toiminut eikä ollut näin antanut lainkaan arvosanaa kysymykselle. Kaikkien neljän kysymyksen yhteiseksi keskiarvoksi tuli 2,3 (kuva 8).

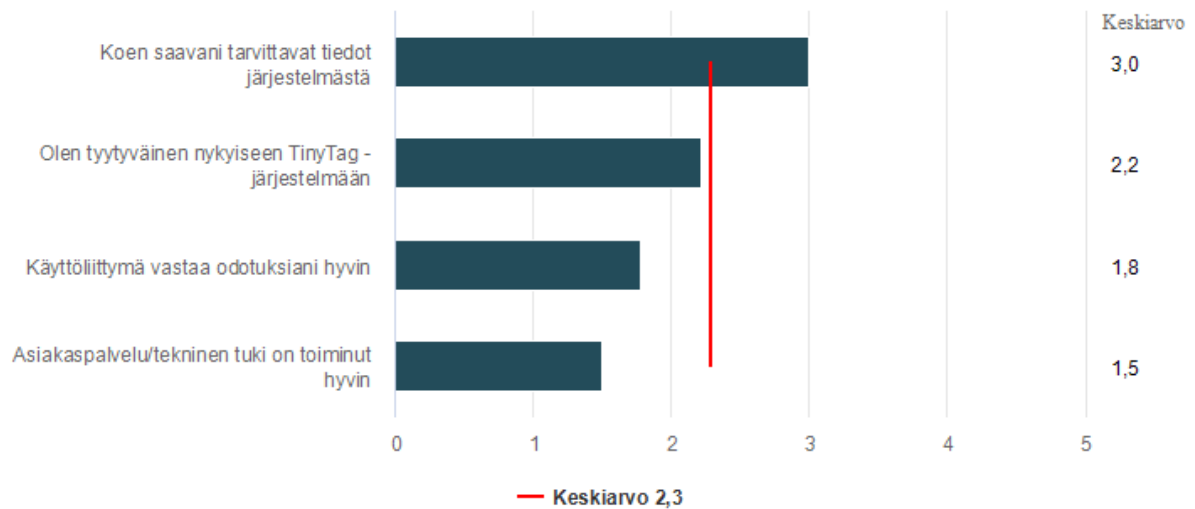
Kuva 8. Kyselyn tuloksia osa 4 (Webropol, 2023)

4. Jos olet käyttäjä, niin kuinka tyytyväinen olet nykyiseen TinyTag -olosuhdemittausjärjestelmään?

1=Täysin eri mieltä, 5=Täysin samaa mieltä

Vastaajien määrä: 9

Vastausvaihtoehto: En osaa sanoa - poisluetettu keskiarvosta



	1	2	3	4	5	En osaa sanoa	Keskiarvo	Mediaani
Olen tyytyväinen nykyiseen TinyTag -järjestelmään	22,2%	44,5%	22,2%	11,1%	0,0%	0,0%	2,2	2,0
Koen saavani tarvittavat tiedot järjestelmästä	22,2%	11,1%	33,4%	11,1%	22,2%	0,0%	3,0	3,0
Käyttöliittymä vastaa odotuksiani hyvin	44,5%	33,3%	22,2%	0,0%	0,0%	0,0%	1,8	2,0
Asiakaspalvelu/tekninen tuki on toiminut hyvin	11,1%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%	77,8%	1,5	1,5

Kysyttäessä TinyTag -järjestelmän positiivisia puolia 8 vastaajaa ilmoitti seuraavat ominaisuudet (taulukko 1).

Taulukko 1. Kyselyn tuloksia osa 5 (Webropol, 2023)

5. Mitä positiivisia puolia TinyTag -olosuhdemittausjärjestelmässä mielestäsi on?

Vastaajien määrä: 8

helppo purkaa ja tallentaa pieni, huomaamaton
<ul style="list-style-type: none"> - Luotettava - tulokset on helposti luettavia ja helposti saatavilla ja muutettavissa ei muotoon (kuva, excel), mahdollisuus nähdä taulukosta päivittäinen min ja max pitkällä aikavälillä antaa todella hyvän kuvan olosuhteista - 15 min mittavälillä dataloggeri toimii noin puoli vuotta
Oli hyvä järjestelmä silloin kun tuli korvaamaan termohygrografeja
<ul style="list-style-type: none"> - Sensorin voi laittaa pakkauslaatikkoon mittaamaan kuljetuksen olosuhteita - Toimii itsenäisesti ilman verkkoyhteyttä
Selkeä grafiikka mittaustuloksesta.
olosuhdetiedot saa käyrän muodossa talteen
Ensimmäinen automaattinen keräävä ja tietokoneohjanteinen mittausjärjestelmä jota olen käyttänyt, joten kaikki siihen liittyvä: tuloksia voi tarkastella ohjelmalla eri aikaväleiltä ja silti näkee helposti tietyn ajankohdan arvot.
Kevyt pieni laite, josta näkee helposti yleistilanteen.

Kysyttäessä TinyTag -järjestelmän negatiivisia puolia vastaajat ilmoittivat seuraavat ominaisuudet (taulukko 2).

Taulukko 2. Kyselyn tuloksia osa 6 (Webropol, 2023)

6. Mitä negatiivisia puolia TinyTag -olosuhdemittausjärjestelmässä mielestäsi on?

Vastaajien määrä: 9

Vastaukset
<p>patterin asetus ja kannen kiinnittäminen purkamistilanteessa</p> <p>yhdistävä "piuha" irtoaa helposti</p> <p>seuranta vaan puolivuositain purettaessa</p> <p>kallis kalibrointi</p>
<ul style="list-style-type: none"> - paristojen saatavuudessa joskus ongelmia, paristojen kesto vaikea arvioida - ei etäluettava, tiedon kerääminen ja laitteen uudelleen "lataaminen" vie melko paljon aikaa koska laitteita on paljon ja ne sijaitsevat monessa toimipisteessä - kalibrointi kallista (eli sitä ei edes tehdä)
<ul style="list-style-type: none"> - kalibrointi ja huolto on kallista ja vaatii laitteen lähettämisen pitkäksi aikaa pois - paristojen vaihto ja tietojen purku erittäin työlästä - ei etäluentamahdollisuutta - Koska laitteet ovat vanhetuneet ja kalibroinnin/huollon tarpeessa, ne eivät ole enää käytössä
<ul style="list-style-type: none"> - Työläitä ylläpitää ja huoltaa - Ei etälukumahdollisuutta (ainakaan viimeksi, kun käytin laitetta) - Ei hälymahdollisuutta (ainakaan viimeksi, kun käytin laitetta)
<p>Huolto ja datan purku 6 kk välein eli mittalaitteiden nouto kohteesta toimistolle, huoltotoimenpiteet ja laitteiden takaisin vienti. Vievät Seurasaaressa 1-2 työpäivää 2 krt. vuodessa.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - arvot tulevat viiveellä eli mahdollisiin muutoksiin ei voi varautua. - loggereiden purkaminen ja pattereiden vaihto työlästä.

- jos/kun olosuhteista haluaa pitkän ajan (useiden vuosien mittaisen) analyysin, käyrät on käytävä manuaalisesti läpi ja tiedot koottava erilliseen tiedostoon. tätä ei tehdä, ainoastaan käyrät tallennetaan.

- käyrien avaamiseen tarvitaan ohjelma, jota ei ole kaikilla

patterit loppuvat, aina mentävä paikan päälle katsomaan ja tallentamaan merkinnät

Saattaa olla asetuksilla muutettavissa: graph-näkymässä valitsee asteikon suurimman ja pienimmän mitatun arvon mukaan, joten eriaikaiset tulosteet eivät ole vertailtavissa, jollei huomaa itse muuttaa asteikkoa esim. välille 0-100 % RH. Tämä on haitta, kun monet eri ihmiset tulostelevat raportteja tätä tekemättä.

VAARALLINEN VIRHE -bugi: jos loggeri antaa purettaessa virheilmoituksen, että se on "reset" kun loggaus oli kesken, niin se hakee dataa aiemmilta loggauserroilta uuden loggauksen jatkoksi ja sen päivämäärille eli antaa täysin väärää dataa osalle päivistä.

Ei ole etäluettava. Vaatii Tinytag-ohjelman aiemman datan lukemiseksi.

Patterien lyhyt käyttöaika, hankala purkujärjestelmä, epäluotettavuus, ei etälukua, ei sondia, jonka saisi kapeisiin paikkoihin ujutettua, ei mittaa valoa, kemiallisia yhdisteitä tai mikrobeja

Kysyttäessä tyytyväisyyttä nykyiseen FoverIoT -olosuhdemittausjärjestelmään, kysymykseen vastasi 7 vastaajaa. Arvosteluasteikko oli 0 – 5 ja vastauksista muodostettiin kysymyksittäin keskiarvot ja mediaanit.

”Olen tyytyväinen nykyiseen FoverIoT -järjestelmään” -kysymys sai keskiarvon 3,3 ja mediaanin 3,0.

”Olen tyytyväinen yritykseen / palveluihin / tuotteeseen” -toteamus sai keskiarvon 2,7 sekä mediaanin 3,0.

”Käyttöliittymä vastaa odotuksiani hyvin” -kysymyksen keskiarvo oli 2,7 ja mediaani 3,0.

”Asiakaspalvelu / tekninen tuki on toiminut hyvin” -toteamus arvioitiin keskiarvolla 2,7 sekä mediaanilla 2,5. Yksi vastaajista ei osannut arvioida Asiakaspalvelu / teknisen tuen toimivuutta. Kaikkien 4 kysymyksen yhteinen keskiarvo oli 2,9 (kuva 9).

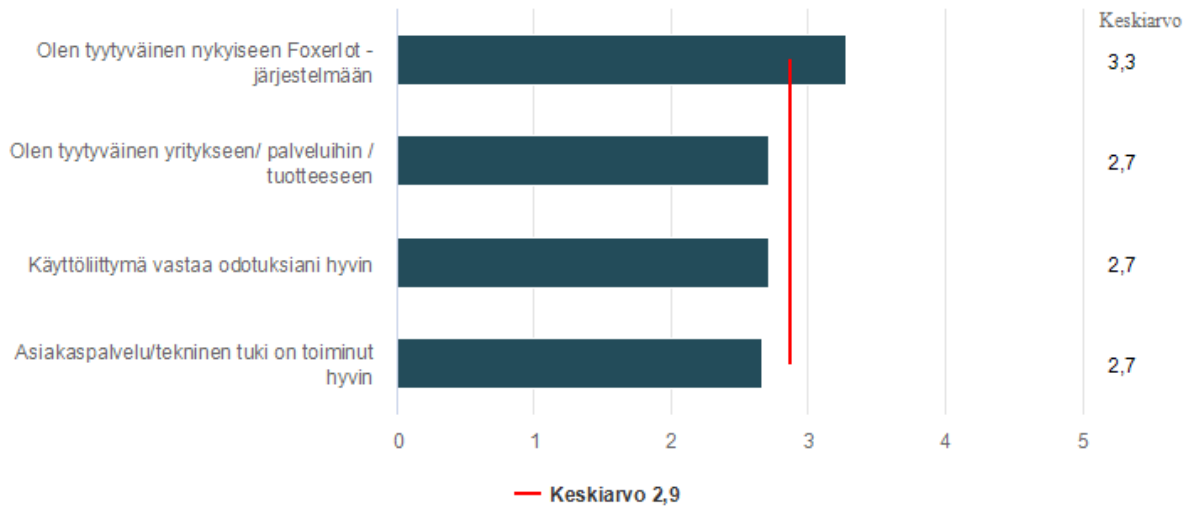
Kuva 9. Kyselyn tuloksia osa 7 (Webropol, 2023)

7. Jos olet käyttäjä, niin kuinka tyytyväinen olet nykyiseen Foxerlot -olosuhdemittausjärjestelmään?

1=Täysin eri mieltä, 5=Täysin samaa mieltä

Vastaajien määrä: 7

Vastausvaihtoehto: En osaa sanoa - poisluettu keskiarvosta



	1	2	3	4	5	En osaa sanoa	Keskiarvo	Mediaani
Olen tyytyväinen nykyiseen Foxerlot -järjestelmään	0,0%	14,3%	42,8%	42,9%	0,0%	0,0%	3,3	3,0
Olen tyytyväinen yritykseen/ palveluihin / tuotteeseen	0,0%	42,8%	42,9%	14,3%	0,0%	0,0%	2,7	3,0
Käyttöliittymä vastaa odotuksiani hyvin	0,0%	28,6%	71,4%	0,0%	0,0%	0,0%	2,7	3,0
Asiakaspalvelu/tekninen tuki on toiminut hyvin	14,3%	28,5%	14,3%	28,6%	0,0%	14,3%	2,7	2,5

Kysyttäessä FoxerIoT -järjestelmän positiivisia puolia 6 vastaajaa ilmoitti seuraavat ominaisuudet (taulukko 3).

Taulukko 3. Kyselyn tuloksia osa 8 (Webropol, 2023)

8. Mitä positiivisia puolia FoxerIoT -olosuhdemittausjärjestelmässä mielestäsi on?

Vastaajien määrä: 6

Vastaukset
etäluettavuus voi seurata nykyhetkeä niin halutessaan
<ul style="list-style-type: none"> - etäluettavuus - tiedot tallentuu automaattisesti - ei tarvitse huolehtia laitteiden huollosta tai paristojen vaihtosta itse - mahdollisuus tehdä eri tiloista koontinäyttö, jossa määritellyt raja-arvot ovat helposti näkyvissä yhdellä näkymällä
<ul style="list-style-type: none"> - Sensoreiden sijoittelu eri tiloihin on ollut vaivatonta, koska ne ovat kohtalaisen pieniä (vrt. Vaisala) - Sensori näytöllä antaa tietoa myös suoraan mitattavassa tilassa olevalle - Ohjelman näkymää on voinut muokata sopivaksi - Mittaa myös VOC-arvoja (joita ei kuitenkaan eritellä)
<p>Etäluettavuus.</p> <p>Saa kaksi anturia yhteen keskusyksikköön, jolloin voidaan mitata lämpö ja kosteus kahdesta eri tilasta esim. huone ja sen alapuolinen ryömintätila.</p>
etäluettavuus, sondit, toimii hankalissa olosuhteissa (Seurasaari)
<p>Reaaliaikainen olosuhteinen näyttö sekä selaimessa että mittareiden näytöissä. Selainnäköisestä näkee kohtuullisen selkeästi graafina mitkä ovat olosuhteet, jos osaa ne oikeasta kohdasta katsoa. Jos sensorit on osannut nimetä hyvin, on mittaustulosten kohtuullisen selkeästi luettavissa.</p>

Kysyttäessä FoxerIoT -järjestelmän negatiivisia puolia 6 vastaajaa ilmoitti seuraavat ominaisuudet (taulukko 4).

