



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RAKENNUSTEN SISÄOLOSUHTEIDEN MIT- TAAMINEN JA NÄKYVÄKSI TEKEMINEN

Svantte Vaskikallio

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutus
LVI-talotekniikka

VASKIKALLIO, SVANTTE:

Rakennusten sisäolosuhteiden mittaaminen ja näkyväksi tekeminen

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Huhtikuu 2017

Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana COMBI-hanketta (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings). Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä rakennushankkeen tilaajan tietämystä olosuhdemittauksista ja helpottaa olosuhdemittauksen määrittämistä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää case-kohteiden olosuhdemittausten nykytila sekä luoda rakennushankkeen tilaajalle työkalu rakennushankkeiden olosuhdemittauksen määrittämiseksi. Opinnäytetyössä olosuhteiden näkyväksi tekemisellä tarkoitetaan olosuhdeantureihin liitettyjä näyttöjä, joiden avulla käyttäjät näkevät tilassa vallitsevat olosuhteet. Näkyväksi tekemisellä tarkoitetaan myös kiinteistönpidon ohjelmien avulla tehtyjä kuvioita, joista nähdään olosuhdemuutokset ajan suhteen.

Tutkimusaineistona käytettiin case-kohteiden taloteknisiä suunnitelmia, joista selvitettiin olosuhdemittauksen nykytilanne case-kohteissa. Erityistä huomiota suunnitelmissa kiinnitettiin rakennusautomaation säätökaavioihin, joista selviävät eri mittaukset sekä mihin ja miten niitä on tarkoitus hyödyntää. Tutkimuksessa haastateltiin myös huoltoinsinöörejä olosuhdemittauksista. Huoltoinsinööreiltä saatiin lisäksi case-kohteiden eri olosuhteiden mittausdataa analysointia varten. Mittausdatan avulla analysoitiin järjestelmien toimintaa ja olosuhdemittauksen hyödyntämistä erilaisiin järjestelmien ohjauksiin.

Case-kohteissa olosuhteista mitataan lämpötilaa, hiilidioksidia, suhteellista kosteutta ja valaistusta. Kyseisiä olosuhteita mitataan kohteissa hyvin vaihtelevasti. Osassa kohteista lämpötilaa, hiilidioksidia ja valaistusta mitataan oleskelutiloissa, mutta osassa mittaukset jäävät vähäisiksi. Lämpötila on ylivoimaisesti eniten mitattu olosuhde. Suhteellista kosteutta mitataan vähiten; vain yhden kohteen kahdessa kenkäeteisessä. Kaikki kohteet on liitetty etäyhteydellä kuntien kiinteistöautomaatiojärjestelmiin, mikä mahdollistaa helpomman mittausdatan analysoinnin. Kaikki kohteet eivät täytä suunnitteluohjeiden mukaisia taloteknisiä järjestelmävaatimuksia. Suunnitteluohjeiden mukaisten järjestelmien saavuttamiseksi kehitettiin työkalu olosuhdemittauksen määrittämiseksi, jotta tilaaja saa sellaiset mittaukset ja järjestelmät kuin on halunnut. Mittausdataa analysoimalla todettiin, että osa järjestelmistä ei toimi niin kuin niiden pitäisi.

Kaikista kohteista löytyi parannettavaa olosuhdemittauksen osalta. Esimerkiksi rakennuksen painesuhteiden säätöä, VOC-mittauksia tai olosuhteiden näkyväksi tekemistä käyttäjille ei ole toteutettu yhdessäkään kohteessa. Lisäksi toteutettuja olosuhdemittauksia voitaisiin analysoida kattavammin ja analysointiin voitaisiin kehittää helpompia ja nopeampia ohjelmia nykyresurssien avuksi.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

VASKIKALLIO, SVANTTE:
Measuring Buildings' Indoor Conditions and Making Them Visible

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 1 page
April 2017

This thesis was made a part of the COMBI project (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings). The purpose of this study was to find out how indoor conditions are measured in COMBI project cases. The purpose was also to create an indoor conditions measuring tool for the company that ordered the building project. The main goal of this thesis was to increase knowledge about indoor condition measuring among orderers of building projects.

The data was collected from the technical building plans used in the COMBI cases. Especially building automation plans were analyzed because indoor condition measuring is found there. The data was also collected by interviewing service engineers.

It was found that the indoor conditions measured in COMBI cases are temperature, carbon dioxide, relative humidity and lighting. The choice of conditions to be measured varies between COMBI cases. The most measured condition was temperature. Relative humidity was measured the least often. It was found that some HVAC systems do not work properly.

All of the COMBI cases still had room for improvement in indoor condition measuring. For example VOC-measurements, controlling pressure ratio of the building or making indoor conditions visible for users were not used in any of the COMBI cases.

Key words: indoor conditions, municipal service building, COMBI-project

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	OLOSUHTEIDEN MITTAAMINEN JA HALLINTA	8
2.1	Olosuhteiden merkitys ihmiselle	8
2.1.1	Lämpötila	8
2.1.2	Epäpuhtaudet.....	9
2.1.3	Kosteus.....	11
2.1.4	Valo	12
2.2	Yleisimmät olosuhdemittaukset ja niiden hyödynnettävyys	12
2.2.1	Lämpötila	13
2.2.2	Hiilidioksidi	13
2.2.3	Suhteellinen kosteus.....	15
2.2.4	Valaistus.....	15
2.3	Yleistymässä olevat olosuhdemittaukset	15
2.3.1	VOC	16
2.3.2	Paine-eromittaus rakennuksen vaipan yli.....	18
2.4	Olosuhteiden seuranta ja merkitys energiankulutukseen.....	19
2.5	Nykyiset suunnitteluohjeet	20
2.5.1	TAPRE	20
2.5.2	Tampereen tilakeskuksen suunnitteluohjeet	21
2.5.3	SYK:n TATE-järjestelmäohje.....	22
2.6	Olosuhteiden näkyväksi tekeminen	23
3	CASE-KOhteiden OLOSUHDEMITTAUKSET	26
3.1	Impivaaran vanhainkoti	26
3.2	Koivurinteen päiväkoti ja koulu	27
3.3	Luhtaan päiväkoti	28
3.4	Otsonmäen päiväkoti	29
3.5	Puopuiston päiväkoti	32
3.6	Vehmaisten koulu ja päiväkoti	33
3.7	Case-kohteiden yhteenveto ja parannusehdotukset	36
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
4.1	Ilman epäpuhtaudet.....	38
4.2	Suunnitteluohjeet	38
4.3	Näkyväksi tekeminen.....	39
4.4	Case-kohteet.....	40
4.5	Olosuhteiden seuranta ja merkitys energiankulutukseen.....	41
5	YHTEENVETO	43

LÄHTEET	44
LIITTEET	46
Liite 1. Tilaaajan työkalu olosuhdemittausten määrittämiseksi	46

LYHENTEET JA TERMIT

DALY	koko väestön ympäristöaltisteiden takia menetettyjen elinvuosien yksikkö
IMS	ilmamääräsäädin
SYK	Suomen yliopistokiinteistöt
RAU	rakennusautomaatio
TAPRE-hanke	Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi
VOC	volatile organic compound (haihtuvat orgaaniset yhdisteet)

1 JOHDANTO

Olosuhteita mitataan rakennuksissa koko ajan entistä enemmän. Olosuhteiden mittaamisesta hyötyvät sekä rakennuksen omistaja että käyttäjä. Olosuhteiden mittaamisen avulla talotekniikan järjestelmiä voidaan säätää pienemmälle teholle, kun tiloissa ei ole käyttöä tai se on vähäistä, jolloin säästetään rakennuksen energiakustannuksissa. Käyttäjät hyötyvät mittauksista parempien sisäolosuhteiden kautta, kun mittausten avulla järjestelmät säätävät olosuhteet halutuiksi, eikä järjestelmät toimi vain perussäätöjen varassa.

Tämä opinnäytetyö on toteutettu osana COMBI-hanketta (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings), jonka tavoitteena on parantaa palvelurakennusten energiantehokkuutta. Opinnäytetyössä tarkastellaan olemassa olevien case-kohteiden rakennusautomaatioon yhteydessä olevia olosuhdemittauksia. Case-kohteina ovat Impivaaran vanhainkoti, Koivurinteen päiväkot, Luhtaan päiväkot, Otsonmäen päiväkot, Puropuiston päiväkot ja Vehmaisten koulu/päiväkot.

Opinnäytetyön tavoitteena on lisätä tilaajan tietämystä olosuhdemittauksista ja helpottaa olosuhdemittausten määrittämistä. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää case-kohteiden olosuhdemittausten nykytila, sekä luoda tilaajalle työkalu uusien rakennushankkeiden olosuhdemittausten määrittämiseksi. Työssä ei käsitellä olosuhdemittausten hintaa, vaan tarkoituksena on kertoa tilaajalle erilaisista olosuhdemittausvaihtoehdoista ja niiden hyödynnettävyydestä. Lisäksi opinnäytetyössä on käsitelty mahdollisuuksia rakennuksen olosuhteiden näkyväksi tekemiselle käyttäjille. Opinnäytetyössä olosuhteiden näkyväksi tekemisellä tarkoitetaan olosuhdeantureihin liitettyjä näyttöjä, joiden avulla käyttäjät näkevät tilassa vallitsevat olosuhteet. Näkyväksi tekemisellä tarkoitetaan myös kiinteistönpidon ohjelmien avulla tehtyjä kuvioita, joista nähdään olosuhdemuutokset ajan suhteen.