Taulukko 4. Kyselyn tuloksia osa 9 (Webropol, 2023)

9. Mitä negatiivisia puolia FoxerloT -olosuhdemittausjärjestelmässä mielestäsi on?

Vastaajien määrä: 7

Vastaukset
mittauspisteitä aika vähän; hintakysymys hankintahetkellä ei helppolukuinen, kun yhdistettynä useita käyriä samassa näytössä tosi hankalaa ollut saada käyttäjätunnukset toimimaan ei ole saatu koulutusta alun jälkeen(uudet henkilöt)
<ul style="list-style-type: none"> - paristojen loppuminen yllättäen aiheuttaa pitkän katkon mittaustiedoissa - koontinäytössä näy mittauksen ajankohtaa, eli tiedä, jos laite ei lähetäkään uusinta dataa vaan se on ajalta jolloin on viimeisin mittausdata on tullut järjestelmään, varoitus pariston loppumisesta puuttuu -koontinäyttöön ei saa useista sensoreista sekä lämpötilaa että kosteutta samalle näkymälle selkästi luettavaan muotoon (kuvio/laite), kosteudet onnistuu, mutta näkymään saa lämpötilat vain yhdistettynä kuvana, hankalasti luettavina käyrinä - eri aikaväleiltä tehtävää olosuhteiden vertailua (esim eri vuosilta tai tiettyjen päivämäärien ajalta) ja graafista esittämistä en ainakaan itse ole osannut tästä järjestelmästä tehdä - tietojen pitkäaikaissäilyminen itselleni epäselvää
<ul style="list-style-type: none"> - Sensorin pariston loppumista vaikea seurata ja havaita - Raportin saaminen pitkältä aikaväliltä hankalaa - Mittaa VOC-arvoja, joita ei kuitenkaan eritellä.
<p>Laitteiden paristojen ennen aikainen tyhjentyminen. Paristojen olisi pitänyt kestää 5 vuotta, mutta nyt ne uusittiin alle kolmen vuoden jälkeen.</p> <p>Pariston vaihtojen jälkeen ongelmia mittausdatassa, asiaa selvitellään johtuuko vain viallisista anturien johdoista.</p> <p>Mittausanturien johdot voivat vioittua jyrksijöiden toimesta.</p>
Tallentaa vain 1kk

Kalleus? tai että käyttöön ei saada riittävää määrää mittareita

Sensoreiden pattereiden loppuessa ei tule mitään ilmoitusta selaimeen. Signaali ei toimi kaikkien rakennusten sisällä ja signaalin vahvistin maksaa erikseen ja niitä pitäisi olla ympäri rakennusta. Selaimesta luettavat lukemat kertovat vain lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden, myös muut suureet olisi hyvä saada näkymään. Kuten kemialliset yhdisteet ja pienhiukkaset sekä kumulatiivinen lux-määrä ja hetkellinen lux. Genanon asiakaspalvelu on välillä ollut erittäin tahmeaa eikä viesteihin vastata. Tämä horjuttaa järjestelmän käytön luotettavuutta.

Olosuhdemittausjärjestelmän tärkeimpinä ominaisuuksina kaikki 10 vastaajaa esittivät oman kantansa. Korkeimman keskiarvon ja mediaanin 5,0 sai ”Joku muu, mikä” -kohtaan vastattu helppokäyttöisyys, joka on aiheesta keskusteltaessa noussut usein esille.

Keskiarvon 4,8 ja mediaanin 5,0 vastaajat antoivat histogrammille yhdestä tai useammasta valitusta mittaussuureesta, joka on yksi tärkeimmistä työkaluista konservaattoreiden määrääjain tehtävissä raporteissa.

Olosuhdemittausten koontinäyttö joka on todettu käteväksi ominaisuudeksi FoverIoT -järjestelmässä ja sai keskiarvon 4,7, sekä mediaanin 5,0.

Keskiarvon 4,7 ja mediaanin 5,0 sai sähköpostihälytys arvojen ylittyessä / alittuessa tai yhteyden katketessa, sillä kiinteistöjen olosuhdehallinnassa olevista häiriöistä on saatu ensimmäinen huomio useasti olosuhdemittausjärjestelmästä ja häiriön syytä on alettu selvittää.

Koontiraportointi olosuhdemuutoksista koetaan käteväksi ominaisuudeksi järjestelmässä, jolloin saadaan olennainen tieto paremmin tiivistettyä. Tätä vastaajat arvottivat keskiarvolla 4,7 sekä mediaanilla 5,0.

Koulutuksen merkitys on suuri, jotta järjestelmää saadaan hyödynnettyä parhaalla mahdollisella tavalla. Koulutus sai keskiarvonarvon 4,7 mediaanin ollessa 5,0.

Uuden järjestelmän ollessa kyseessä kehityskohteita ja avuntarvetta ilmenee varmasti, jolloin tekninen tuki on tärkeää. Se sai vastaajilta keskiarvon 4,6 ja mediaanin 5,0.

Kalibroinnit ovat olennainen osa mittaustoimintaa ja se sai keskiarvon 4,5 ja mediaanin 5,0.

Olosuhdepoikkeamien merkitsemis-, kommentointi- ja miksei myös poikkeamakäsittelymahdollisuus yhdessä järjestelmässä koetaan arvokkaaksi asiaksi. Sille vastaajat antoivat keskiarvoksi 4,4 mediaanin ollessa 4,5.

Valittaessa hälytyskanavaksi sähköpostin ja tekstiviestin välillä, tekstiviestiä ei pidetä niin käteväenä tapana ja se saa keskiarvon 4,1 ja mediaanin 4,5.

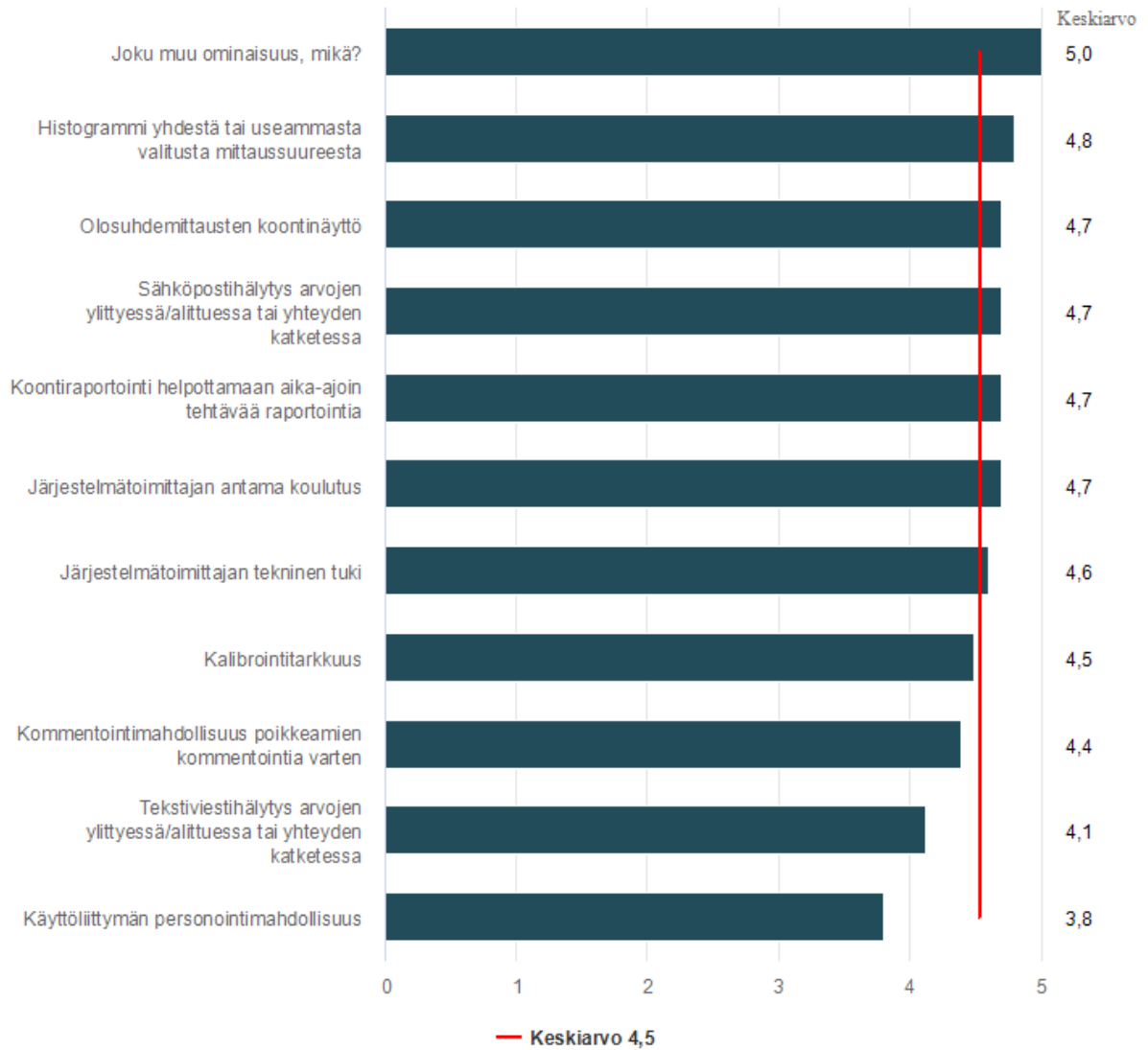
Käyttöliittymän personoinnista ei katsota olevan suurta hyötyä, kunhan yleiskäyttöliittymä on yksinkertainen ja helppokäyttöinen kaikille käyttäjille. Se saa keskiarvokseen 3,8 sekä mediaanin 3,5.

Kaikkien kysymysten vastausten keskiarvoksi muodostui 4,5 (kuva 10).

Kuva 10. Kyselyn tuloksia osa 10 (Webropol, 2023)

10. Kuinka tärkeinä pidät seuraavia ominaisuuksia olosuhdemittausjärjestelmässä ?*1=EI tärkeä, 5=Erittäin tärkeä*

Vastaajien määrä: 10



	1	2	3	4	5	Keskiarvo	Mediaani
Olosuhdemittausten koontinäyttö	0,0%	0,0%	0,0%	30,0%	70,0%	4,7	5,0
Histogrammi yhdestä tai useammasta valitusta mittaussuureesta	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	80,0%	4,8	5,0
Sähköpostihälytys arvojen ylittyessä/alittuessa tai yhteyden katketessa	0,0%	0,0%	10,0%	10,0%	80,0%	4,7	5,0
Tekstiviestihälytys arvojen ylittyessä/alittuessa tai yhteyden katketessa	0,0%	12,5%	12,5%	25,0%	50,0%	4,1	4,5
Kommentointimahdollisuus poikkeamien kommentointia varten	0,0%	0,0%	10,0%	40,0%	50,0%	4,4	4,5
Käyttöliittymän personointimahdollisuus	0,0%	10,0%	40,0%	10,0%	40,0%	3,8	3,5
Koontiraportointi helpottamaan aika-ajoin tehtävää raportointia	0,0%	0,0%	10,0%	10,0%	80,0%	4,7	5,0
Kalibrointitarkkuus	0,0%	0,0%	20,0%	10,0%	70,0%	4,5	5,0
Järjestelmätoimittajan tekninen tuki	0,0%	0,0%	10,0%	20,0%	70,0%	4,6	5,0
Järjestelmätoimittajan antama koulutus	0,0%	0,0%	0,0%	30,0%	70,0%	4,7	5,0
Joku muu ominaisuus, mikä?	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	5,0	5,0

Vastausvaihtoehdot	Teksti
Joku muu ominaisuus, mikä?	helppokäyttöisyys

Viimeisenä avoimena kysymyksenä kyselyssä kysyttiin ”mitä ominaisuuksia erityisesti toivoisit uudelta olosuhdemittausjärjestelmältä?”. Tämän avoimen kysymyksen vastaukset litteroitiin ja siitä saatiin muodostettua kattava kuva vastaajien haluamista ominaisuuksista. Tärkeimpänä pidettiin järjestelmän toimivuutta ja luotettavuutta, joilla on tärkeä merkitys olosuhdeseurannalla on kokoelmille ja sitä kautta konservaattoreille. Yhtä tärkeänä ominaisuutena pidettiin helppokäyttöisyyttä ja etäluettavuutta. Kiinnostavana asiana pidettiin mahdollisuutta lisämittauksiin niin määrällisesti kuin myös erilaisten mittaussuureiden osalta.

Seuraavana arvostuksessa tulivat hälytystoiminnot ja paikallinäyttötarve. Hälytystoiminnot antavat mahdollisuuden nopeaan reagointiin häiriötapauksissa ja paikallinäytöillä halutaan saada olosuhdetieto selville tilassa käydessä. Näiden kanssa yhtä merkityksellisinä koettiin histogrammit ja niiden analysointimahdollisuudet sekä järjestelmässä, että tarvittaessa järjestelmän ulkopuolelle vietynä.

Järjestelmältä toivottiin lisäksi hyvää koontinäkömahdollisuutta ja latausmahdollisuutta siten ettei toimittaisi välttämättä pelkän pariston varassa (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kyselyn tuloksia osa 11 (Webropol, 2023)

11. Mitä ominaisuuksia erityisesti toivoisit uudelta olosuhdemittausjärjestelmältä?

Vastaajien määrä: 8

Vastaukset
<p>helppokäyttöisyys, luotettavuus, helppo luettavuus ja toimivuus haastavissa olosuhteissa ajantasaisten ulko-olosuhteiden liittäminen mitattavan sisäkohteen arvoihin</p>
<p>etäluettavuus, histogrammi pitkältä aikaväliltä, toimivuus erilaisissa tiloissa (vitriinin sisällä, lämmittämättömissä tiloissa jne.)</p>
<p>Etäluettavuuden lisäksi sensoreissa olisi myös näyttö, josta vallitsevat olosuhteet tarvittaessa nähtävissä ilman, että jokaisella tarvitsee olla pääsy järjestelmään.</p>
<p>Yksinkertainen ja helposti arkirutiineihin sujahtava työkalu olosuhteiden ja ympäristön seuranta.</p>
<p>etäluettavuus, hälytys arvojen ylittyessä tai alittuessa, mahdollisuus mittaustulosten pitkäaikaisanalyysiin/näkymään vapaasti valittavalla ajanjaksolla.</p>
<p>etäluettavuus, etäluettavuus, etäluettavuus tallennetun datan luettavuus ilman erityistä ohjelmaa (esim. voi viedä tulokset Excelliin mutta myös muodostaa raportin pdf:nä halutessaan) loggerit kestävät pakaste/kylmiöolosuhteita tarvittaessa</p>
<p>Helppokäyttöisyys, mahdollisuus saada ulos järjestelmästä histogrammeja eri pituisilta ajoilta esimerkiksi raportointia tai esitelmiä varten. Voisiko olla ladattavissa jollain muulla tavalla kuin erikoiskokoisilla pattereilla? Jatkuva seuranta, hälytys jos laite lakkaa toimimasta. Kastepiste on tärkeä erityisesti kylmissä kohteissa. Näkyvän valon, keinovalon ja LED-luksitasojen mittausta.</p>

Luotettavaa asiakastukea, selvää koontinäkömää ja lisää mitattavia arvoja. Toivon että mittaristot voi lukea myös siellä tilassa mitä ne mittaavat, koontinäytön lisäksi. Koontinäyttöjen pitäisi olla selkeät lukea.

3.2 Kyselytulosten analysointi

Kyselyn suunnittelu ja toteutus menivät hyvin suunnitelman mukaisesti. Kyselyn tulokset noudattelivat melko tarkasti sitä linjaa, joka oli tullut keskusteluissa esille. Vastausprosentti nousi lopulta riittävän korkeaksi, mutta ilman muistutus -viestejä, siihen tuskin olisi päästy. Vastausten anonymiteetti onnistuttiin säilyttämään, kuten oli tarkoituskin ja sillä saatiin vastaajilta rehellisiä ja luotettavia näkemyksiä aiheesta. Kysymykset olivat yksinkertaisia ja selkeitä eikä kyselyn aikana tullut yhtään lisäkysymys yhteydenottoa.

Luotettavien tulosten alarajana tässä kyselyssä pidettiin 30 prosenttia, sillä etukäteen ei tiedetty, kuinka suuri osa konservaattoreista seuraa tai on seurannut aktiivisesti olosuhteita. Kyselyyn vastasi 10 henkilöä 27:stä, joten vastaamisprosentiksi muodostui 37. Vastausprosentin perusteella tuloksia voidaan pitää luotettavina. Kyselyn reliabiliteetti ja stabilitetti ovat hyviä. Tekemällä sama kysely uudelleen sopivan ajan kuluttua, olisi mahdollista luotettavasti verrata saatuja tuloksia keskenään, ja nähdä mihin suuntaan tilanne on kehittynyt.

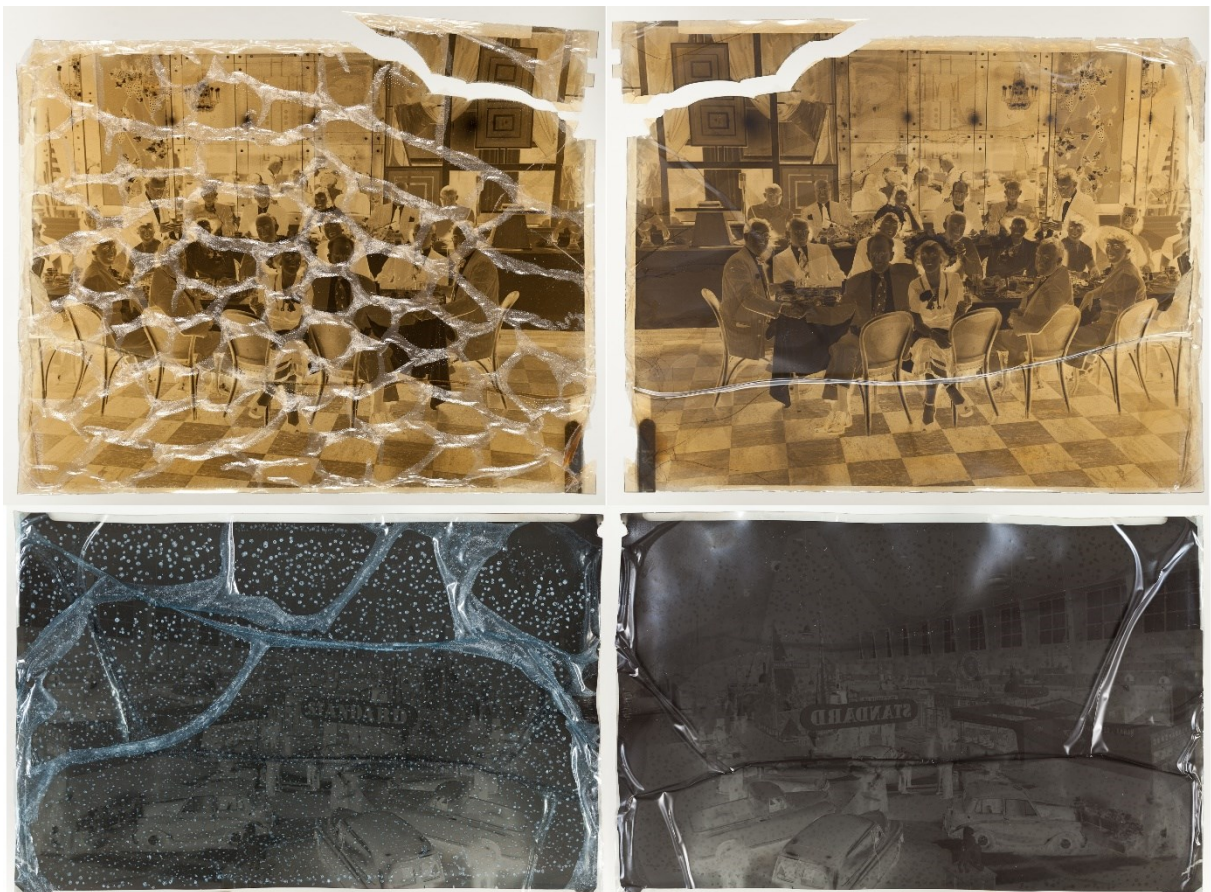
Tulosten perusteella on havaittavissa että Museovirastolla seurataan juuri niitä pääsuureita, kuten lämpötilaa, kosteutta, valaistusvoimakkuutta, kastepistettä ja kemiallisia yhdisteitä, joita alalla yleisesti suositellaan mitattavaksi. Tuloksista on nähtävissä että konservaattoreilla olisi kiinnostusta laajentaa sekä mitattavia kohteita, että ottaa mukaan uusia mitattavia suureita.

Yhtenä kohteena nähdään olosuhteiden seuranta esinesiiirtojen yhteydessä. Siellä uutena suureena mukaan voitaisiin ottaa värinätason mittaaminen kuljetuksen aikana. Paine-eron

mittaaminen tiloissa toisi lisätietoa kokoelma- ja näyttelytilojen muutoksista, mutta ennen kaikkea rakennuskonservaattorit hyötyisivät siitä.

Kemikaaliyhdisteistä etikkasyndrooman mittaaminen anturitekniikalla olisi valokuvakonservaattoreille hyödyllinen työkalu. Vanhoissa asetaattipohjamateriaalia sisältävissä valokuvissa etikan haju kokoelman lähetyvillä kertoo vaurioitumisen käynnistyneen ja kerran alettuaan vaurioprosessi etenee nopeasti. Haju vahvistuu, negatiivin reunat aaltoilevat ja lopulta pohja irtautuu kuvaemulsion ja antirullautumiskerroksen muodostaessa ilmapussiverkostoja (kuva 11). Samalla vaurioprosessi vaarantaa kokoelman muut valokuvat. (Suomen valokuvataiteen museo, n.d.)

Kuva 11. Vaurioituneita selluloosa-asetattinegatiiveja, vasemmalla pohja- ja oikealla kuvaemulsiopuoli.



Tämän mittatiedon mukaan ottamisella, voitaisiin nopealla reagoinnilla saada kokoelmien vahingoittumisen riskitasoa laskettua. Tähän asti tätä ollaan voitu mitata ainoastaan paperisilla testiliuskoilla.

Pienhiukkasten, homeiden ja mikrobien mittaustieto koetaan kiinnostavina, mikäli niiden mittaamiseen soveltuvia antureita löytyy markkinoilta.

Käyttökokemusta erilaisista mittareista on melko laajasti ja osa kannettavista mittareista on yhdistelmämittareita, joilla on tehty esimerkiksi varmentavia mittauksia muille antureille tai mitattu sellaisia kohteita, joihin ei ole ollut mahdollisuutta saada kiinteää mittausta.

TinyTag -olosuhdemittausjärjestelmää on käyttänyt kymmenestä vastaajasta yhdeksän ja sen käyttämiseen oltiin melko tyytyväisiä kokonaisarvosanalla 2,3, mutta samalla koettiin, että aika alkaa olemaan ajanut siitä ohi. Nykymittausjärjestelmillä ei ole enää tarvetta kerätä tietoa manuaalisesti paikan päällä, ja paristokesto on parantunut huomattavasti.

Tietojen siirto ja pariston vaihto koettiin hankalaksi, vaivalloiseksi ja siihen kohdistui jonkin verran riskejä tietojen kadottamisesta. Antureiden kalibroinneissa ongelmallisena koettiin toiminnan kalleus ja vaikeus järjestää korvaava anturi tilalle. Järjestelmän graafinen käyttöliittymä ja analysointityökalut koettiin sekä hyväksi että huonoiksi. Lisäksi laitteet koettiin jonkin verran epäluotettaviksi, vaikkakin osa oli sitä mieltä, että ne ovat luotettavia. Jotkut vastaajista kokivat, että järjestelmä on helppokäyttöinen ja sen anturit ovat pieniä ja huomaamattomia, sekä sopivat myös kuljetuksien aikaiseen olosuhdetiedon keruuseen. Vahvuutena pidettiin sitä, että ne toimivat ilman verkkoa tietoa kerätessään, jolloin verkkoyhteysongelmat eivät johda tiedon kadottamiseen.

FoxerIoT -olosuhdemittausjärjestelmää on käyttänyt kymmenestä vastaajasta seitsemän. Kokonaisarvosanaksi se sai 2,9. Järjestelmänä se on jo seuraavaa sukupolvea kuin Museoviraston TinyTag -järjestelmä.

Sen heikkoutena pidettiin ennen kaikkea huonoa käyttöliittymää. Muita selviä heikkouksia olivat epäluotettavuus, vaikeudet paristojen seurannassa ja saannissa sekä huono

asiakaspalvelu. Koulutus toimittajan taholta koettiin riittämättömäksi ja osa oli huolissaan tuhoeläinten vaikutuksista antureihin.

Vahvuuksina vastaajat kokivat siihen saatavan laajan kirjon erilaisia mittausantureita.

Etäluettavuutta arvostettiin samoin kuin käyttöliittymän muokattavuutta.

Olosuhdemuutosten reagoitavuuteen antaa mahdollisuuden reaaliaikainen mittausten seuranta. Hyvinä ominaisuuksina pidettiin paristojen pitkää kestoikää ja tietojen automaattista tallennusta, jolloin ei ole tarvetta manuaaliselle tiedon keräämiselle.

Uudelta järjestelmältä kaivattavista ominaisuuksista tärkeimpänä pidetään

helppokäyttöisyyttä, luotettavuutta ja toimivuutta, jotka ovat tärkeitä ominaisuuksia kattavan, luotettavan ja laadukkaan tietoaineiston keräämisessä. Etäluettavuus on ominaisuus, joka koetaan arvokkaaksi, ja se halutaan seuraavaankin järjestelmään.

Lisämittauksille koetaan olevan tarvetta niin määrällisesti kuin eri suureidenkin osalta. Osa vastaajista haluaisi antureihin paikallinäytön helpottamaan tiedon tarkastamista tilassa suoraan. Hyvälle hälytystoiminnolle annetaan arvoa, jotta olosuhdepoikkeamiin voidaan reagoida nopeasti. Tulosten analysoinnissa selkeä histogrammi, analysointityökalut ja mahdollisuus tutkia tietoa tehokkaasti järjestelmässä tai sen ulkopuolisessa ohjelmassa, ovat toivottavia ominaisuuksia. Osa haluaisi antureihin vaihtoehtoisen virtalähteen pariston sijaan. Paristottomuuden esiin nostaminen taas saattaa johtua aiemmin saaduista huonoista kokemuksista aiempien järjestelmien vaihtotyössä. Koontinäyttö useille mittauksille on yhtenä käyttäjien toiveena. Koontinäkymä antaa toimiessaan mahdollisuuden saada yhdellä vilkaisulla kattava katsaus olosuhdetilanteesta.

4 Olosuhdemittausjärjestelmän SWOT -analyysi

SWOT -analyysi sopii avuksi arvioinnin ja vertailun, ideoinnin ja kehittelyn, oppimisen ja ongelmien tunnistamisen, sekä projektien suunnittelun toteuttamiseen. Sillä voidaan analysoida niin kokonaisia suunnitelmia, strategioita kuin yksittäisiä menetelmiä tai materiaaleja. Analyysissa kohteen sisäiset vahvuudet (strength) ja heikkoudet (weaknesses) sekä ulkoiset mahdollisuudet (objectives) ja uhat (threats) kootaan nelikenttäksi.