Tutkimusaineistona käytettiin case-kohteiden taloteknisiä suunnitelmia, joista selvitettiin olosuhdemittausten nykytilanne case-kohteissa. Erityistä huomiota suunnitelmissa kiinnitettiin rakennusautomaation säätökaavioihin, joista selviää eri mittaukset sekä mihin ja miten niitä on tarkoitus hyödyntää. Tutkimuksessa haastateltiin myös huoltoinsinöörejä olosuhdemittauksiin liittyen. Huoltoinsinööreiltä saatiin lisäksi case-kohteiden eri olosuhteiden mittausdataa analysointia varten. Mittausdatan avulla analysoitiin järjestelmien toimintaa ja olosuhdemittausten hyödyntämistä erilaisiin järjestelmien ohjauksiin.

2 OLOSUHTEIDEN MITTAAMINEN JA HALLINTA

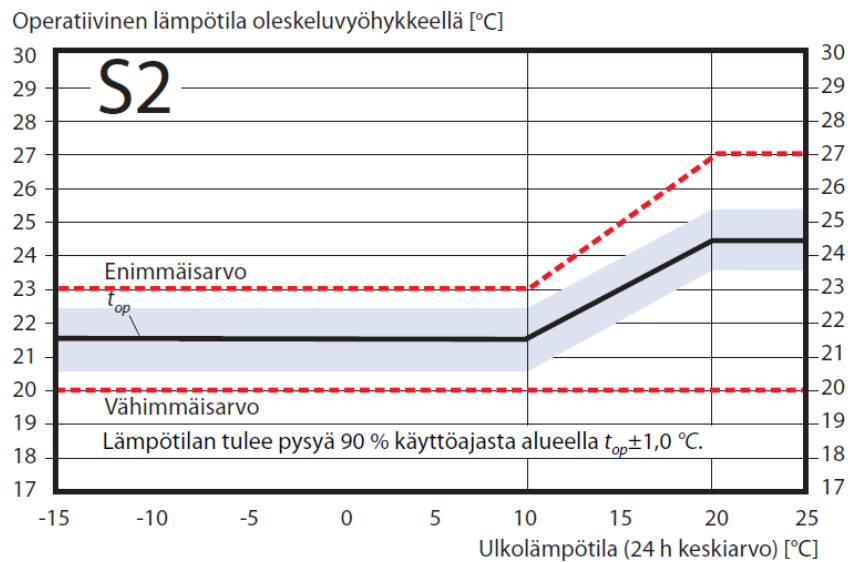
2.1 Olosuhteiden merkitys ihmiselle

Ihmiset oleskelevat sisätiloissa noin 90 % ajastaan ja hengittävät 15-20 m³ sisäilmaa vuorokaudessa, jonka takia sisäilman olosuhteilla on suuri vaikutus ihmisen viihtyvyyteen ja terveyteen. Tärkeimpiä sisäilmaan vaikuttavia olosuhteita ovat lämpötila, ilman epäpuhtaudet ja kosteus, ääni ja valo. Olosuhdetavoitteiden asettamisessa on muistettava, että ihmiset tuntevat olosuhteet eri tavalla, jolloin vallitsevat olosuhteet eivät aina miellytä kaikkia. (Säteri & Koskela 2014, 37-56.)

2.1.1 Lämpötila

Ihmisen lämpöviihtyisyyttä on tutkittu pitkään, mutta lämpöolosuhteiden suunnitteluun ei ole löydetty täysin yksiselitteisiä tuloksia. Lämpöviihtyisyyteen vaikuttaa mm. sopiva lämpötila, veto, vaatetus ja ihmisen toiminta. Liian korkealla lämpötilalla on vaikutusta suorituskykyyn ja sisäilmaoireiden lisääntymiseen, kun taas liian matala lämpötila ja sen äkillinen vaihtelu lisäävät vedontunnetta. Lämpöolosuhdesuunnittelun perustana käytetään ympäri maailman SFS-EN ISO 7730 standardia, jonka mukaan oikean lämpötilan tehtävä on säilyttää kehon lämpötasapaino. Tilan lämpötila pitää olla sopiva siellä tapahtuvan toiminnan mukaan. Keho tuottaa lämpöä enemmän, kun työn teho kasvaa. Oikea lämpötila saavutetaan, kun ihminen ei osaa sanoa pitäisikö sitä laskea vai nostaa. (Säteri & Koskela 2014, 37-47.)

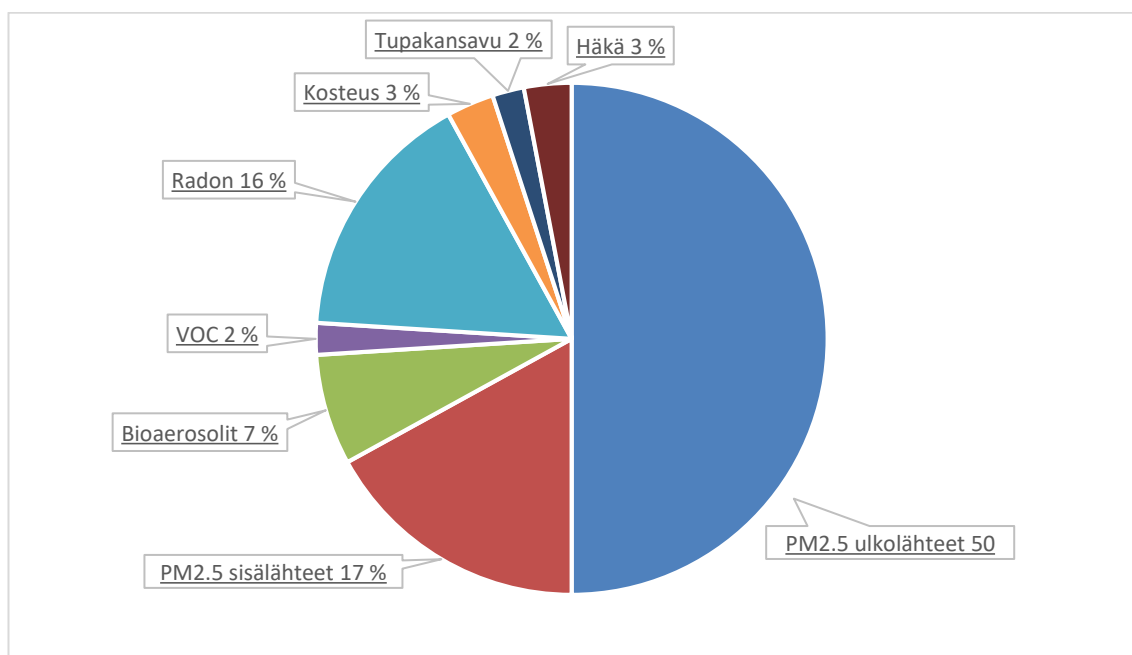
Sisäilmastoluokitus 2008:ssa sisäilmasto on jaettu 3 luokkaan. S3 vastaa tyydyttävää sisäilmastoa ja se on rakennusmääräysten vähimmäisvaatimus. S2 vastaa hyvää sisäilmastoa ja S1 yksilöllistä sisäilmastoa. S1 luokan rakennuksia on hyvin vähän, koska sen vaatimukset olosuhteille ja tekniikalle ovat erittäin korkeat. S1 luokassa tilan käyttäjä pystyy mm. itse hallitsemaan lämpöoloja. palvelurakennukset kuuluvat usein S2 luokkaan. Sisäilmastoluokille on asetettu eri tavoitearvot operatiiviselle lämpötilalle. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvoihin vaikuttaa myös ulkolämpötila. Lämpötila saa poiketa tavoitearvosta luokasta riippuen eri verran ja ajan päivässä. Kuvassa 1 on esitetty S2 luokan operatiivisen lämpötilan tavoitearvo. (Rakennustietosäätiö 2008, 4-6.)



KUVA 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvo oleskeluvyöhykkeellä sisäilmastoluokassa S2 (Rakennustietosäätiö 2008, 6).

2.1.2 Epäpuhtaudet

Sisäilman epäpuhtaudet ovat usein peräisin ulkoilmasta, rakennus- ja sisustusmateriaaleista ja tilassa tapahtuvasta toiminnasta (Seppänen 1988, 31). Kuviossa 1 on esitetty sisäilmassa olevien epäpuhtauksien osuudet vakaviin terveyshaittoihin (DALY).



KUVIO 1. Sisäilman epäpuhtauksien osuudet vakaviin terveyshaittoihin (DALY) altisteittain Suomessa vuonna 2010 (mukaillen Hänninen & Asikainen 2013, 39).

Kuviosta nähdään, että rakennuksen ulkopuolelta tulevien epäpuhtauksien osuus terveyshaittoihin on selvästi yli puolet, jonka takia ulkoilman pienhiukkasten ja radonin pääsy sisäilmaan on tärkeä estää. PM2.5 tarkoittaa pienhiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 μm (Ilmatieteen laitos 2017). Ulkoilman epäpuhtaudet ovat peräisin mm. liikenteestä, energian tuotannosta, teollisuuden, sairaaloiden, ravintoloiden yms. likaisesta poistoilmasta ja luonnosta (siitepölyt) (Seppänen 1988, 32). Ilmanvaihdon tuomaa ”raikasta” ulkoilmavirtaa kasvattamalla ei siis pelkästään voida taata puhdasta sisäilmaa, vaan oikean tyyppisillä ja tehokkailla suodattimilla on suuri merkitys hiukkasaltistumisien vähentämisessä (Säteri & Koskela 2014, 56).

Radon on hajuton, mauton ja väritön jalokaasu, joka syntyy radioaktiivisen radiumin hajoessa. Radiumia esiintyy maaperän kiviaineksessa, josta se kulkeutuu sisätiloihin ilman, rakennusmateriaalien ja porakaivoveden mukana. Sisäilman radonpitoisuutta voidaan vähentää huolehtimalla alapohjan tiiveydestä ja radonpoistosta, joka johdetaan usein rakennuksen katolle. (Säteri & Koskela 2014, 64.)

Sisäilmastoluokitus 2008 mukaisten sisäilmastoluokkien hiilidioksidipitoisuuden enimmäisarvot on esitetty taulukossa 1. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on Suomessa nykyisin noin 400 ppm. Sisätiloissa hiilidioksidi on usein peräisin ihmisten uloshengitysilmaasta. (Säteri & Koskela 2014, 63-64.)

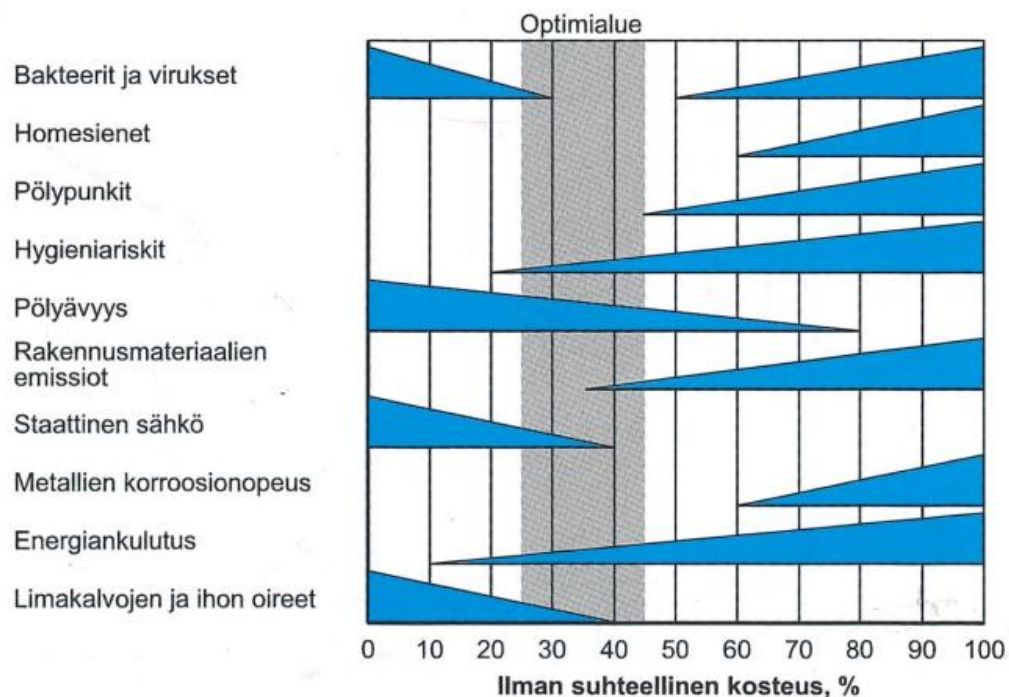
TAULUKKO 1. Ilman laadun tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa (Sisäilmastoluokitus 2008, 6)

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1 200
Radonpitoisuus [Bq/m^3]	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
• asunnot	90 %	80 %	

Liian korkea hiilidioksidipitoisuus aiheuttaa ilman tunkkaisuutta, väsymystä, päänsärkyä ja keskittymisvaikeuksia (Hengityслиitto 2017). Sosiaali- ja terveysministeriön laatiman asetuksen mukaan toimenpideraja ylittyy sisäilman hiilidioksidipitoisuus ollessa 1150 ppm suurempi, kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015).

2.1.3 Kosteus

Optimaalinen sisäilman suhteellinen kosteus on 25-45 % (kuva 2). Liian alhainen kosteus aiheuttaa hengitysteiden, limakalvojen ja ihon ärsytysoireilua, sekä edistää ilman pölyisyyttä. Liian korkea kosteus sen sijaan edistää pölypunkkien ja mikrobien lisääntymistä, joka on haitaksi rakenteille. Suomessa ulkoilman suhteellinen kosteus on lähes aina korkea, kun taas sisäilma on kesällä kosteaa, mutta talvella kuivaa. Kuiva sisäilma johtuu talvella siitä, että kylmä ulkoilma ei pysty sitomaan itseensä yhtä paljon kosteutta, kuin lämmin ilma. Lämmitettäessä ilmaa sen absoluuttinen kosteus pysyy samana, mutta suhteellinen kosteus laskee. Tuloilmaa ei kostuteta nykyään juurikaan, joten sen suhteellinen kosteus on talvella usein 10-20 %. (Seppänen & Seppänen 2007, 23-24.)



KUVA 2. Huoneilman kosteuden vaikutus eri tekijöihin (Seppänen & Seppänen 2007, 24)

Kuvassa sinisten viivojen paksuudet ovat verrannollisia tekijän suuruuteen. Maailman Terveysjärjestö WHO luokitteli vuonna 1982 sairusrakennusoireiksi mm. nenä, kurkun ja silmien ärsytyksen, kuivat limakalvot ja iho, ihon punaläikkyys, käheä ääni, pahoinvointi ja huimaus (Säteri & Koskela 2014, 58). Ilmanvaihdon ja -kosteudella on suuri vaikutus näihin oireisiin ja rakennukseen.

2.1.4 Valo

Valolla ja valaistuksella on monia vaikutuksia ihmiselle. Ensisijaisesti valon tarkoitus on auttaa ihmisiä näkemään, mutta valolla on myös muita biologisia vaikutuksia mm. mielialaan, vireystilaan sekä vuorokausi- ja vuosirytmieihin (Kallioharju 2012, 53). Valaistusvoimakkuuden kasvattamisen on osoitettu nostavan ihmisen vireystilaa. Jo pientenkin valaistusvoimakkuuksien on havaittu vaikuttavan merkittävästi vireystilaan. Lisäksi kylmät valonlähteet nostavat vireystilaa lämminsävyisiä valonlähteitä tehokkaammin. Tutkimuksissa on myös osoitettu oppimistuloksien olevan parempia tasaisemmin ja paremmin valaistuissa luokkatiloissa varsinkin vuoden pimeimpään aikaan. (Kallioharju 2012, 67.)

2.2 Yleisimmät olosuhdemittaukset ja niiden hyödynnettävyys

Yleisimpiä rakennusautomaatioon liitettäviä olosuhdemittauksia ovat lämpötila, hiilidioksidi, suhteellinen kosteus ja valaistus. Näiden olosuhteiden yleisyys johtuu niiden helpposta hyödyntämisestä erilaisten taloteknisten järjestelmien ohjaamisessa.

Kaikkien antureiden kanssa pitää muistaa niiden oikea kalibrointiväli luotettavien mitausten saavuttamiseksi. Kalibrointivälit vaihtelevat valmistajasta ja mitattavasta olosuhteesta riippuen. (Vaisala 2016, 3.) Antureita suunniteltaessa ja asennettaessa pitää huomioida myös niiden sijainti. Anturit olisi hyvä saada oleskeluvyöhykkeelle, jossa olosuhteet pyritään pitämään haluttuina, mutta sijoituksessa pitää huomioida myös virhettä aiheuttavat häiriölähteet. (Sandberg, Sahlsten, Silva & Kauppila 2014, 348.) Anturit ovat usein seinään, kattoon tai kanavaan asennettavia, joka tuo haasteita anturien hyvään sijoittamiseen. Yksittäisten antureiden lisäksi saatavilla on myös yhdistelmäantureita, joiden avulla voidaan mitata esimerkiksi hiilidioksidia/VOC, lämpötilaa ja kosteutta yhdellä laitteella. Antureita on saatavilla kaapelikytkentää ja langatonta radiotaajuuksia käyttävää mallia.

2.2.1 Lämpötila

Lämpötilamittauksen avulla ohjataan usein tilojen lämmitysjärjestelmiä ja kiertoilmakojen käyntiä. Lämpötilamittauksen avulla voidaan ohjata myös ilmanvaihdon yötuule-
tusta. Rakennusautomaatioon liitettyjen lämpötilamittausten tärkeänä hyötynä on myös käyttäjäpalautteen helppo ja nopea todentaminen. Lämpötila-antureiden sijoittelussa on tärkeää huomioida ilman kerrostuminen lämpötilan mukaan. Lämmin ilma nousee kohti tilan kattoa, joten anturin ollessa katonrajassa mittaustulos ei vastaa oleskeluvyöhykkeen lämpötilaa. Anturit asennetaan tyypillisesti sisäseinälle 1,5 m korkeuteen mahdollisimman lähelle keskimääräistä oleskelu-
aluetta. (Sandberg ym. 2014, 349.) Anturin sijoittamisessa tulisi Sandbergin ym. (2014, 349) mukaan välttää seuraavia lämmön ja kylmän lähteitä:

- ulkoseinä
- ikkunat
- lämmityslaitteet
- suora auringonpaiste
- lämpöä tuottavat laitteet
- tuloilman päätelaitteet ja niiden suihkut
- verhojen ja huonekalujen taustat
- nurkat, syvennykset ja komerot

Lisäksi anturin sijoituksessa tulisi välttää ilmavirtauksia aiheuttavia asioita, kuten ovia. Oven ollessa auki, sen läheisyydessä oleva anturi saattaa mitata ovivirtauksen takia viereisen tilan lämpötilaa. Jos anturissa on asetusarvon säätö, se tulisi kuitenkin sijoittaa lähelle tilan valokytkimiä, jotka sijaitsevat usein oven välittömässä läheisyydessä (Sandberg ym. 2014, 349).