Nelikenttään koottujen ominaisuuksien pohjalta analysoidaan kohdetta ja tehdään sen pohjalta johtopäätöksiä. (Haukijärvi ym., 2014 ss. 64-65)

Tässä tarkastelussa haluttiin ottaa käyttöön 8 -kenttäinen SWOT -analyysi (Liite 2.) aiheena Olosuhdemittausjärjestelmän kehittäminen Museovirastossa. Sen vahvuutena on 4 -kenttäistä selvemmin löytää kehityskohteet ja niihin ratkaisuja. Analyysi tehtiin kahdessa osassa, joista ensimmäisessä oli mukana 2 osallistujaa tilapalveluista ja toisessa 2 osallistujaa konservaattoreista. Molemmissa ryhmissä oli paikalla opinnäytetyön tekijä yhtenä ryhmän jäsenenä ja sihteerinä. Opinnäytetyöntekijä oli etukäteen itse tutustunut 8 -kenttäiseen SWOT -analyysiin ja kertoi ryhmien jäsenille aluksi 8 -kenttäisen SWOT -analyysin toimintatavasta, jonka jälkeen lomaketta alettiin täyttämään yhdessä siten, että opinnäytetyöntekijä oli osana ryhmää. SWOT -analyysi tehtiin haastattelutyyppisesti, jolloin opinnäytetyön tekijällä oli mahdollista nostaa teknisenä asiantuntijana käsittelyyn tekniikkaan liittyviä osa-alueita ja niiden vaikutuksia. Tämän jälkeen voitiin ryhmässä arvioida merkityksen vaikuttavuutta. Tämä osallistuminen katsottiin välttämättömäksi mahdollisimman kattavan käsittelyn kannalta, vaikkakin samalla huomioitiin, että se voi tuoda opinnäytetyöntekijän subjektiivisuutta jonkin verran mukaan. Tällä toimintatavalla muodostui kaksi erillistä lomaketta, joista opinnäytetyöntekijä teki synteisin.

4.1 Vahvuudet

Olosuhdemittausjärjestelmän kehittämisessä vahvuuksiksi ryhmissä koettiin vahva konservointiosaaminen Museovirastossa. Osallistujilla on hyvin tiedossa mitä mittaustietoja halutaan kerätä ja miten niitä analysoidaisiin. Samalla on kiinnostus kehittää toimintaa kokonaisvaltaisesti, ei vain järjestelmää. Tällä hetkellä koetaan, että tarvittava sisäinen resurssi kehittämiseen löytyy. Avoimuus, yhteishenki ja yhteistyö ovat vahvuuksia sisäisesti ja ulkoisesti.

4.2 Heikkoudet

Heikkouksiksi koettiin käyttäjien tekninen ymmärrys järjestelmistä, mutta todettiin että loppukäyttäjien ei tarvitsekaan tietää toteutustekniikoita kovin syvällisesti. Tiedostettiin,

että oma tietotaito on rajallista laiteohjelmisto- ja tiedonsiirtoalueella. Siten käyttöliittymän ohjelmointi tapahtuu täysin toimittajan toimesta annettujen toiveiden mukaisesti. Mittausantureiden sijoittaminen oikealla tavalla ja datan analysointi vaativat koulutusta. Olosuhdestrategiaprosessit ja -ohjeistus tarvitsisivat läpikäyntiä ja kehittämistä. Fysiikan opinnot mitattavien suureiden osalta vaatisivat kertauskoulutusta. Tunnistettiin heikkoutena eri toimijoiden teknisen sanaston eroavaisuus, joka saattaa haitata kommunikointia.

4.3 Mahdollisuudet

Mahdollisuuksia uudella järjestelmällä voisi olla osaamisen kehittymiseen. Mittaustietoa saataisiin enemmän, mutta tärkeää on kiinnittää huomiota myös siihen, miten sitä käytetään ja saadaan siitä lisäarvoa. Matkustustarve vähenee, kun ei tietoa tarvitse enää käydä keräämässä paikan päältä. Se vaikuttaa kustannustasoon laskevasti. Reaaliaikaiset hälytykset mahdollistavat nopean reagoinnin häiriötilanteissa. Analysointia on mahdollista kehittää edelleen. Esineiden luovuttamat kaasumaiset aineet saattavat jatkossa olla mitattavissa aiempaa luotettavammin.

4.4 Uhat

Uhkina uuden järjestelmän kehittämisessä saattaisi nousta esiin tiedonsiirtoverkkojen pitkäaikainen palvelukatkos, sähkökatkos tai kyberhyökkäys sekä niistä toipuminen. Uhkaksi voi muodostua myös toimittajan konkurssi, omistussuhteiden muutokset tai sopimus erimielisyydet toimittajan kanssa. Resurssipula sisäisesti tai ulkoisesti haittaisi kehittämistä, Oppimisvaikeudet järjestelmän käytössä tai järjestelmän toimintahäiriöt estäisivät mittausjärjestelmän tehokkaan käytön. Ilkivalta tai muu asiaton käyttö kuten antureiden hallitsematon siirtely aiheuttaisivat haittaa tai vääristäisivät mittaustuloksia. Anturin vikaantumisen, tai pariston loppumisen myötä menetettäisiin mittaustuloksia. Tiedonsiirto tuuraustilanteessa tiedostettiin yhdeksi uhaksi, joka tulisi huomioida toiminnassa. On huono asia, jos järjestelmän merkitys ei avaudu käyttäjille, sillä se johtaa helposti järjestelmän käyttämättömyyteen tai laiminlyönteihin. Sama tilanne on siinäkin tapauksessa jos käyttöliittymä koetaan liian vaikeakäyttöiseksi tai jos resurssit eivät riitä käyttöön ja kehitykseen.

4.5 Menestystekijät

Uuden järjestelmän menestystekijöinä mainittiin mahdollisuus kerätä ja analysoida mittausdataa useammasta kohteesta, ja kehittää toimintaa saadun tiedon avulla. Mittauspistekohtainen kustannustaso saadaan laskemaan alemmaksi. Toimintamalli voidaan jakaa saataville myös muille museoille. Hälytysrajojen avulla saavutetaan mahdollisuus nopeaan reagointiin poikkeavissa tilanteissa. Antureiden lähettimien ja virtalähteen pitkä elinkaari ja huoltovapaus ovat positiivinen asia. Molemminpuolista hyötyä kehittämisestä on mahdollista saada toimimalla osaavan ja hyvämaineisen järjestelmätoimittajan kanssa, jolle olemme kiinnostava ja sopiva referenssikohde. Nämä luovat toimittajalle motivaatiota panostaa kehitykseen ja palveluun. Menestystekijöinä nähtiin myös tiedonhaluiset ja opiskeluorientoituneet konservaattorit ja mahdollisuus joustavaan kehitykseen toimittajan kanssa. Samalla todettiin mahdollisuus kehittää olosuhdestrategiaa ja tiedonkulkua yksiköiden välillä.

4.6 Heikkouksiin reagoiminen

Käyttäjien perehdytys ja koulutus, sekä teknisen tuen varmistaminen koettiin tärkeiksi. Mittausantureiden asennus vitriinin sisään ja lähetin ulkopuolelle olisi toimintamalli, jolla kuuluvuus saataisiin luotua vitriinien tai muiden signaalia haittaavien rakenteiden sisältä. Strategian, prosessin ja ohjeistuksen läpikäynti, sekä kehitys toiminnassa olisi olennaista. Olosuhdemittaukseen toivottiin oman olosuhdetiimin perustamista, jolla osaaminen olisi vahvempaa kuin muilla käyttäjillä, ja joka voisi tukea muita, sekä tehdä tarvittavia päätöksiä aiheeseen liittyen. Sopimusta tehtäessä olisi hyvä tehdä tehtävälisäykset molemmille osapuolille, ja varmistaa myös se, että toimittajallakin on varattu riittävät resurssit käyttöön. Omat resurssit myönnettiin rajallisiksi tällä hetkellä, mutta jonkin verran tulisi saada sidottua sitä projektiin. Toimittajan kiinnostus asiaamme kohtaan on tärkeää, samoin kuin varajärjestelmän olemassaolo. Muutaman ylimääräisen anturin tai varalaitteiden hankinta voisi olla järkevää, joiden avulla mittauksia on mahdollista tehdä pienimuotoisesti anturien vikaantumisen yhteydessä. Järjestelmän redundanttisuuden huomioiminen olisi järkevää, jottei koko järjestelmä pettäisi kerralla vikatapauksissa. Nykyiseen järjestelmään verrattuna olisi hyvä saada mahdollisuus poikkeamien merkintään ja mahdollisesti käsittelyyn

mittausjärjestelmässä, ettei tarvittaisi monia eri järjestelmiä. Yksi merkittävä seikka olisi ottaa tavoitteeksi yksinkertaisuus järjestelmän käyttöliittymässä, esimerkiksi piilottamalla turhat ominaisuudet peruskäyttäjän näkyvistä.

4.7 Uhkatekijöihin reagoiminen

Tehdään selkeät ja hyvät sopimukset toimittajan kanssa. Varmistetaan tiedonkeruun onnistuminen ja tiedon varastointi sähkökatkon aikana ja sen jälkeinen siirto. Tärkeää on, että sähkökatkoista toipuminen tapahtuu kaikilta osin itsenäisesti. Tietoturvallisuuden varmistaminen toiminnassa on tärkeää, sekä varmuuskopiointien ottaminen. Järkevää saattaa olla kerätä historiatietoa myös omille palvelimille. Varmistetaan vaadittavat resurssit sisäisesti ja ulkoisesti, sekä käydään läpi toimittajan kanssa toimintamalli. Sovitaan järjestelmäkoulutuksen järjestämisestä ja sen tallennuksesta myöhempiä koulutuksia varten. Varmistetaan teknisen tuen tarjolla olo. Kehityskohteena voidaan luoda analytiikkaa vertaamaan onko mittaustieto relevanttia vai ei esimerkiksi ristiriitahälytyksenä. On tärkeää saada hälytys pariston loppumisesta tai tiedonsiirron katkeamisesta. Sisäisen prosessin osalta käydään läpi perehdytys tuuraajille ja kakkososaajille kokoelmittain ja luodaan osaamismatriisi. Etsitään keinot omassa toiminnassa, ettei tietoa katoa muutostilanteissa. Koko henkilöstön informointi uudesta järjestelmästä koetaan tärkeäksi.

4.8 Kriisitilanteet

Kriisitilanne voi syntyä, jos osaamista ei kaikesta huolimatta saada halutulle tasolle, tai käyttäjien tyytymättömyys järjestelmään johtaa sen käyttämättömyyteen. Ongelmia voi aiheuttaa myös toimittajan sopimuksen irtisanominen, tai jos laitteet eivät toimi halutulla tavalla. Asiakaspalvelun tai teknisen tuen puuttuminen voi johtaa isoihin ongelmiin. Ongelmallista on myös jos asiakkuutemme ei kiinnosta toimittajaa tarpeeksi toimivan palvelun tuottamiseksi.

4.9 SWOT -analyysin tulosten analysointi

SWOT -analyysin synteesin mukaan tilapalveluasiantuntija- ja konservaattoriryhmät kokivat, että edellytykset uuden olosuhdemittausjärjestelmän kehittämiseksi olivat olemassa, ja sillä voitaisiin saavuttaa halutut tavoitteet olosuhdemittausjärjestelmän kehittämisessä. Samalla olisi mahdollista kehittää myös prosesseja ja käytäntöjä aiheeseen liittyen. SWOT -analyysiin kokonaisuutena osallistui melko pieni määrä henkilöitä, mutta analyysissä tavoitteena ei ollutkaan saada mahdollisimman suurta otantaa henkilöstöstä, vaan saada esiin olosuhdemittauksia tekevien ja järjestelmistä vastaavien näkökulmia uuden järjestelmän hankintaan liittyen. Tilapalveluiden osalta määrä oli 75% osaston henkilöstöstä, kun taas konservaattoreista mukana oli ainoastaan 8% koko määrästä. SWOT -analyysiin osallistuvilla henkilöillä oli kaikilla useiden vuosien kokemus Museoviraston palveluksessa olosuhteiden parissa työskentelystä, joten saatuja tuloksia voidaan pitää valideina, etenkin kun keskustelut useiden eri asiantuntijoiden kanssa opinnäytetyön aikana tukevat tätä linjaa. Analyysiryhmät nostivat esille samoja teemoja ja mielipiteitä eri osa-alueilla, olivat yhteneväisiä, ja osallistujat pystyivät käsittelemään aihetta laaja-alaisesti. Opinnäytetyöntekijä pyrki pysymään mahdollisimman objektiivisena, joten analyysitulosten reliabiliteettiä voidaan pitää hyvänä. Saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina ja hyvänä työkaluna järjestelmän jatkokehityksessä.

5 Mittausjärjestelmän valinta kokoelmien olosuhdeseurantaan

Opinnäytetyötä aloitettaessa arveltiin, että LPWAN LoRa -verkkoteknologiaan perustuva olosuhdemittausjärjestelmä saattaisi olla ratkaisu, jolla tavoitteena oleva kehitysaskel kustannustehokkaampaan ja toimivampaan olosuhdemittausjärjestelmään kannattaisi toteuttaa, aiemmin käytetyn, LPWAN Sigfox -verkkoteknologiaan kuuluvan ikääntyneemmän tekniikan sijaan. Samalla tiedostettiin järjestelmän koostuvan antureista, tiedonsiirtoyhteydestä, sekä pilvipalvelussa toimivasta käyttöliittymästä, joissa ajan myötä oli tapahtunut merkittävää kehitystä. Yhtenä tärkeimmistä pidettiin käyttöliittymän ominaisuuksien soveltumista konservaattoreiden käyttöön. Kyselystä saadut vastaukset tukivat vahvasti näitä näkemyksiä. Näistä lähtökohdista katsottiin tarpeelliseksi verrata LPWAN -tekniikoita, ja valita vertailun pohjalta niistä käyttöön soveltuvin.

5.1 LPWAN -tiedonsiirtotekniikat vertailussa

LPWAN tulee sanoista Low-Power Wide-Area network ja tarkoittaa matalatehoista laajan alueen verkkoa. Se on suunniteltu internet of things (IoT) -laitteille ja -sovelluksille, jotka tarvitsevat matalia datan nopeuksia, pitkää akkukestoa ja edullista toteutusta. Teknologia toimii lisenssivapailla taajuuksilla ja käyttää tähtimäistä topologiaa yhdistyäkseen internetiin. Teknologian soveltuvuus on erityisen hyvä tilanteissa, joissa suuri määrä laitteita tarvitsee yhdistää pitkiä matkoja matalalla virrankulutuksella ja vähäisellä datan siirtotarpeella.