2.2.2 Hiilidioksidi

Tilan korkea hiilidioksidipitoisuus tarkoittaa usein liian vähäistä ilmanvaihtoa (Säteri & Koskela 2014, 63). Hiilidioksidimittausta hyödynnetään tilan ilmanvaihdon ohjaamiseen säätämällä ilmamääräsäätimiä ja/tai ilmanvaihtokoneiden puhaltimia hiilidioksidipitoi-

suuden mukaan. Hiilidioksidianturit ovat usein ulkoisesti saman näköisiä seinään asennettavia antureita, kuin lämpötila-anturit, mutta niitä saa myös poistoilmakanavaan asennettavina malleina. Kanavaan asennettavien antureiden huonona puolena voidaan pitää, että ne eivät mittaa pitoisuutta oleskeluvyöhykkeellä. Etuna taas voidaan pitää, että ne eivät reagoi yhtä herkästi oleskeluvyöhykkeellä tapahtuviin ilmapirtauksiin. Hiilidioksidianturit mittaavat usein myös lämpötilaa. Tyypillisen yhdistelmäanturin molempien mittaavien suureiden ulostulo rakennusautomaatioon on 0-10 V tai 4-20 mA, jolloin mitattavat suureet voi kytkeä ristiin ja virhe huomataan vasta hyvän valvonnan ansiosta, tai järjestelmien toimimattomuuden takia. Antureiden sopiva asennuskorkeus on noin 1,5 m. (Produal 2014b, 1.) Produalin (2014b) ohjeiden mukaan antureiden sijoituksessa tulisi välttää seuraavia mittausrvirhettä aiheuttavia tekijöitä:

- suora auringon valo
- ihmisten välitön läheisyys
- ikkunoista tai ovista aiheutuva ilmapirtaus
- ilmanvaihtokanavien suuttimista aiheutuva ilmapirtaus
- uppoasennusrasiasta tuleva ilmapirtaus
- ulkoseinästä aiheutuva lämpötilaero

Hiilidioksidianturien kaapeloinnissa tulisi välttää pitkiä ja ohuita kaapeleita hiilidioksidimittauksen käyttöjännitesyöttöön aiheuttaman virtapiikin takia. Antureihin on saatavilla itsekalibrointitekniikka, joka pidentää varsinaista kalibrointiväliä huomattavasti. Tekniikka edellyttää, että tilaa ei käytetä jatkuvasti ympäri vuorokauden, jolloin tilan hiilidioksidipitoisuus pääsee asettumaan ulkoilman pitoisuuden tasolle. Tekniikka ei siis sovi sairaaloihin ja muihin sen tyyppisiin rakennuksiin. Tekniikka vertaa tyypillisesti alinta mittaustulosta oletettuun ulkoilman pitoisuuteen (400 ppm) ja korjaa tulevia mittauksia sen mukaan alas- tai ylöspäin. Itsekalibrointitekniikkaa käytettäessä normaali kenttäkalibrointiväli on useampi vuosi. Ilman tekniikkaa kenttäkalibrointiväli on korkeintaan 1 vuosi. (Produal 2014b, 1-2.)

2.2.3 Suhteellinen kosteus

Suhteellista kosteutta mitataan näistä olosuhteista huomattavasti vähiten. Kosteusmittauksen avulla voidaan ohjata erityisesti märkätilojen lämmitysjärjestelmää ja/tai ilmanvaihtoa. Tuloilman kostuttamisesta on nykyrakentamisessa luovuttu lähes täysin, joten mittauksen avulla voidaan ohjata järjestelmien avulla vain mahdollinen ylikosteus pois. Kostuttimia käytetään nykyään käytännössä vain, kun jokin prosessi vaatii ylläpitämään tiettyä kosteustasoa. Tällainen tilanne tulee vastaan esimerkiksi arkistotiloissa, joissa paperi halutaan pitää tietyn ilman kosteuden ja lämpötilan avulla mahdollisimman pitkään hyvässä kunnossa. Kosteuden mittaamiseen pätevät muuten samat ohjeet kuin lämpötilan mittaukselle, mutta kosteusanturit vaativat huomattavasti lyhyemmän kalibrointivälin (Sandberg ym. 2014, 349).

2.2.4 Valaistus

Valaistusolosuhdetta kannattaa mitata tiloissa, joissa oleskellaan ja päivänvaloa voidaan hyödyntää. Päivänvalon hyödyntämisen avulla voidaan tilan valaistusta pitää himmeämmällä. Valonlähteiden valovirta alenee ajan myötä, minkä takia valaistusmittauksen avulla voidaan myös taata haluttu valaistusvoimakkuus koko lampun käyttöajan. Valaisimien sijoittelulla on suuri merkitys niiden käyttöön ja sitä kautta energiankulutukseen. Tilan valaisimet voidaan jakaa ikkunaryhmään ja käytäväryhmään. Asentamalla molemmille ryhmille oman valaistusanturin, voidaan ikkunaryhmä valaisimia käyttää käytäväryhmän valaisimia himmeämmällä ulkoa tulevan valon ansiosta. Valaistusanturit sijoitetaan usein kattoon mahdollisimman avaralle paikalle kuitenkin niin, ettei auringonpaiste pääse vaikuttamaan mittaustulokseen.

2.3 Yleistymässä olevat olosuhdemittaukset

Tässä kappaleessa käsitellään yleistymässä olevia olosuhdemittauksia. Näihin mittauksiin pätevät samat ohjeet liittyen antureiden asennukseen ja kalibrointiin, kuin kohdassa 2.2.

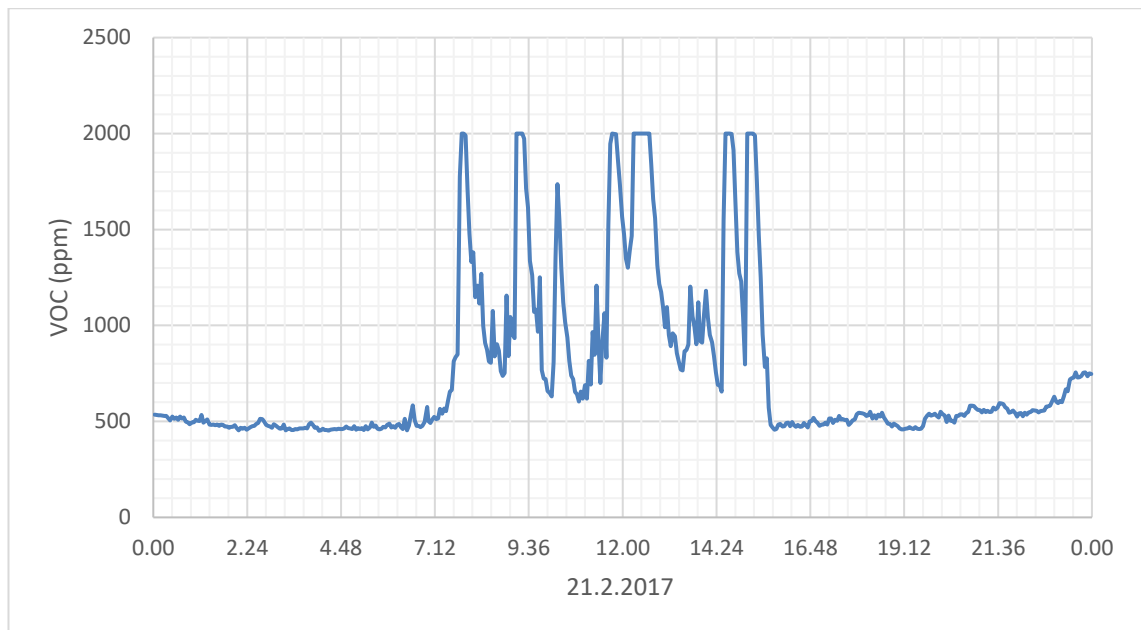
2.3.1 VOC

Nykyään mitataan jonkin verran huonetilojen sisäilman VOC-pitoisuuksia. VOC-mittaukset ovat yleistyneet viime vuosina halventuneen tekniikan ja mittausteknologian kehittymisen ansiosta. Yleistymiseen on vaikuttanut myös sisäilmaongelmat, joihin VOC-mittaukset reagoivat esimerkiksi rakennusmateriaalien päästöjen osalta. VOC-mittauksen etuna on sen mittaamien yhdisteiden suuri määrä verrattuna hiilidioksidimittaukseen (taulukko 2).

TAULUKKO 2. VOC-anturin mittaamia tyypillisiä aineita ja niiden lähteitä (Swegon 2010, 3)

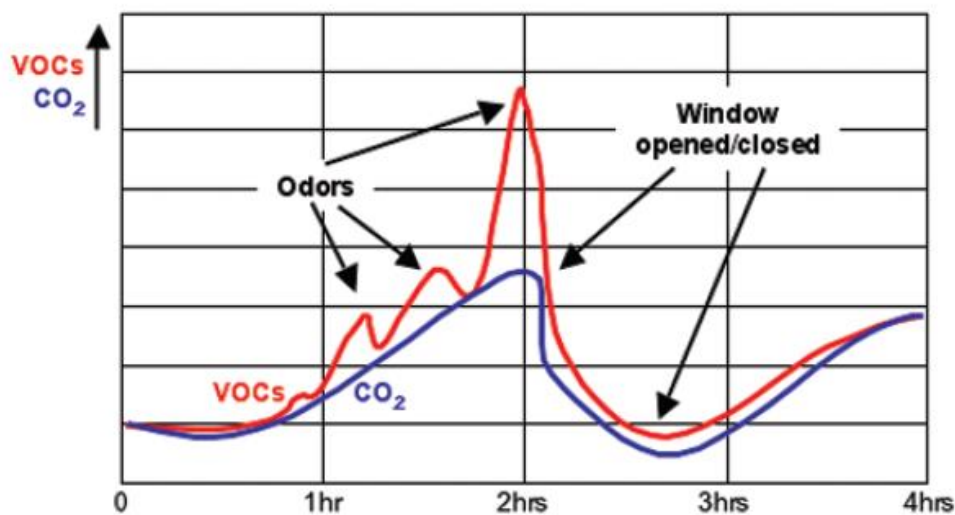
Sisäilma Epäpuhtauslähde	Emissiolähde	Tyypilliset aineet	
		VOC*	Muut
Ihminen	Hengitys	Asetoni, etanoli, isopreeni	
		CO ₂	
		Kosteus	
	Iholta haihtuva kosteus ja hiki	Nonanaali, dekanaali, α-pineeni	
		Kosteus	
	Kehon kaasut	Metaani, vety	
	Kosmetiikka	Sitrusöljy, eukalyptoli	
	Kodinhoitotuotteet	Alkoholit, esterit, sitrusöljy	
		Palamattomat hiilivedyt	
	Palaminen (moottorit, laitteet, tupakointi)	CO	
CO ₂			
Kosteus			
Rakennusmateriaalit Huonekalut Toimistovarusteet Kuluttajatuotteet	Maalit Liimat, liuottimet Matot	Formaldehydi, alkaani, alkoholit, aldehydit, ketonit, siloksaanit	
	Muovi	Tolueeni, ksyleeni, dekaani	
	Tulostimet, kopiokoneet, tietokoneet	Benseeni, styreeni, fenolit	

Toisaalta VOC-antureiden mittaamien yhdisteiden suurta määrää voidaan pitää myös haittana, koska se rajoittaa mittauksen hyödyntämistä ilmanvaihdon säädössä. Mitattavien yhdisteiden suuren määrän takia mittaustulos vaihtelee nopeasti ja tulokseen syntyy suuria hetkellisiä piikkejä (kuvio 2).



KUVIO 2. Tampereen Kalevanharjun päiväkodin H103 tilan VOC-pitoisuus 21.2.2017

Tilassa olevan Proidualin VOC-anturin mittausalue on 450...2000 ppm (CO_2 verrannollinen), joten piikit ovat todellisuudessa korkeampia (Proidual 2014a). Tämän tyyppisen mitaustuloksen hyödyntäminen ilmanvaihdon säädössä ei ole järkevää, koska ilmanvaihtojärjestelmä ei ehdi reagoida muutokseen riittävän nopeasti. Kuviossa 3 on esitetty VOC- ja hiilidioksidipitoisuuksien muutoksen eroavuus toisistaan.



KUVIO 3. Hiilidioksidi- ja VOC-pitoisuuden muutokset (AppliedSensor 2013, 3)

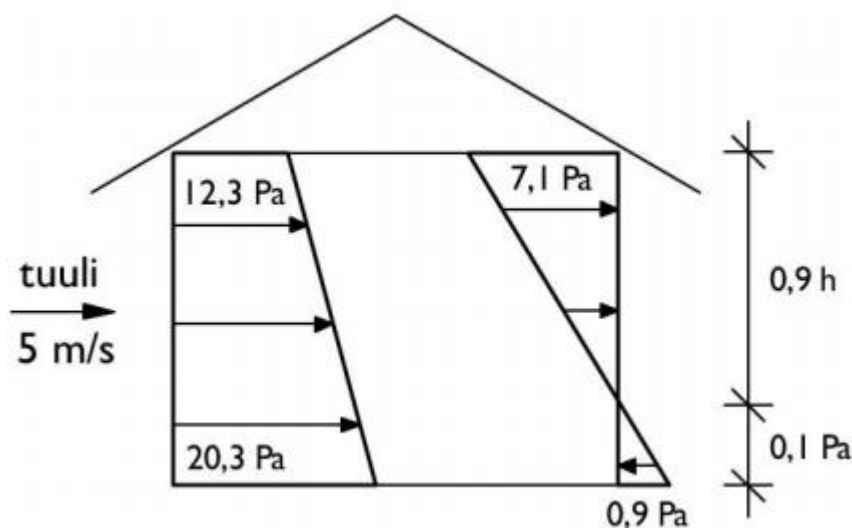
VOC-anturit ovat herkkiä kosteudelle ja lämpötilalle, sekä erilaisille hajuille (odors), kuten hajuvesille, pesuaineille, tupakalle, ruoalle ja hielle (AppliedSensor 2013, 3). Ovien

ja ikkunoiden avaaminen vaikuttaa myös VOC-pitoisuuksiin enemmän kuin hiilidioksidipitoisuuksiin. Näistä johtuen VOC-antureita suositellaan asennettavaksi ilmanvaihtokanavaan, jos antureiden avulla on tarkoitus ohjata ilmanvaihtoa. VOC-anturit mittaavat suhteellista VOC-tasoa. VOC-antureiden mitaamat yhdisteet ja niiden määrä vaihtelevat paljon valmistajasta riippuen. VOC-anturit eivät ole selektiivisiä, eli niitä ei voi asettaa mittaamaan yhtä tiettyä yhdistettä. Lisäksi antureiden sensori pitää lämmittää ennen mittausta, joten sen pitää olla päällä useita minuutteja ennen mittaamista. (Kuisma 2017.)

VOC-antureita on leimannut niiden tiheä kalibrointiväli. Osa antureista pitää kalibroida muutaman kuukauden välein, mutta markkinoille on tullut myös malleja, joiden väitetään mittaavan luotettavasti usean vuoden ajan (Swegon 2010, 4).

2.3.2 Paine-eromittaus rakennuksen vaipan yli

Ilman paine-eromittaus rakennuksen vaipan yli on toteutettu jo yksittäisissä kohteissa. Etenkin korkeissa rakennuksissa savupiippuvaikutuksen seurauksena rakennuksen painesuhteet vaihtelevat alimman ja ylimmän kerroksen välillä. Painesuhteisiin vaikuttavat myös tuuli ja ilmanvaihto kuvan 3 mukaisesti (Ympäristöministeriö 2016, 122).



KUVA 3. Tuulen, savupiippu vaikutuksen ja ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin (Ympäristöministeriö 2016, 122)

Viime vuosina on kiistelty paljon siitä, minkälaiset painesuhteet rakennuksessa pitäisi olla. Rakennusten ilmanvaihto on pitkään pyritty toteuttamaan hieman alipaineiseksi, mutta

viime aikoina on pohdittu voisiko rakennukset olla tasapaineisia ulkoilmaan nähden (Ympäristöministeriö 2016, 9). Opinnäytetyössä ei oteta kantaa siihen, minkälaiset painesuhteet rakennuksissa pitäisi olla. Paine-eromittauksen avulla rakennuksen vääränlaiset painesuhteet huomataan ja niihin osataan helpommin puuttua. Painesuhteita olisi hyvä mitata, vaikka niillä ei ohjattaisikaan mitään järjestelmiä. Mittauksen avulla voidaan säätää painesuhteita ohjaamalla ilmanvaihtoa kulloinkin vallitsevien painesuhteiden mukaan. Savupiippuvaikutuksen ja tuulen takia painesuhteiden ohjaus toimii paremmin muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä, jolloin painesuhteita voidaan ohjata tila- tai vyöhykekohaisesti. Vakioilmavirtausjärjestelmissä voidaan ohjata vain kokonaisen ilmanvaihtokoneen painesuhteita, jolloin painesuhteet voivat vaihdella tilojen välillä.

2.4 Olosuhteiden seuranta ja merkitys energiankulutukseen

Olosuhdemittausten avulla voidaan pienentää merkittävästi rakennuksen energiankulutusta tinkimättä olosuhteista, ohjaamalla taloteknisiä järjestelmiä tarpeenmukaisesti. Vuoden kestäneissä tutkimuksissa on todettu, että tarpeenmukaisen ilmavaihdon säästäminen energia voi olla jopa 30-50 % verrattuna vakioilmavirtaiseen järjestelmään (Okochi & Yao 2016, 808). Ilmanvaihdon energiankulutukseen vaikuttaa olennaisesti myös rakennuksen käyttöaste varsinkin, jos hyödynnetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Hyvien olosuhdetavoitteiden energiatehokkaaseen saavuttamiseen auttaa myös erilaiset passiiviset ratkaisut, kuten aurinkosuojaus. Kesällä aurinkosuojaus vähentää jäähdytysenergian kulutusta, mutta voi lisätä valaistusenergian kulutusta. Tämä tuo haasteita erilaisten aurinkosuojaustapojen kanssa, minkä takia pitäisi löytää mahdollisimman optimaalinen ratkaisu. Valaistuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa luonnonvalon hyödyntämisellä, tehokkailla valaistusratkaisuilla ja hyvällä ohjaustekniikalla (Kallioharju 2017, 2). Pitää siis muistaa, että pelkkä valaistuksen päivänvalo-ohjaus ei takaa aina suuria energiansäästöjä, vaan siihen vaikuttaa moni asia. Hyödynnettäessä valaistuksen päivänvalo-ohjausta ikkunoiden suunnalla, niiden tyypillä, säällä ja kaihtimien käytöllä on suuri merkitys energiankulutukseen.