(Deutsche Telekom, 2021)

LPWAN -teknologian alle kuuluu kolme ominaisuuksiltaan erilaista pienitehoista ja laaja-alaista verkkotekniikkaa. Ne ovat NB-IoT(Narrowband IoT), LoRa ja Sigfox. Näitä monesti verrataan suoraan toisiinsa, mutta se ei ole relevanttia, sillä jokaisella on omat erityispiirteensä ja niiden merkityksen ymmärtäminen on valinnan kannalta olennaista. (Link Labs, 25.6.2018)

5.1.1 NB-IoT

Narrow Band IoT eli NB-IoT on matkapuhelinjärjestelmien teknisiä määrittelyjä luovan usean järjestön yhteistyöorganisaatio 3GPP:n standardoima LPWAN -teknologia. Sen kehittämiseen osallistui monia maailman suurimpia tietoliikenneyrityksiä, kuten Nokia, Ericsson, Huawei ja Intel. NB-IoT eroaa LoRa:sta ja Sigfoxista siinä, että kun ne käyttävät lisenssivapaita ISM -taajuusalueita, NB-IoT toimii lisensoituilla matkapuhelinverkon taajuuksilla. Tästä syystä NB-IoT-yhteyksiä pystyvät käytännössä tarjoamaan vain vakiintuneet teleoperaattorit. (Järvinen, J., 2017, s. 18)

Koska NB-IoT käyttää lisensoituja taajuuskaistoja, sen ei tarvitse noudattaa samoja laillisia rajoituksia kuin LoRa:n ja Sigfoxin. NB-IoT-teknologiassa ei ole määrättyä viestien suurinta lähetysmäärää, vaan se voi liikennöidä tarpeen mukaan kuinka monta kertaa päivässä tahansa. NB-IoT:n tiedonsiirtonopeus on myös suurempi: teoreettinen maksiminopeus on 235 kilobittiä sekunnissa. Normaaliin 4G -yhteyteen verrattuna NB-IoT:llä on 20 dB suurempi linkkibudjetti, mikä parantaa kuuluvuutta varsinkin sisätiloissa ja maan alla. Päätelaitteissa

käytettävien moduulien hintojen arvioidaan asettuvan muutamien eurojen tietämille, ja akkukestoksi luvataan yli kymmentä vuotta. (MOKOLoRa, 14.9.2021)

NB-IoT:n vahvuuksia ovat laaja verkon peittoalue usealta operaattoreilta useissa maissa, sekä teknisesti tehokas kaistan käyttö, sillä teknologia käyttää kapeakaista spektriä, mikä mahdollistaa tehokkaan kaistan käytön ja vähentää häiriöitä muiden tekniikoiden kanssa. Sillä on myös hyvä luotettavuus ja kestävyys, mikä tekee siitä soveltuvan käytettäväksi kriittisissä sovelluksissa. NB-IoT -laitteet kuluttavat vain vähän virtaa, joten ne soveltuvat hyvin käytettäväksi paristokäyttöisissä laitteissa. (MOKOLoRa, 14.9.2021)

NB-IoT:n heikkouksiksi voidaan laskea rajoitettu datanopeus, korkeat viiveet verrattuna moniin muihin tekniikoihin, laitteiden korkea hinta johtuen kalliimmasta tarvittavasta solujen yhdistämisestä ja monimutkaisempi toteutus kuin muissa IoT -tekniikoissa. (Link Labs, 25.6.2018)

5.1.2 LoRa

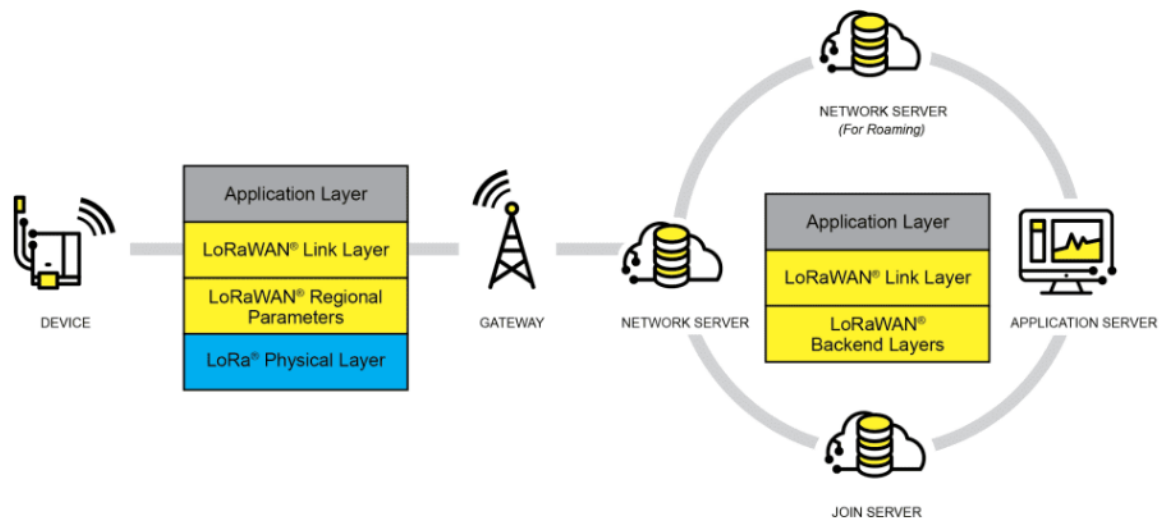
LoRa on langaton LPWAN -verkkoteknologia (Low Power Wide Area Network). Sen on kehittänyt ja patentoinut yhdysvaltalainen yritys nimeltä Semtech. Yritys myös valmistaa ja lisensoi yksinoikeudella LoRa -teknologiassa käytettäviä piirisarjoja. (Järvinen, J., 2017, s. 10)

LoRa-laitteet kommunikoivat keskenään käyttäen LoRaWAN -tietoliikenneprotokollaa, joka on globaali avoin standardi. Sen määrittelee ja sitä hallinnoi yleishyödyllinen LoRa Alliance -yhteisö. Yhteisöön kuuluu jo satoja yrityksiä ja järjestöjä, joista tunnetuimpina ovat muun muassa. Cisco ja IBM. (Järvinen, J., 2017, s. 10)

LoRa:n tavoitteena on mahdollistaa turvallinen kahdensuuntainen liikenne, liikkuvuus ja paikannuspalvelut. Verkko muodostuu päätelaitteista, yhdyskäytävistä (gateway) ja taustalla toimivista palvelimista ja sovelluksista. Päätelaitteet ovat yhteydessä yhdyskäytäviin LoRaWAN -protokollaa käyttäen, ja yhdyskäytävät välittävät tiedon eteenpäin

taustajärjestelmiin, käyttäen standardia IP -protokollaa, esimerkiksi Ethernetin, matkapuhelinverkon tai langattoman lähiverkon kautta. (Järvinen, J., 2017, s.11)
Kuvassa 12 on esitetty LoRa -verkon topologia.

Kuva 12. LoRaWAN -verkon topologia. (LoRa Alliance, n.d.-a)



LoRa -tekniikan heikkouksina voi olla verkon peitto, joka ei välttämättä ulotu kaikkialle. Latenssiaika on LoRa -järjestelmässä pidempi verrattuna muihin tekniikoihin, joka voi olla haitta joissakin real-time -sovelluksissa. LoRa järjestelmä voi olla kalliimpi kuin halvimmat langattomat tekniikat, ja siinä on rajoitettu datanopeus, joka voi olla riittämätön suurille tiedonsiirtomäärille. (MOKOLoRa, 14.9.2021)

LoRa -tekniikan vahvuuksina voidaan pitää laajaa kantoaluetta, joka mahdollistaa kaukolähtimen käytön ilman, että signaali heikkenee merkittävästi. Alhainen virran kulutus, sillä LoRa -järjestelmä kuluttaa vähän virtaa, mikä tekee siitä sopivan pitkäikäisten laitteiden käyttöön. Se tarjoaa luotettavan ja turvallisen tiedonsiirron ilman, että tiedot altistuisivat mahdollisille tietoturvahille. LoRa -tekniikka on yhteensopiva erilaisten laitteiden ja järjestelmien kanssa, mikä tekee siitä monipuolisen valinnan erilaisiin sovelluksiin. (MOKOLoRa, 14.9.2021)

5.1.3 Sigfox

Sigfox on vuonna 2009 perustettu ranskalainen yritys, joka on kehittänyt oman patentoidun LPWAN -verkkoteknologian. Yritys haluaa mahdollistaa yksinkertaiset ja helpon käyttöönoton energiatehokkaat IoT -ratkaisut. Sigfoxin ideana on toimia globaalina IoT-teleoperaattorina. Se ei itse valmista eikä myy laitteita tai komponentteja, vaan sen tarkoitus on pelkästään tarjota yhdessä paikallisten kumppaneiden kanssa esineiden internetin tietoliikenneverkko, johon kaikki yhteensopivat laitteet voivat liittyä. (Järvinen, J., 2017 s. 14)

Sigfox -päätelaitteissa käytetty teknologia on täysin avointa, mikä tarkoittaa, että mikä tahansa laitevalmistaja voi valmistaa verkossa toimivia laitteita. Tämä edesauttaa kilpailua ja painaa siten laitteiden hintoja alaspäin. Jokainen käyttöönotettava laite täytyy rekisteröidä verkkoon, ja niistä maksetaan hieman perinteisen matkapuhelinliittymän tavoin esimerkiksi vuosittaista tilausmaksua paikalliselle Sigfox -operaattorille. (Järvinen, J., 2017 s. 15)

Heikkouksina voidaan mainita Sigfox -teknologian tiedonsiirtonopeus, joka on hyvin alhainen, joten se ei sovellu suuria määriä tietoa vaativille sovelluksille. Siinä on myöskin matala tietoturvaso, mikä tekee siitä alttiin mahdollisille tietoturvahäiriöille. Verkon kannattavuusongelmia saattaa myös esiintyä. (MOKOLoRa, 14.9.2021)

Teknologian vahvuuksina on alhainen virrankulutus, joka mahdollistaa laitteiden pitkän toiminnan ilman uudelleen lataamista. Se on kustannustehokas ja siinä on helppo käyttöönotettavuus, sillä siinä ei tarvita erikoisosaamista tai laitteita. (MOKOLoRa, 14.9.2021)

5.2 Tiedonsiirtotekniikan valinta

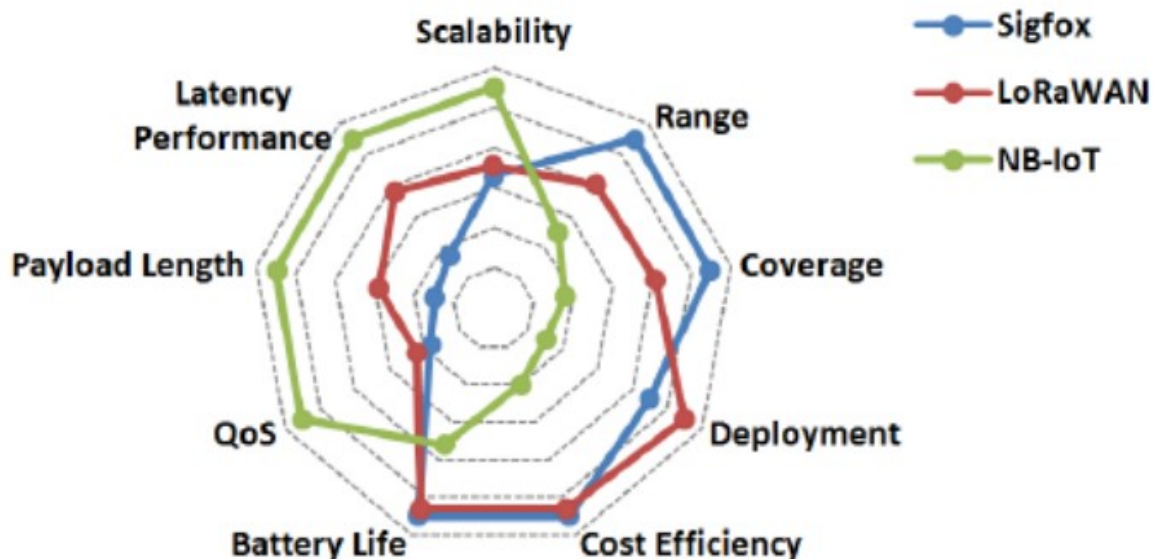
LPWAN -tekniikoiden vertailun myötä soveltuvimmaksi tiedonsiirtotekniikaksi osoittautui LoRa, joka olisi Museoviraston olosuhdemittausjärjestelmän toteuttamiseen sopivin. Vahvuuksina olivat etenkin riittävä tiedonsiirtonopeus mittauskäyttöön, edullinen kustannustaso (kuva 13), hyvä tietoturva ja pitkä signaalin kantavuus, mahdollisuus kaksisuuntaiseen liikennöintiin, mahdollisuus mitata liikkuvia kohteita ja kerätä tietoa

mobiilisti esim. näyttelylaineissa. Siihen on saatavissa paljon erilaisia ja hyvin saatavilla olevia antureita, sekä pitkä akun kesto johtuen verkkotekniikan energiatehokkuudesta. Iso merkitys on myös sillä, että Digita tarjoaa ja valvoo LoRaWAN -yhteensopivaa IoT -verkkoa koko Suomen alueella. LoRa on muita LPWAN -tekniikoita kehittyneempi toimintaympäristöltään. Kuvassa 14 on LPWAN -tekniikoiden osa-alueiden vertailua.

Kuva 13. LPWAN -tekniikoiden kustannusvertailua. (Researchgate, 2018)

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRaWAN	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3-5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15000€/base station	>20€

Kuva 14. LPWAN -tekniikoiden osa-alueiden vertailua. (Researchgate, 2018)



Digita on LoRa Alliancen jäsen. LoRaWAN -verkkoa hyödyntävät IoT -ratkaisut ovat edullisia ja pitkäikäisiä. Tiedon keräämiseen käytetyt anturit ovat kevyitä ja yksinkertaisia asentaa paikalleen, eivätkä vaadi kaapelointeja. Antureissa käytettävä akku tai paristo voi kestää jopa 10 vuotta, joten ratkaisut ovat käytännössä lähes huoltovapaita. Yleisesti dataliikenne on päätelaitteesta eli anturista verkkoon päin. Viestien tyyppilliset lähetystiheydet ovat 15:sta 60:een minuuttiin. (Farin, J., n.d.)