Olosuhteiden seurantaa varten kaupungeilla on ohjeita siitä, miten olosuhdemittaukset ja energiankulutustiedot pitää olla esitetty valvomossa (katso kohta 2.6.2 kuva 4). Näille mittauksille voidaan asettaa raja-arvoja, jotta poikkeamiin osataan reagoida ja tehdä tar-

vittavia toimenpiteitä. Vaikka raja-arvot eivät ylittyisi, järjestelmien käyntiä on hyvä analysoida esimerkiksi käyttöajan ulkopuolella. Rakennuksen käyttöajan ulkopuolella on hyvä miettiä pitääkö olosuhteiden olla samalla tasolla, kuin käyttöaikana, vai riittäisikö pelkästään rakennuksen ylläpidon kannalta oleelliset olosuhteet. Olosuhteita ei ole järkevää pitää myöskään käyttöaikana liian hyvänä. Olosuhdetavoitteet ovat tärkeä pohtia hanke- ja tilakohtaisesti, jotta järjestelmät kuluttavat energiaa optimaalisesti juuri tarvittavan määrän. Hyvällä seurannalla ja mittausdatan analysoinnilla saadaan selville olosuhdetavoitteiden toteutuminen ja nähdään toimivatko järjestelmät niin kuin niiden kuuluukin.

2.5 Nykyiset suunnitteluohjeet

Tampereella ja sen ympäryskunnissa taloteknisen suunnittelun ja toteutuksen ohjaukseen on käytössä määräysten lisäksi erilaisia ohjeita ja dokumentteja. Näillä ohjeilla pyritään luomaan mm. yhtenäisiä suunnittelu- ja toimintaperiaatteita liittyen rakennusten energiatehokkuuteen ja järjestelmien toimintaan ja rakenteeseen. Tässä kappaleessa on käsitelty kolmea ohjetta olosuhdemittausten osalta. Tampereen tilakeskuksella on lisäksi olemassa olevien rakennusten sisäilmaohjeistus, sekä muita sisäilmaan liittyviä dokumentteja. Sisäilmaohjeistuksessa annetaan ohjeita sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyyn ja ratkaisuun. (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2016.)

2.5.1 TAPRE

TAPRE on Tampereen tilakeskuksen vetämä hanke, joka tulee sanoista Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi. TAPRE-hanke päättyi vuonna 2014 ja sen tavoitteena oli luoda yhtenäiset energiatehokkaat sopimus- ja toimintaperiaatteet kaikille rakennushankkeiden osapuolille Tampereen ympäryskunnissa. Hankkeen tuloksena syntyi dokumentteja rakennuksien energiatehokkuuden kehittämiseen suunnittelua, rakentamista ja käyttöä varten. TAPRE ei ota kantaa, mikä on energiatehokasta ja mikä ei, vaan sen määrittää rakennushankkeeseen ryhtyvä tai heidän käyttämänsä asiantuntija (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2014c, 3.)

Taulukossa 3 on esitetty TAPREN mittarointiohjeen (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2014b) olosuhteita käsittelevä osuus.

TAULUKKO 3. TAPREN olosuhteiden mittarointiohje (mukaillen Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2014b, 4)

Huonelämpötilat	<ul style="list-style-type: none"> Kiinteistön sisäilmaolosuhteiden ja tavoitteiden toteutumisen seuranta, sekä olosuhteiden pysyvyyden määrittäminen Käyttäjäpalautteen todentaminen
Huonehiilidioksidipitoisuudet	”
Huonekosteuspitoisuudet	”
Painesuhteet: <ul style="list-style-type: none"> Kiinteistössä Leikkaussalissa 	”, vetoisuuden vähentäminen Riskienhallinta (homeet, mikrobit, epäpuhtaudet...) Potilasturvallisuus

Taulukosta nähdään, että ohjeessa on otettu hyvin huomioon rakennusten käyttäjät LVI-tekniikan osalta. Ohjeessa ei ole otettu lainkaan huomioon olosuhdemittausten hyödyntämisen avulla saavutettavia energiansäästöjä. Valaistusolosuhteisiin mittarointiohje ei ota mitään kantaa. TAPREN muissa dokumenteissa mainitaan monesti tilojen olosuhteiden tarpeenmukainen hallinta, mutta mittarointiohjeessa, jonka pohjalta paljon määritetään rakennuksen mitattavia suureita, ei asiaa ole käsitelty. Esimerkiksi TAPRE-ohjeessa kiinteistön energiatehokas käyttö puhutaan sisäilmaolosuhteiden tarpeenmukaisesta hallinnasta, mutta suunnittelua ohjaavissa ohjeissa tätä asiaa on käsitelty liian vähän. (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2014a, 4.) TAPRE ei ota kantaa, miten taulukossa näkyvät olosuhdemittaukset tulisi toteuttaa.

2.5.2 Tampereen tilakeskuksen suunnitteluohjeet

Tampereen tilakeskuksella on internet-sivuillaan yleisessä jaossa useita rakennusautomaation suunnitteluun liittyviä ohjeita. Rakennusautomaation liittyvät ohjeet on tehty tai päivitetty vuosina 2012–2013. Rakennussuunnitteluohjetta päivitettiin tätä opinnäytetyötä tehdessä. Kyseisessä ohjeessa on listattu kattavasti kaikille suunnittelijoille tehtäviä eri suunnitteluvaiheisiin. LVI-suunnittelijalle on asetettu ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheeseen mm. ympäristöolosuhteiden mukaiset ja energiaa säästävät järjestelmäratkaisut, sekä sisäolosuhteiden säädettävyyden ja ohjattavuus. (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2017, 9-10.)

Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohjeessa sanotaan olosuhdemittausten suunnittelusta, että ”kiinteistöön pitää suunnitella ja toteuttaa tarvittava määrä olosuhdemittauksia grafiikkakuvaohjeen (kuva 4) mukaisen valvonnan tason ja sitä kautta rakennuksen energiatehokkaan käytettävyyden saavuttamiseksi.” Lisäksi ohjeessa mainitaan, että ”talotekniset järjestelmät on lähtökohtaisesti suunniteltava ja toteutettava niin, että rakennuksessa saavutetaan turvalliset, terveelliset ja viihtyisät olosuhteet energiatehokkaasti.” (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2013c, 35-36.) Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitteluohjeessa tai rakennussuunnitteluohjeessa ei mainita tarkemmin, miten edellä mainitut ohjeet voidaan saavuttaa. Näiden ohjeiden tueksi nettisivuilta löytyy valmiita rakennusautomaation säätökaaviomalleja ja yhteenvetoja suunnittelijoille, joiden avulla ohjeita voi toteuttaa (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2013a). Erityisesti tilaohjausjärjestelmien mallikaaviota on hyvä hyödyntää olosuhdemittausten ja niiden avulla tehtävien automaatio-ohjausten suunnittelussa.

OLOSUHTEET	Huonelämpötilakeskiarvot				Huonelämpötilojen minimi- ja maksimiarvot				
VAIKUTUSALUEET	Kiinteistö	1. krs	2. krs	3. krs	Min.	Kiinteistö	1. krs	2. krs	3. krs
	22,6 °C	21,5 °C	19 °C	24 °C		19,0 °C	21,5 °C	19 °C	21 °C
					Maks.	27,6 °C	21,5 °C	22 °C	27,6 °C

Maksimi hiilidioksidipitoisuudet			Hälytykset
1. krs	2. krs	3. krs	
1200 ppm	900 ppm	680 ppm	

KUVA 4. Grafiikkakuvaohjeen mukainen olosuhteiden esitystapa valvomossa (Tampereen Tilakeskus Liikelaitos 2013b, 9)

Kuvasta nähdään, että grafiikkakuvaohjeen mukaiseen valvonnan tasoon riittää lämpötila- ja hiilidioksidimittaukset. Muiden olosuhteiden mittaamisesta ei mainita grafiikkakuvaohjeessa mitään.