LoRa -tekniikan etu muihin modulaatoratkaisuihin verrattuna on hyvä radiokuuluvuus pitkilläkin etäisyyksillä tehonkulutuksen samalla pysyessä minimissä. LoRa perustuu hajaspektrimodulaatioon, jonka ominaisuuksiin kuuluu suuri häiriönsieto sekä muun muassa heijastumien ja diffraktion pieni vaikutus signaaliin. Matkapuhelinteknologiasta tutun hajaspektritekniikan avulla vastaanotettu signaali voidaan tunnistaa kohinatason alapuolelta. LoRaWAN -tiedonsiirto voi olla yksi- tai kaksisuuntaista ja se on jaettu eri taajuuskanaville ja nopeuksille. Tiedonsiirtonopeuden valinta riippuu anturin ja keskusverkkopalvelimen etäisyydestä sekä datamäärästä. Yleisimmin LoRaWAN -verkossa tiedon siirtonopeus on 0,3–50 Kb/s. Tyyppilliset tiedonsiirron datamäärät ovat muutamia kymmeniä tavuja. (Farin, J., n.d.)

LoRaWAN -verkkoa voidaan hyödyntää erilaisissa esineiden internetin (IoT:n) ratkaisuissa, joissa tarvitaan kustannustehokasta ja toimintavarmaa tiedonsiirtoa. LoRaWAN -ratkaisut sopivat erityisesti pienten datamäärien lähettämiseen ja vastaanottamiseen joissa tiedon lähetyseläisyys voi olla useita kymmeniä kilometrejä riippuen maaston profiilista. LoRaWAN on tietoturvallinen ratkaisu johtuen salatusta tiedonsiirrosta, joka on toteutettu kolmessa verkon eri kerroksessa. Päätelaitteella, sen käyttämällä sovelluksella ja radioverkolla on omat yksilölliset salausavaimet, joilla taataan turvallinen tiedonsiirto antureiden ja palvelimen välillä. (Farin, J., n.d.)

Heikkouksina tunnistetuista ominaisuuksista, kuten latenssista ei ole Museoviraston olosuhdemittausjärjestelmässä haittaa, koska tarvetta reaaliaikaiselle mittauksen seurannalle ei ole. Järjestelmässä ei ole myöskään tarvetta siirtää suuria määriä tietoa, vaan LoRan tarjoama kapsiteetti on riittävä. Kuvassa 15 on esitetty LoRa -tekniikan vahvuuksia.

Kuva 15. LoRa -tekniikan vahvuuksia (LoRa Alliance, n.d.-b)



5.3 Mittausjärjestelmän toimittajan valinta

Tiedonsiirtotekniikan valinnan jälkeen kartoitettiin sille soveltuvia suomalaisia järjestelmätoimittajia. Arvioinnissa merkittäviä seikkoja oli järjestelmän ja käyttöliittymän muokattavuus haluttuun käyttöön, toimittajan aihealueen laaja-alainen osaaminen, teknisen tuen saatavuus, referenssit, luotettavuus, käytön helppous ja erityisesti kustannustehokkuus. Toimittajista vertailun jälkeen sopivimmalta vaikuttaisi Fidera.

Fidera Oy on vuonna 2013 perustettu suomalainen teknologiayhtiö, joka on kehittänyt reaaliaikaisen IoT -tekнологiaan perustuvan analytiikkapalvelun, joka on käytössä useilla eri toimialoilla.

Heidän tavoiteenaan on mahdollistaa monenlainen tiedonkeruu ja analytiikka yhdistäen erilaisia sensori- ja videoanalytiikan työkaluja innovatiivisesti ja kustannustehokkaasti.

Palveluitamme käytetään niin kansainvälisissä pikaruokaketjuissa, Suomen suurimmissa rakennusyhtiöissä, isoissa kaupoissa, valtakunnallisissa hotelliketjuissa kuin pienissä turvaa vaativissa kohteissakin. (Fidera, n.d.)

Tutkimuksen tuloksissa on selvästi nähtävissä, että käyttöliittymällä on suuri merkitys käyttäjille. Niiden valossa helppokäyttöisyyttä ja toimivuutta eri järjestelmän osa-alueilla pidetään tärkeinä. Oikeastaan ainoa asia, jota ei pidetty niin merkittävänä oli järjestelmän personoitavuus.

Järjestelmätoimittajilla on hyvin yleisesti olemassa ohjelmistostaan peruspaketti, joka sisältää tietyt ominaisuudet. Vaikka tarvetta henkilökohtaiseen ja käyttäjäryhmäkohtaiseen personointiin ei ehkä koetakaan olevan, niin merkittävää on, kuinka suuri osuus konservaattoreiden kaikista tarvitsemista ominaisuuksista saadaan toteutettua ja millä tavoin.

Kuten SWOT -analyysillä todettiin, pilvipalvelussa tärkeiksi asioiksi nousevat tietoturvan ja varmuuskopioiden hallinta, sekä järjestelmän toipuminen häiriötilanteista kuten esimerkiksi tietoliikenne- tai sähkökatkoksesta. Tärkeää on järjestelmän käytön osaaminen, johon voidaan vaikuttaa käyttäjien koulutuksella.

5.4 Mitattavat suureet ja antureiden valinta

Cassar toteaa kirjassaan (Cassar, 1995, s. 55), että suhteellista kosteutta ja lämpötilaa tulisi mitata jatkuvasti sisä- ja ulkotiloista, sillä ne ovat kriittisimmät suureet, joita tarkkailemalla esimerkiksi olosuhteen hallintajärjestelmissä olevat viat saadaan havaittua mahdollisimman aikaisin.

Näkyvän valon ja ultraviolettisäteilyn tasoja tulisi mitata säännöllisesti etenkin kohteista, joiden kokoelmissa on värjättyjä pintoja. Ultraviolettisäteilyn määrää on syytä mitata jos muutoksia näyttelyssä on tapahtunut ja muutoinkin aika-ajoin. Auringonvalon lisäksi keinovalolähteet kuten valaisimet ovat ultraviolettisäteilylähteitä.

Tuhohyönteiset voivat aiheuttaa hyvin nopeastikin vaurioita esineistölle. Niitä varten tulisikin olla olemassa tuholaiistorjuntaohjelma, jolla niiden vaikutusta voidaan estää ennaltaehkäisevästi.

Vaikkakaan ilmansaasteet eivät ole yleensä suurin vaaratekijä kokoelmille, sisätiloissa olevat saasteet aiheuttavat suuremman vaaratekijän esineille, kuin ulkoilman saasteet. Yksi tapa tilanteen toteamiseen on esimerkiksi käyttää ilmanlaatukonsulttia joka 5 vuoden välein tilanteen arviointiin. Suurimpia lähteitä ilmansaasteille sisätiloissa ovat:

- rakennuksen sisustukseen ja pinnoitusmateriaalien hajoamistuotteet
- ympäristötekijät kuten lämmitys ja jäähdytys
- toimistolaitteet kuten kopiokoneet
- henkilökunnan ja vieraiden aktiviteet tiloissa
- museoesineiden hajoamistuotteet
- ulkopuoliset tekijät, kuten liikenteen päästöt

Kävijämäärää näyttelytiloissa olisi myös hyvä mitata, jotta voidaan ristiin tehtävällä mittaustuloksien vertailulla arvioida vieraiden vaikutusta sisätilojen olosuhteisiin. Suuri määrä ihmisiä pienessä tilassa voi nostaa suhteellisen kosteuden ja lämpötilan määrää suljetussa tilassa. Myös vieraiden tai henkilökunnan tuomat saasteet kuten hajusteet ja hiuslakat tai pesuainejäämät vaatteissa, ovat asioita jotka on syytä huomioida tilannetta arvioitaessa. (Cassar, 1995, s. 55).

Näistä suositelluista asioista tuhohyönteiset hoidetaan erikseen olemassa olevan tuhohyönteistorjuntaohjelman avulla. Valaistusmittaukset näyttelyissä suoritetaan erillisen valaistusmittarin avulla konservaattoreiden ohjeiden mukaisesti. Kokoelmien säilytystiloissa mittaukset on tehty yhdessä valaisintoimittajien kanssa ja tilojen käyttäjät, ja automaatio huolehtii, ettei valaistusta turhaan pidetä päällä. Näihin tiloihin olisi toki mahdollista asentaa

mittausjärjestelmään kytketty anturointi tarvittaessa varmistamaan, että valaistuksen kanssa toimitaan niin kuin on suunniteltu. Opinnäytetyötä tehdessä jäi osin epäselväksi pidetäänkö valaistusmittauksista Museovirastossa pöytäkirjaa.

Mitä sitten olisi mielekästä mitata olosuhdemittausjärjestelmällä? Kyselytulosten perusteella mittauksia tulisi tehdä erityisesti lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta. Näitä kannattaisi mitata sisätiloista sekä ulkoilmasta. Näiden lisäksi haluttaisiin mitata VOC - päästöjä, kastepistettä, paine-eroa, etikkasyndroomaa ja tärinää. Tärinän mittaaminen tulisi kyseeseen lähinnä esinesiirroissa ja toteutettaisiin kiihtyvyyssanturilla. Etikkasyndrooman mittaamisesta valokuvakokoelmille saattaisi olla hyötyä, mutta on epäselvää löytyykö siihen tällä hetkellä sopivaa anturia. VOC -anturi kyllä mittaa sitä, mutta ei pysty erittelemään onko kyseessä etikkahappo vai jokin muu kemikaali. Toinen haaste mittauksessa on kannelliset säilytyslaatikot, jotka eivät välttämättä päästä kaasuja anturin vaikutusalueelle.

Näyttelyissä järjestelmällä voitaisiin lisäksi henkilölaskentaa, joka tällä hetkellä tehdään monin paikoin manuaalisesti eikä tietoa hyödynnetä kovin laajalti.

Jatkuvalla paine-eroseurannalla olisi mahdollista saada kiinteistöautomaation ilmanvaihdon häiriöistä ilmoitus varhaisessa vaiheessa. Paine-eron mittaamiseen vaikuttaa kuitenkin moni asia, kuten (Björkroth, 2019, ss. 3-4) raportissaan mainitsee. Tällaisia ovat ilmanvaihtokoneiden ulko- ja poistoilmakoneiden ilmavirrat, rakennuksen korkeus ja sijainti, ulkoilman sekä sisäilman välinen lämpötilaero, ilmavuotoreitit rakennuksen sisällä, ulkovaipan tiiviys sekä vuotoilmavirran suuruus, palopeltien sulkeutumiset ja muut laiteviat, sekä ilmanvaihtojärjestelmän automaatio.

Tästä syystä paine-ero -mittauksien tulosten tulkinta ei ole niin helppoa ja suoraviivaista kuin esimerkiksi lämpötilan. Historiatietoa seuraamalla voi kuitenkin havaita muutoksia ja nostaa niitä asiantuntijoille tarkempaan tarkasteluun.

Samoin olisi kiinnostusta tutkia konservoitujen rakennusten sisätilan painetta ala- ja yläpohjan välillä. Joitakin yksittäisiä mittauksia manometrillä on jo toteutettu. Alipaineisuus tai neutraaltila on tavoitteena myös kokoelmien säilytysrakennuksissa, ja sen vertaaminen

ulkoilman paineeseen nähden saattaisi olla järkevää antamana hälytyksen poikkeavissa tilanteissa.

Anturitekniikkaa on saatavilla hyvin monipuolisesti erilaisiin tarpeisiin, joten poissuljettua ei olisi mitata ilmanlaatua tiloissa käyttäen pienhiukkassensoria, sillä sen avulla voitaisiin seurata tilojen puhtautta ja saada esiin esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden suodatuksessa tapahtuvat häiriöt, sekä se kuinka ilmansaasteet pääsevät kulkeutumaan ulkoa sisätiloihin.

5.5 Käyttöliittymä

Tärkeänä ominaisuutena tutkimuksessa koettiin käyttöliittymän helppokäyttöisyys ja mahdollisuus saada tarvittavat tiedot kätevässä muodossa esille. Fidera Flow -järjestelmä antaisi mahdollisuuden monitoroida mittauksia tietokoneella tai mobiilisti mistä tahansa. Siihen voitaisiin määrittää halutut hälytysrajat ja saada ne tekstiviestinä tai sähköpostina. Haluttuja mittauksia voitaisiin tarkastella halutulta ajanjaksolta. Järjestelmään olisi mahdollisuus luoda tilannekuva halutuista mittauksista, sekä saada siitä esille tarkat raportit (kuva 16). Näin ollen lähes kaikki käyttäjien haluamat ominaisuudet olisi mahdollista saada Fidera Flow -käyttöliittymään. Kommentointimahdollisuus olosuhdepoikkeamille mittauspisteen aikajanaan saattaa olla vielä selvityksen alainen toiminto, mutta se sujuvoittaisi poikkeamahistorian keräämistä, mikäli se saataisiin mittauspistekohtaisena lisätietona.

Kuva 16. Fidera Flow -käyttöliittymä (Fidera, n.d.)



6 Johtopäätökset

Ensisijainen tutkimuskysymys, johon tällä tutkimuksella lähdettiin hakemaan vastausta oli: Millainen olosuhdejärjestelmä ja -tekniikka olisi sopiva Museoviraston konservaattoreille kokoelmien olosuhdeseurantaan? Sen ohella haluttiin selvittää: Millaisia hyötyjä ja kustannussäästöjä uudella järjestelmällä voitaisiin saavuttaa? Mitä vahvuuksia, heikkouksia, uhkia tai mahdollisuuksia uuden järjestelmän valinnassa olisi syytä ottaa huomioon. Näihin kysymyksiin vastatakseen tutkimus alkoi haastattelemalla Museoviraston henkilöstöä. Kokoneiden asiantuntijoiden kautta oli mahdollista saada paljon tietoa mittausten toteutustavoista Museoviraston historiassa ja luoda kokonaiskuva aiheesta. Samalla alkoi nousta esille erilaisia kehityskohteita aiemmin käytetyissä järjestelmissä, ja vahvistui näkemys siitä, että aihe olisi sopiva opinnäytetyöksi.

Saatuani aiheenvalinnasta hyväksynnän opinnäytetyöni ohjaajalta ja esihenkilöltäni, aloin miettimään, mikä olisi paras tapa edetä. Koska huomasin kuinka tärkeä työkalu olosuhdemittausjärjestelmä konservaattoreille on, päätin kerätä käyttäjien kokemuksia,

näkemyksiä ja toiveita kyselyn avulla. Kyselyä laatiessani mietin, onko tarvetta profiloida vastaajia ryhmiin, mutta tulin siihen tulokseen, ettei siitä olisi tutkimukseen juurikaan lisäarvoa. Seuraavaksi mietin olisiko parempi tehdä anonyymikysely vai ei. Päätin, että paras tapa saada mahdollisimman rehellisiä vastauksia oli tehdä siitä anonyymi, joka myöhemmin osoittautui hyväksi valinnaksi. Tutkimuskysymyksiä valitessani halusin saada selville minkälaisia mittauksia konservaattorit olivat aiemmin tehneet, mitä kokemuksia heillä oli niistä, mitä ominaisuuksia he arvostavat ja mitä eivät, sekä millaisia ominaisuuksia he toivoivat uudelta mittausjärjestelmältä.

Vastaajamäärä oli lopulta melko hyvä 37 prosenttia. Keskusteluissa henkilöstön kanssa kävi ilmi, etteivät kaikki konservaattorit välttämättä käytä tällä hetkellä mittauksia työssään, niin niiden osalta, jotka käyttävät ja vastasivat, prosenttiosuus voidaan olettaa olevan korkeampi kuin 37. Tässä mielessä tuloksia voidaan pitää hyvinkin kattavina ja luotettavina sekä virhemarginaalia pienenenä. Kyselyn raportointia tehdessäni yllätyin positiivisesti, kuinka paljon avoimiin kysymyksiin oli kirjoitettu tekstiä. Sen avulla oli hyvä luoda kokonaiskuva miten olosuhdemittauksia haluttaisiin jatkossa kehittää.

Mitä konservaattorit sitten uudelta järjestelmältä odottavat? Toimivuus ja luotettavuus olisivat ominaisuuksia, joita tarvitaan, jotta mittausten laatutasoa saataisiin edelleen parannettua. Aiemmin on saattanut käydä esimerkiksi niin, että anturi on vikaantunut, ja joko sitä ei ole heti huomattu, tai sille ei ole saatu tehtyä tarvittavia huoltotoimenpiteitä nopealla aikataululla, jolloin on jouduttu lisätyönä mittaamaan manuaalisesti erillismittarilla olosuhteita tai jopa menetetty mittaustieto tietyltä ajanjaksolta. Tähän ongelmaan pyrittäisiin löytämään uudella järjestelmällä selkeä parannus. Häiriövarautumiseen kuuluisi määrittää toimintaprosessi, kuinka toimittaisiin, jos häiriö ilmenee. Selvä parannus olisi käyttäjien järjestelmästä saama pariston varaustieto, jolla paristojen tyhjenemisestä johtuvat katkokset voitaisiin välttää. Hälytystieto tulisi saada myös yhteyden katkeamisesta tai tiedonsiirron oleellisesta heikkenemisestä.

Helppokäyttöisyyttä ja etäluettavuutta järjestelmältä haluttaisiin, sillä niillä voidaan säästää merkittävästi aikaa ja vaivaa kokoelmien seurannassa. Konservaattorit osoittivat kiinnostuksensa lisämittaussuureisiin, koska anturikehityksen myötä on tullut mahdolliseksi

mitata monia sellaisia suureita, jotka eivät ole aiemmin olleet mahdollisia. Näillä lisätiedoilla konservointitoimintaa olisi mahdollista kehittää edelleen.

Histogrammit ja analyysit ovat tärkeitä konservaattorien perustyökaluja arvioitaessa kokoelmiin kohdistuneita fysikaalisia rasituksia, ja niiden tulisikin olla hyviä ja käytännöllisiä uudessa järjestelmässä. Toisaalta osa heistä haluaisi mahdollisuuden mittaustiedon viemiseen ulkoiseen järjestelmään tarkempaa analysointia varten.

Aktiivisessa seurannassa hälytyksien toimivuus ja oikein asetetut hälytysrajat olisivat tärkeitä aputyökaluja, jotta voitaisiin reagoida nopeasti erilaisiin häiriötilanteisiin.

Toimintaprosessissa olisi tärkeää huomioida muun muassa henkilöiden poissaolot ja niistä syntyvät varahenkilö tarpeet. Samalla olisi huomioitava, että varahenkilöiden osaaminen ja pätevyys olisivat riittäviä kokoelmien seuraamiseen ja erilaisissa häiriötilanteissa toimimiseen.

Osa järjestelmän käyttäjistä haluaisi antureihin paikallinäytön, jotta tilassa toimiessa tai liikkeessa voisi nähdä mittausarvot. Moneen anturiin tämä mahdollisuus voi olla saatavissa, mutta samalla täytyisi arvioida sen vaikutus virran kulutukseen ja sitä kautta pariston kestoikään.

Järjestelmään haluttaisiin perusteellinen koulutus, ja esimerkiksi sen tallentamisella olisi mahdollista kouluttaa ja perehdyttää uudet henkilöt tehokkaasti. Teknisen tuen toimivuus esimerkiksi yhteydenottotavan ja vasteaikojen osalta neuvoteltaisiin perusteellisesti toimittajan kanssa, jotta ikäviltä yllätyksiltä sen suhteen vältyttäisiin.

Vaikkakaan käyttäjät eivät koe suurta tarvetta personoida käyttöliittymää henkilötasolla, olisi kuitenkin tärkeää varmistaa, että perusnäkyvät toimisivat jokaisella käyttäjällä, eikä niissä olisi turhia kenttiä, vaan näkyvät olisivat yksinkertaisia lukea. Tavoitteena olisi että käyttäjillä olisi mahdollisuus ja osaaminen löytää haluamansa tiedot helposti ja nopeasti.

Tietojen varmuuskopiointitavat ja kyberturvallisuus sovittaisiin yhdessä toimittajan, Museoviraston IT osaston ja käyttäjien kesken. Tarkoituksena estää tietojen katoaminen ja korruptoituminen.

Uutta järjestelmää hankittaessa, tulee miettiä sen hyviä ja huonoja puolia. Kartoitusta tehtiin SWOT-analyysillä. Vahvuuksiksi koettiin konservointiosaamisen sekä muu osaaminen erilaisissa rooleissa. Aiempia järjestelmiä käyttäneenä heillä oli hyvä käsitys mitä uudelta järjestelmältä odotetaan. Järjestelmään liittyen olisi halu oppia uutta. Uuden järjestelmän käyttöönotossa hyvällä yhteishengellä, yhteistyöllä ja verkostoitumisella sisäisesti ja ulkoisesti olisi suuri merkitys hyvän lopputuloksen kannalta.

Heikkouksiksi tiedostettiin käyttäjien rajallinen tekninen ymmärrys järjestelmistä, ja niiden toteutustekniikoista laiteohjelmisto- ja tiedonsiirtoalueella. Koettiin, että fysiikan kertaamiselle voisi olla tarvetta, sillä mittaustietureiden siirtäminen tai datan käyttäminen ja analysointi vaatisi koulutusta ymmärryksen tueksi. Ei haluttaisi joutua tilanteeseen, jossa joudutaan samaa asiaa hoitamaan monella eri järjestelmällä. Oltiin myös huolissaan resurssien riittävästä kaikkeen tarvittavaan kehitystyöhön. Pidettiin mahdollisena, että teknisen sanaston osaamattomuus saattaisi haitata kommunikointia projektissa eri osapuolien välillä. Projektin yhteydessä olisi hyvä käydä läpi myös olosuhdemittauksen strategia, prosessit ja ohjeistus.

Mahdollisuuksina koettiin osaamisen kehittyminen ja mittaustiedon lisääntyminen, kuten myös matkustustarpeen väheneminen, kustannusten väheneminen, mittausten tuoman lisäarvon hyödyntäminen, sekä reaaliaikaiset hälytykset ja sitä kautta nopea reagointi. Lisäksi analysoinnin kehittyminen ja että esineiden luovuttamat kaasumaiset aineet saattaisivat olla mitattavissa luotettavasti.

Uhkina pidettiin tiedonsiirtoverkon pitkäaikaista palvelu- ja sähkökatkosta, sekä kyberhyökkäystä. Uhka voisi tulla lisäksi toimittajan konkurssin, omistussuhteiden muutoksen tai sopimuserimielisyyksien muodossa. Muita ongelmia voisi tuottaa resurssipula sisäisesti tai ulkoisesti sekä oppimisvaikeudet järjestelmäkäytössä tai järjestelmän toimintahäiriöt. Varahenkilöä käytettäessä riittävä tiedon siirto henkilöltä toiselle olisi tärkeää samoin kuin järjestelmän merkityksen ymmärtäminen. Uhkana pidettiin lisäksi anturien hallitsemattomaa siirtämistä tai joutumista ilkeiden kohteeksi, sekä anturien vikaantumista tai pariston loppumista hallitsemattomasti ilman siitä saatavaa hälytystä.

Menestystekijöinä pidettiin uuden järjestelmän mahdollisuutta kerätä ja analysoida mittausdataa aiempaa enemmän, sekä kehittää toimintaa saadun tiedon avulla. Menestystekijänä pidettiin lisäksi mittauspistekohtaiseen kustannustason laskua sekä mahdollisuutta jakaa museoviraston toimintamallia olosuhdemittauksista edelleen muille museoille. Oikein asetetut hälytysrajat antaisivat mahdollisuuden nopeaan reagointiin poikkeamatilanteissa. Etua toisivat antureiden, lähettimien ja virtalähteen pitkä elinkaari ja huoltovapaus. Virtalähteen kohdalla on huomioitava, että vaikka paristosta on saatavissa varaustieto, on huomioitava lithiumparistolle tyypillinen purkauskäyrä ja järjestelmän hankaluus tulkita sekä näyttää prosentteina sen perusteella kuinka pitkään mittausta voidaan jatkaa, sillä tämän tyyppinen paristo antaa pitkään korkeaa jännitettä, joka romahtaa hyvin nopeasti tietyssä pisteessä. Toinen huomioitava asia on kylmissä olosuhteissa tapahtuva kuormitettavuuden lasku eli virtalähteen alentunut purkausjännite etenkin pakkasasteissa.

Onnistuneessa projektissa tärkeää olisi valita osaava ja hyvämaineinen järjestelmätoimittaja, jolle olisimme kiinnostava ja hyvä referenssikohde. Tämä motivoisi toimittajaa hyvään suoritukseen. Menestystekijänä voidaan pitää tiedonhaluisia ja opiskeluorientoituneita konservaattoreita, jotka mahdollistaisivat joustavan kehityksen uuden toimittajan kanssa. Projekti antaisi mahdollisuuden kehittää olosuhdestrategiaa ja tiedonkulkua yksiköiden välillä.

Samoin kuin kyselyssä, niin myös SWOT -analyysin heikkouksiin reagoimisessa todettiin tärkeäksi osa alueeksi käyttäjien perehdytys ja koulutus, sekä teknisen tuen varmistaminen. Heikon kuuluvuuden tapauksissa mittaus anturi voitaisiin asettaa esimerkiksi vitriinin sisään ja lähettää sen ulkopuolelle tiedonsiirron varmistamiseksi. Koettiin että olisi hyvä olla oma olosuhdetiimi, jonka osaamistaso olisi korkeampi kuin peruskäyttäjillä. Heikkouksia vahvuuksiksi muuttaessa riittävien resurssien varmistaminen koettiin tärkeäksi. Projektiin ryhdyttäessä olisi tärkeää varmistaa toimittajan kiinnostus projektiamme kohtaan. Muutaman ylimääräisen anturin varastoon hankkimisella voidaan reagoida nopeasti ongelmatilanteessa korvaamalla anturi toisella. Järjestelmärakenteessa olisi hyvä huomioida sen redundanttisuus, jolloin ongelmatapauksissa koko järjestelmä ei putoaisi pois toiminnasta vaan ainoastaan osa siitä. Olisi hyvä jos poikkeamat voitaisiin käsitellä

järjestelmässä. Monesti kenttiä on käyttöliittymän näkymässä liikaa ja turhat tulisikin piilottaa selkeyden vuoksi. Olosuhdemittausstrategia, prosessit ja ohjeistukset olisi hyvä käydä läpi ja päivittää tarvittaessa.

Uhkatekijöitä voitaisiin vähentää tekemällä selkeät ja hyvät sopimukset, joissa sovittaisiin koulutuksen järjestämisestä ja tallennuksesta myöhempiä koulutuksia varten, sekä varmistettaisiin teknisen tuen tarjolla olo toimittajalta. Muita keinoja vähentää uhkia olisivat tiedonkeruun onnistumisen varmistaminen ja muistissa säilyminen sähkökatkonkin jälkeen. Lisäksi sähkökatkosta toipuminen tulisi varmistaa. Tärkeää olisi sopia tietojen tallentamisesta, varmuuskopioinnista ja tietoturvallisuudesta. Sisäisesti olisi hyvä käydä läpi perehdytysprosessi varahenkilöille ja miettiä toimenpiteet, ettei tietoa katoaisi muutostilanteissa. Lisäksi projekti olisi hyvä informoida yleistasolla koko henkilöstölle. Tähän hyvä työkalu on opinnäytetyön tiedote organisaatiolle. Toimittajalta voisi kysyä onko mahdollisuutta luoda järjestelmään ominaisuus, joka analysoisi onko mittatieto relevanttia vai ei.

Kriisitilanteita voisi esiintyä, jos osaamista ei saataisi halutulle tasolle, tai jos käyttäjät olisivat tyytymättömiä järjestelmään. Hankala tilanne voisi syntyä myös siitä, että toimittajan kanssa tekemämme sopimus, jouduttaisiin irtisanomaan esimerkiksi laitteiden toimimattomuuden, asiakaspalvelun tai teknisen tuen toimimattomuuden takia. Tai jos toimittajalla ei olisi riittävästi kiinnostusta tai resursseja projektiin.

Uudelle olosuhdemittausjärjestelmälle olisi hyvä valita niin pääkäyttäjä, pääkäyttäjryhmä ja yhteyshenkilö konservaattoreiden joukosta, jonka osaaminen olisi peruskäyttäjiä laajempaa ja joka voisi tukea peruskäyttäjiä ongelmatilanteissa ja olla yhteyshenkilönä järjestelmätoimittajan suuntaan. Tämä on resurssikysymys, joten se tulisi huomioida tehtävänkuvia ja työkuormia määriteltäessä. Uskon, että tämä asia ymmärretään, kun tiedetään kuinka tärkeästä osa-alueesta olosuhteiden seurannassa on kysymys.

Yhtenä tärkeänä tavoitteena oli saavuttaa samalla aiempaa parempi kustannustehokkuus. Vertailemalla uudesta tekniikasta ja järjestelmästä saatuja tarjouksia käytössä oleviin järjestelmiin, voitiin havaita huomattava kustannussäästö suoraan sekä välillisesti. Suorat

säästöt tulisivat edullisemmasta käyttöliittymästä ja antureista aiempaan nähden. Välilliset säästöt syntyisivät siitä, että pariston keston parantuminen mahdollistaisi aiempaa harvemmat huolto- ja ylläpitokäynnit kohteissa.