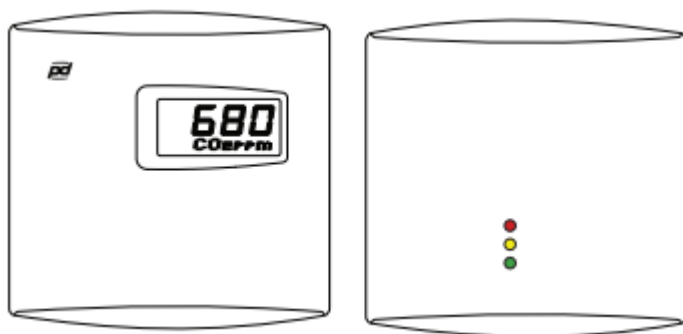
2.5.3 SYK:n TATE-järjestelmäohje

Suomen yliopistokiinteistöt Oy (SYK) on koonnut TATE-järjestelmäohjeen, jonka tarkoituksena on toimia rakennusprojektien TATE-ohjeena suunnittelijoille. Ohjeen tavoitteissa on asetettu erityisten painopistealueiden joukkoon sisäilma ja muiden painopisteiden joukkoon energia/kestävä kehitys. Hiilidioksidi- ja lämpötilamittauksia hyödynnetään näiden tavoitteiden saavuttamiseksi kokoontumistiloissa, joihin ilmanvaihdon oh-

jaus tulee ensisijaisesti toteuttaa hiilidioksidipitoisuuden ja toissijaisesti lämpötilan mukaan. TATE-järjestelmäohje on ainoa tässä työssä käsitelty ohje, jossa puhutaan vakio/päivänvalo-ohjauksesta. Ohjeessa mainitaan, että vakiovalo on yksi valaistuksenohjauksen lähtökohdista ja ohjaus tulee harkita hankekohtaisesti vertailemalla eri vaihtoehtoja. Ohjeessa ei kerrota, miten olosuhdemittaukset tulisi toteuttaa. Ohjeen liitteenä on mittarointiohje, mutta se keskittyy vain energia- ja kulutusmittauksiin. Ohjeessa on käsitelty kattavasti ilmamääräsäätimiä, niiden vaatimuksia ja minkälaisia asioita ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon käytettäessä ilmamääräsäätimiä. (Suomen yliopistokiinteistöt Oy 2016, 5-122.)

2.6 Olosuhteiden näkyväksi tekeminen

Olosuhteiden mittaamisen yleistyessä ja tekniikan kehittyessä useat valmistajat ovat tuoneet markkinoille laitteita, joiden avulla mitattavat olosuhteet saadaan myös käyttäjien nähtäväksi, eikä pelkästään datana rakennusautomaatioon. Saatavilla on mm. antureihin integroituja digitaalinäyttöjä ja merkkivaloja (kuva 5), irrallisia digitaalinäyttöjä sekä verkkopohjaisia sovelluksia, joiden avulla voidaan seurata/ohjata olosuhteita kännykällä.



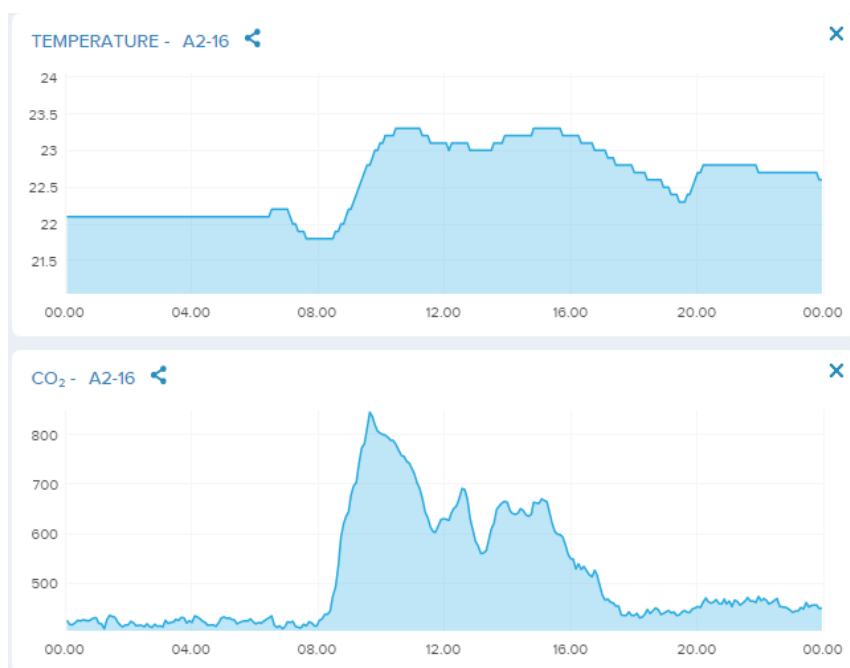
KUVA 5. Näytöllä ja merkkivaloilla varustetut hiilidioksidi/VOC-lähettimet (Produal 2015)

Produalin yhdistelmäantureissa digitaalinäytöllä näkyy vuorotellen jokin mittausarvoista, mutta halutun mittaussuureen voi myös lukita näkymään pysyvästi. Merkkivalollisessa mallissa pitoisuus näkyy kolmiportaisena. Vihreän valon palaessa pitoisuus on vähäinen ja vastaavasti punaisen valon palaessa pitoisuus on korkea. (Produal 2014a.) Kuvassa 6 on esitetty yksi vaihtoehto olosuhteiden mittaamiseen ja näkyväksi tekemiseen, jos rakennukseen ei ole toteutettu kiinteitä antureita.



KUVA 6. Netatmon irrallinen olosuhdeanturi (Netatmo 2017)

Netatmon antureilla on mahdollista mitata sisäilman lämpötilaa, kosteutta, laatua, hiilidioksidipitoisuutta sekä äänitasoa. Anturin mittaamien olosuhteiden vaihtelua voi seurata valmistajan matkapuhelinapplikaation ja internetsivujen avulla. Anturin etuna on sen vaapampi sijoittelu huonetilassa langattoman tekniikan ansiosta. Anturin sijoittamisessa pitää kuitenkin pyrkiä välttämään mahdollisia ilmavirtauksia, jotka aiheuttavat mittaustulokseen epätarkkuutta. Kuvassa 7 on esitetty Tampereen ammattikorkeakoulun tilan A2-16 lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden muutokset 4.4.2017. Kuvakaappaus on otettu valmistajan internetsivuilta löytyvän palvelun kautta.



KUVA 7. TAMKin tilan A2-16 lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden muutos 4.4.2017 (Netatmo 2017)

Mittausdataa on internetsivuilla mahdollista analysoida päivä-, viikko-, kuukausi- ja vuositasolla. Kuntien käytössä olevien kiinteistönseurantajärjestelmien avulla on mahdollista tehdä saman tyyppisiä olosuhdekuvioita. Myös tätä voidaan pitää olosuhteiden näkyväksi tekemisenä. Olosuhdekuvioiden avulla voidaan seurata toteutuvatko asetetut olosuhdetavoitteet. Niiden avulla osataan myös puuttua mahdollisiin olosuhdepoikkeamiin.

3 CASE-KOYTEIDEN OLOSUHDEMITTAUKSET

Tässä kappaleessa on esitetty case-kohteiden säätökaavioiden avulla selvitettyt olosuhdemittaukset, jotka ovat yhteydessä rakennusautomaatioon. Kohteiden olosuhdemittauskuvioissa esitetyt luvut kuvaavat tilojen lukumäärää. Esimerkiksi lämpötilaa mitattiin joissakin tiloissa kahdella anturilla, mutta kuvioissa nämä on huomioitu yhtenä mittauksena. Kohteissa on myös sellaisia järjestelmien omia olosuhdemittauksia, jotka eivät ole yhteydessä rakennusautomaatioon. Näitä mittauksia ei ole otettu huomioon tässä tutkimuksessa. Useissa kohteissa on käytetty valaistusohjaukseen liiketunnistimia ja/tai aikaohjelmia, mutta kuvioissa on huomioitu vain valaistusta mittaavat anturit. Case-kohteina on yksi vanhainkotirakennus, kaksi koulu ja päiväkotiyhdistelmää ja kolme päiväkotia. Case-kohteet sijaitsevat Tampereella, Kangasalla, Lempäälässä ja Nokiella.

3.1 Impivaaran vanhainkoti

Impivaara on osa Tampereen Koukkuniemen vanhainkotiä. Rakennus on 5 kerroksinen ja jokaisessa kerroksessa on oma ryhmäkoti. Ryhmäkodeissa on yhteensä 64 asuinhuonetta, joihin joihinkin kuuluu WC- ja suihkutila. Kuviossa 4 on esitetty Impivaaran vanhainkodin rakennusautomaatioon liitettyt olosuhdemittaukset.



KUVIO 4. Impivaaran vanhainkodin olosuhdemittaukset

Impivaaran jokaisessa asuinhuoneessa on oma ilmanvaihdon lämmityspatteri. Asuinhuoneiden lämpötilaa mitataan huonetilassa olevilla lämpötila-antureilla. Asuinhuoneiden lämmitystä ja jäähdytystä ohjataan erillisillä säätöohjelmilla huonelämpötilan mukaan. Asuinhuoneiden lisäksi lämpötilaa mitataan kerroksittaisissa ATK-tiloissa, lääkehuoneissa, tuulikaapeissa ja saunaosastoilla. Näissä tiloissa on erilliset puhallinkonvektorit, joiden säätimet on liitetty väylällä rakennusautomaatiojärjestelmään. Puhallinkonvektorit käynnistyvät 3 portaisesti huonelämpötilan ylittäessä tietyt lämpötilat. Yhteisissä ruokailu- ja oleskelutiloissa ei ole olosuhdemittauksia, mutta tiloissa on aikaohjelmalla toimivat ilmanvaihdon moottoripellit.

3.2 Koivurinteen päiväkoti ja koulu

Koivurinteen päiväkoti ja koulu valmistui Kangasalle vuonna 2014. Rakennuksessa toimii 5 päiväkotiryhmää (105 hoitopaikkaa) ja 4 luokkahuonetta. Kuviossa 5 on esitetty Koivurinteen päiväkodin ja koulun rakennusautomaatioon liitetyt olosuhdemittaukset.