Tutkimuksella onnistuttiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin tavoitteiden mukaisesti, ja sen pohjalta on mahdollista lähteä jatkamaan olosuhdemittausjärjestelmän kehittämistä Museoviraston tarpeisiin. Esineiden internetiksi nimetty kehitysaskel on luonut mahdollisuuden edulliseen ja helppokäyttöiseen mittaamiseen. LPWAN - tiedonsiirtotekniikoita on erilaisia, mutta LoRa -teknologian ominaisuudet, kuten edullisuus ja hyvä verkkopeitto Suomessa luovat siitä hyvin soveltuvan toteutustavan tulevalle olosuhdemittausjärjestelmälle. Järjestelmätoimittajaksi tutkimuksen pohjalta valikoitui Fidera, jonka osaamisella ja FideraFlow -graafisella käyttöliittymällä on mahdollista saavuttaa konservaattoreiden toivomat ominaisuudet helppokäyttöisesti ja toimintavarmasti. Mikäli tarvetta ilmenee järjestelmään on mahdollista tuoda mittausarvoja toisista järjestelmistä, lisätä järjestelmään kiinteistöautomaatiomittauksia Modbus -väylän kautta tai hyödyntää esimerkiksi Sigfox -teknologiaa, mikäli sillä saavutetaan halutut ominaisuudet mittauksen osalta. Tällä tavoin on mahdollista hyvin joustavasti skaalata järjestelmää laajemmaksi sen mukaan mitä tietoa järjestelmällä halutaan seurata.

Kehityskohteeksi esiin nousi suosittaa Museovirastolle konservoinnin yhteistä toimintamallia, jonka mukaan olosuhdemittausstrategiaa, prosesseja, dokumentaatiota ja ohjeistusta, sekä niiden päivitys- tai muutostarpeita tarkasteltaisiin määräajoin. Konservaattoreiden kesken koettiin lisäksi tarvetta lisätä yhteistyötä eri yksiköiden välisten asiantuntijoiden kesken, jotta kokemuksia voitaisiin jakaa laajemmin ja luoda enemmän yhteistä suuntaa konservoinnin kehittämisessä. Tällainen mahdollistuisi esimerkiksi yhteisillä Museoviraston konservaattoreille suunnatuilla teemapäivillä, joissa eri yksiköiden asiantuntijat voisivat esitellä osa-alueensa kehitystyötä ja jakaa osaamistaan muille. Tärkeimpänä saavutettavana asiana olisi kuitenkin osastojen ja yksiköiden raja-aidat ylittävä vuorovaikutus.

7 Pohdinta

Työn aihetta miettiessäni, tiesin olosuhdemittausten olevan tärkeä osa kokelmien säilymistä. Työn aikana minulle kuitenkin kirkastui, että kyseessä on ehkäpä tärkein osa-alue konservoinnissa. Konservaattorit tukivat minua hienosti etsiessäni tietoa heille tutuksi tulleesta aiheesta. Selvisi myös kuinka laaja kokonaisuus konservointikenttä onkaan. Jokaiselle materiaali- tai esineryhmälle löytyy omat erityisasiantuntijat, jotka vastaavat tietystä osasta kokoelmia. Konservaattorit ovat hyvin verkostoituneita kansallisesti ja myös kansainvälisesti, sekä ylläpitävät tietämystään erilaisissa koulutuksissa ja muissa tilaisuuksissa. Tästä on suuri hyöty senkin takia, että monilla valtioilla on Suomea suuremmat resurssit tehdä tutkimusta eri osa-alueilla.

Nykyisin etenkin tilankäytölliset energiasäästöt ovat nousseet esiin vahvasti ja se on lisännyt tuon perspektiivin huomioimista olosuhdehallinnassa, sillä olosuhteiden luominen on monesti runsaasti energiaa kuluttavaa toimintaa ja tämän trendin myötä on pyritty löytämään ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseksi. Tällaisia keinoja ovat erilaiset perusparannukset kiinteistöihin kuten lisäeristykset ja kiinteistöautomaation kehittäminen.

Kuten opinnäytetyössä on tullut esille, sopivat olosuhteet eri materiaaleille on määritelty kokemusperäisesti ja ajan kuluessa niitä on pyritty hienosäätämään tarkemmiksi esineiden säilymisen maksimoimiseksi. Aiemmin on ajoittain törmätty hankaluuksiin esimerkiksi esinelainojen kohdalla, sillä olosuhdevaatimukset ovat osoittautuneet liiankin tiukoiksi, ja täten estäneet lainaamisen. Nykyisin suuntaus on ollut onneksi toisenlainen ja tuosta syystä lainaamista ei ole tarvinnut evätä.

Olosuhdemittausjärjestelmät kehittyvät kaiken aikaa ja niitä löytyy monen hintaisia. Monesti kalleimmat mittausjärjestelmät eivät ole vaihtoehto, vaikka ne olisivatkin parempia, vaan on löydettävä kompromissina kustannustehokkaampi ratkaisu. Akkuteknologian kehittyminen yhdistettynä matalaenergiakulutuksiin tiedonsiirtotekniikoihin on jo mahdollistanut antureille pitkät toiminta-ajat huoltovapaasti, ja erilaisia antureita on tullut paljon markkinoille. Mittaustietojen analysointi on ollut lähes täysin manuaalista, mutta tietomäärän kasvaessa ja tekoälyn tullessa mukaan monessa eri paikassa, seuraava

kehitysaskel on todennäköisesti yhä automatisoidumpi mittausten analysointi ja raportointi, joka vähentää käyttäjien käyttämää aikaa kyseisiin toimintoihin.

Automatisoinnin lisääntymisen myötä mukaan otetaan todennäköisesti yhä enemmän mittausdataa esimerkiksi kiinteistöautomaatiojärjestelmästä ja esimerkiksi sääennustuksista, jotta olosuhdehallinnassa voidaan varautua ennakoivasti erilaisiin sään muutoksiin. Tällä on suuri merkitys energiankulutukselle, jos eniten energiaa kuluttavat toiminnot kuten lämmitys, jäähdytys ja ilmastointi saadaan parhaalla mahdollisella tavalla.

Millainen elinkaari uudella järjestelmällä sitten tulee olemaan, on hyvä kysymys, sillä kehityksen myötä uusia ja kehittyneempiä järjestelmiä tulee markkinoille. Tiedonsiirtoverkko tulee toimimaan varmaankin 10 - 15 vuotta ja antureita on mahdollista vaihtaa uusiin sitä mukaa, kun ne rikkoutuvat tai menettävät mittaustarkkuutensa. Samalla niihin on mahdollista saada kehityksen tuomia lisäominaisuuksia. Pilvipohjaisen käyttöliittymän ja sen analysointityökalujen kehittämisessä ei pitäisi olla myöskään esteitä näköpiirissä.

Kiitossanat esihenkilölleni Carolina Ansinnille ja opinnäytetyön ohjaajalleni Pasi Laineelle tuesta ja neuvoista YAMK -opiskeluani kohtaan. Samoin kiitokset Vuokko Ahlforsille, Virpi Akolahdelle, Eeva-Maria Tikalle, Tomi Nikanderille, Erno Nolville, sekä kaikille muille konservaattoreille, näyttelymestareille ja tilapalvelun ja kulttuuriympäristöpalvelujen asiantuntijoille, jotka ovat olleet antamassa kokemuksensa käyttöön tämän opinnäytetyön toteuttamiseksi. Kiitokset lisäksi Fideran toimitusjohtajalle Mikko Jaloselle, joka vastasi teknisissä kysymyksissä, sekä antoi testijärjestelmän Museoviraston tutustuttavaksi. Ilman teidän panostanne opinnäytetyön tekeminen ei olisi ollut mahdollista.

Lähteet

Baumed Solutions, (n.d.). *Yrityksen kotisivu*. <https://tinyurl.com/3v3nccb2>

Björkroth, M., & Eskola, L. (2019). *Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti*. A-Insinöörit. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö.
<https://tinyurl.com/4vjrtfuh>

Cassar, M., (1995). *Environmental Management. Guidelines for Museums and Galleries*. Routledge.

Deutsche Telekom, (2021). *NB-IoT, LoRaWAN, Sigfox: An up-to-date comparison*.
<https://tinyurl.com/mpvb9vfs>

Erhardt, D., Tumosa C., & Mecklenburg, M., (2007), *Applying science to the question of museum climate*. Conference on Micro Climates in Museum, Copenhagen, November 19-23, 2007, 11–18.

Farin, J., (n.d.). *LoRaWAN -teknologia*. Digita. <https://tinyurl.com/23tuyy7s>

Fidera, (n.d.). *Yrityksen kotisivu*. Fidera. <https://www.fidera.fi>

Haukijärvi, N., Kangas, A., & Knuutila, H., (2014). *Tavoitteena aktiivinen ja työelämälähtöinen oppiminen*. Käytännön opetusmenetelmiä opiskelija- ja työelämälähtöiseen opetukseen ja koulutukseen. <https://tinyurl.com/523tts87>

Hyperphysics, (n.d.). *Relative Humidity*. Department of Physics and Astronomy.
<https://tinyurl.com/3npdccxr>

Järvinen, J., (2017). *IoT-verkkoteknologioiden vertailu*, [opinnäytetyö, Metropolia].
<https://tinyurl.com/5xz6a3kc>

Knudsen, L.R. (2017). *Performance of Danish low-energy museum storage buildings*, ICOM Committee for Conservation, 18th Triennial Meeting, Copenhagen, September 4-8, 2017, 1-9. Pulido & Nunes; ICOM Committee for Conservation.

<https://tinyurl.com/raz6d799>

Karhu, M., (2022). *Rakennuksen paine-eron mittaus IoT-antureilla*, [opinnäytetyö, Metropolia]. <https://tinyurl.com/537vds4s>

Link Labs. (25.6.2018). *NB-IoT vs LoRa vs Sigfox ja IoT:n tulevaisuus*.

<https://tinyurl.com/2p965pfn>

LoRa Alliance. (n.d.-a). *What is LoRaWAN® Specification*. <https://tinyurl.com/4z97nmxe>

LoRa Alliance. (n.d.-b). *Protocol Choice Determines Success: LoRaWAN® Drives Business Value*. <https://tinyurl.com/d9nhxsxz>

Mattila, M., Kaukonen M., & Salmela U., (2005). *Opas paikallismuseon hoitoon*. Frenckellin Kirjapaino.

MOKOLoRa. (14.9.2021). *Comparison between LoRa and other wireless technologies*.

<https://tinyurl.com/yut7bvsf>

Museovirasto. (n.d.). *Tietoa meistä*. <https://tinyurl.com/ycwxxtba>

Researchgate. (2018). *Overview of Cellular LPWAN Technologies for IoT Deployment: Sigfox, LoRaWAN, and NB-IoT*. Conference: 2nd IEEE International Workshop on Mobile and Pervasive Internet of ThingsAt: Athens. <https://tinyurl.com/fp3jj76x>

Suomen valokuvataiteen museo. (n.d.). *Valokuvan kuvatyypin ja materiaalin tunnistaminen*. <https://tinyurl.com/4r8687m6>

Taylor, T. H. (1996). Museums in Historic Buildings. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 27(3), 7–7. <http://www.istor.org/stable/1504409>

Thomson, G., (1986). *The Museum Environment. Second Edition.* Butterworths.

TTL, (n.d.). *Suomalaisten museotyöympäristöjen koetut ja mitatut vaaratekijät – MUHA.*

Työterveyslaitos. <https://tinyurl.com/4v688wfk>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta

1009/2017. <https://tinyurl.com/u3rvkp3d>

Liitteet

Liite 1: Webropol -kysely olosuhdemittausjärjestelmistä kehittämiskysely

1. Mitä olosuhdesuureita seuraat työssäsi tällä hetkellä?

- Ilman kosteus
- Lämpötila
- Kemialliset yhdisteet
- Paine-ero
- Kastepiste
- Valaistus
- Joku muu, mikä?

2. Mitä olosuhdesuureita haluaisit seurata jatkossa?

- Ilman kosteus
- Lämpötila
- Kemialliset yhdisteet
- Paine-ero
- Kastepiste
- Valaistus
- Joku muu, mikä?

6. Kuinka tärkeinä pidät seuraavia ominaisuuksia järjestelmässä ?

1= Ei tärkeä, 5= Erittäin tärkeä

	1	2	3	4	5
Olosuhdemittausten koontinäyttö	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Histogrammi yhdestä tai useammasta valitusta mittaussuureesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sähköpostihälytys arvojen ylittyessä/alittuessa tai yhteyden katketessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tekstiviestihälytys arvojen ylittyessä/alittuessa tai yhteyden katketessa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Komentointimahdollisuus poikkeamien kommentointia varten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Käyttöliittymän personointimahdollisuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Koontiraportointi helpottamaan aika-ajoin tehtävää raportointia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kalibrointitarkkuus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Järjestelmätoimittajan tekninen tuki	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Järjestelmätoimittajan antama koulutus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Joku muu ominaisuus, mikä? <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. Mitä lisäominaisuuksia toivoisit olosuhdemittausjärjestelmältä?

Liite 2: 8 -kenttäinen SWOT -analyysi

8-kenttä SWOT:n rakenne			
Sisäiset Nykyiset	S = Strengths Toiminnalliset vahvuudet	<i>Kenttä 1</i>	W = Weaknesses Toiminnalliset heikkoudet
Tulevat ulkoiset markkinat			<i>Kenttä 2</i>
O = Opportunities Tulevaisuuden mahdollisuudet ja voitot	S + O Menestystekijät, Vahvuuksia vahvistamalla mahdollisuudet todeksi	<i>Kenttä 3</i>	O + W Heikkouksiin reagoiminen mahdollisuuksien avulla
		<i>Kenttä 5</i>	<i>Kenttä 6</i>
T = Threats Tulevaisuuden uhat ja menetykset	S + T Uhkatekijöihin reagoiminen vahvuuksien avulla	<i>Kenttä 4</i>	W + T Kriisitilanteet, heikkoudet kärjistyvät ja uhat käyvät todeksi
		<i>Kenttä 7</i>	<i>Kenttä 8</i>