KUVIO 5. Koivurinteen päiväkodin ja koulun olosuhdemittaukset

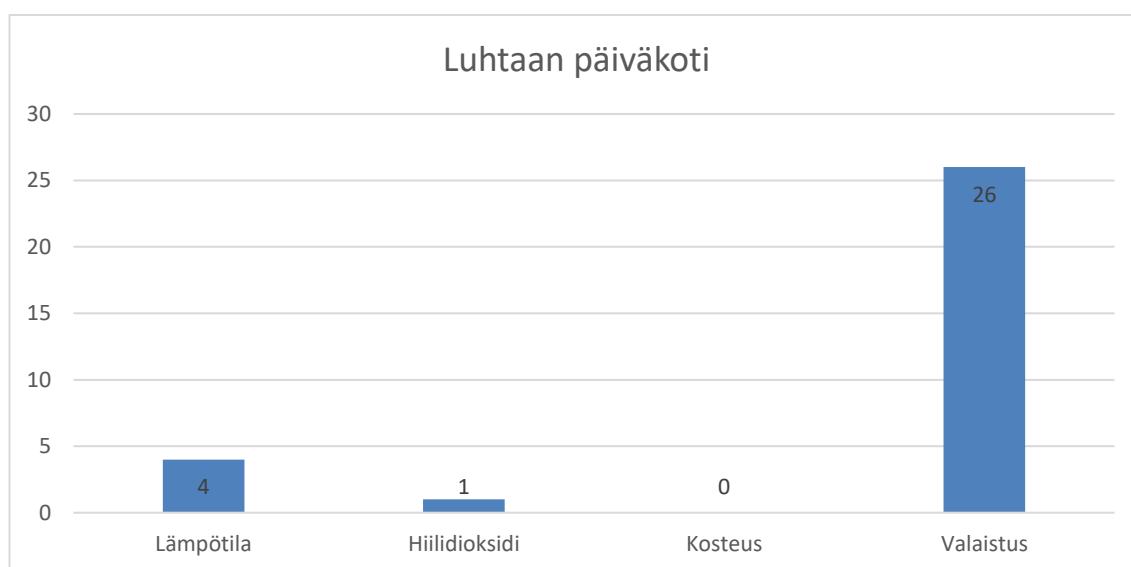
Koivurinteen päiväkodissa ja koulussa on hiilidioksidi- ja lämpötilamittaus 19 tilassa. Lisäksi 10 tilassa mitataan pelkkää lämpötilaa. Hiilidioksidia ja lämpötilaa mitataan päiväkodin oleskelutiloissa. Luokkahuoneiden lämpötilaa ja hiilidioksidia mitataan tilojen poistoilmakanavista, minkä takia ne mittaukset eivät näy kuviossa.

Päiväkodin oleskelutiloihin ja luokkahuoneisiin on johdettu TK01:ltä kahdet tulo- ja poistoilmakanavat. Toisissa kanavissa virtaa vakioilmavirta ja toisissa tilojen hiilidioksidin mukaan säätyvä ilmanvaihdon tehostus. Tilan hiilidioksidin noustua yli raja-arvon tehostuspellit aukeavat ja hiilidioksidin laskiessa alle raja-arvon tehostuspellit sulkeutuvat.

Pelkät lämpötilamittaukset ovat lämmönjakohuoneessa, ilmanvaihtokonehuoneessa, eteisissä, tuulikaapeissa, keittiössä, kylmiössä ja pakastimessa. Keittiön lämpötilamittaukset käytetään tilan yllilämmön yötuuletukseen. Lämmönjakohuoneessa ja ilmanvaihtokonehuoneessa on omat poistoilmapuhaltimet, joiden käyntiä ohjataan tilojen lämpötilamittauksen avulla. Jokaisessa eteisessä (3 kpl) ja tuulikaapissa (2 kpl) on omat kiertoilmakojit, joiden käyntiä ohjataan lämpötilamittauksen mukaan. Kylmiön ja pakastimen lämpötilamittauksien avulla varmistetaan, ettei tilojen lämpötilat laske tai nouse yli asetellun raja-arvon. Raja-arvon ylityksestä tulee hälytys rakennusautomaatioon.

3.3 Luhtaan päiväkoti

Luhtaan päiväkoti valmistui vuoden 2011 lopussa ja se otettiin käyttöön 2012 vuoden alussa. Päiväkodissa toimii 6 päiväkotiryhmää, joissa on hoitopaikka noin 120 lapselle. Kuviossa 6 on esitetty Luhtaan päiväkodin rakennusautomaatioon liitetyt olosuhdemittaukset.



KUVIO 6. Luhtaan päiväkodin olosuhdemittaukset

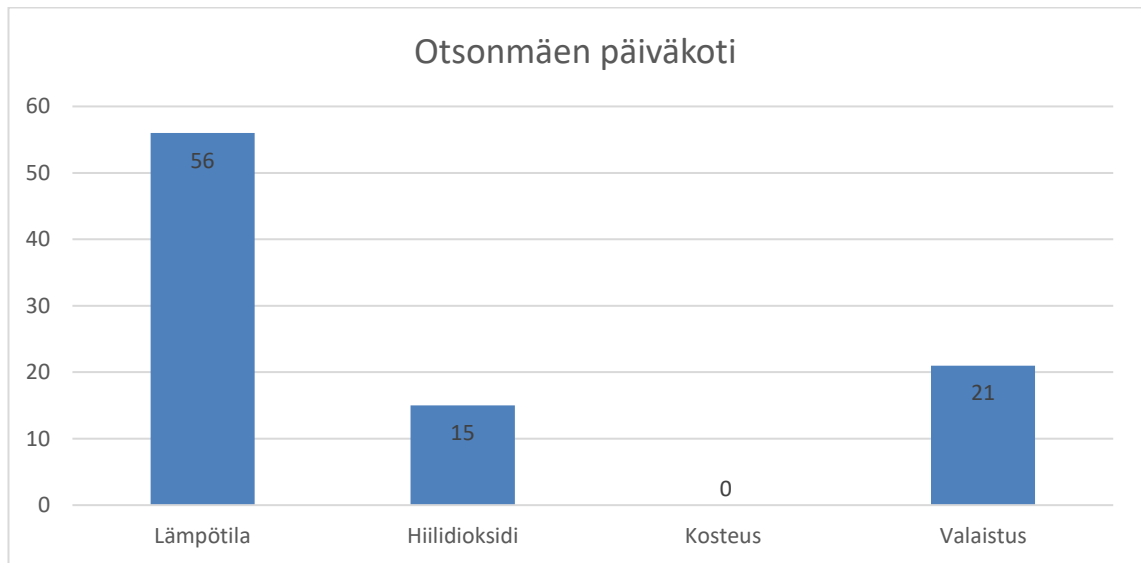
Luhtaan päiväkodissa mitataan lämpötilaa 3 tuulikaapissa ja sähköpääkeskuksessa. Tuulikaappien lämpötilamittauksen avulla ohjataan tiloissa olevia kiertoilmakojeita. Sähköpääkeskuksen lämpötilamittauksen avulla ohjataan tilan poistoilmapuhallinta, joka käynnistyy lämpötilan laskiessa tai noustessa yli asetellun raja-arvon. Hiilidioksidimittaus on henkilökunnan taukotilassa. Hiilidioksidimittauksen avulla säädetään tilan IMS-peltejä. Hiilidioksidipitoisuuden ollessa alle raja-arvon pellit ovat minimi-asetusarvossa. Pitoisuuden kasvaessa peltejä ohjataan auki.

Valaistusta mitattiin kohteessa huomattavasti paremmin. Valaistustasoa mitataan oleskelutiloissa, joita kohteessa ovat lepo- ja leikkihuoneet, ruokailu- ja askartelutilat, pienryhmähuoneet, kuraeteiset, toimisto, kirjasto, neuvotteluhuone, käytävät, aulat ja eteiset. Lepo-, leikki-, askartelu-, ruokailu- ja pienryhmähuoneissa valaisimet on jaettu kahteen ryhmään (ikkuna- ja käytäväryhmä). Näissä tiloissa molemmilla ryhmillä on omat valaistusanturit, jolloin ikkunoiden lähellä olevia valaisimia voidaan käyttää himmeämmällä, kuin käytäväryhmän valaisimia. Näiden tilojen valaistusvoimakkuus on 300 lux. Tilojen valaistus käynnistetään ovipielestä painonapilla ja valaistus sammuu automaattisesti, kun tilan läsnäoloanturi ei ole havainnut liikettä 10 minuuttiin. Valaistus voidaan sammuttaa myös manuaalisesti painonapista. Toimiston, kirjaston ja neuvotteluhuoneen valaistus on toteutettu samalla tavalla, kuin edellisissä tiloissa, mutta valaisimia ei ole jaettu kahteen ryhmään. Näiden tilojen valaistusvoimakkuus on 500 lux.

Käytävien, aulan ja eteisen valaistus käynnistyy ja sammuu automaattisesti liiketunnistimen avulla. Tilojen valaistus himmenee automaattisesti 20 % tasoon, kun liikettä ei havaita 10 minuuttiin ja sammuu kokonaan 60 minuutin kuluttua. Käytävien ja eteisen valaistusvoimakkuus on 150 lux ja aulan 200 lux. Kuraeteisen valaistus on toteutettu samalla tavalla, kuin edellisissä tiloissa, mutta valaistus sammuu automaattisesti kokonaan 10 minuutin kuluttua liikkeen loppumisesta. Kuraeteisen valaistusvoimakkuus on 150 lux.

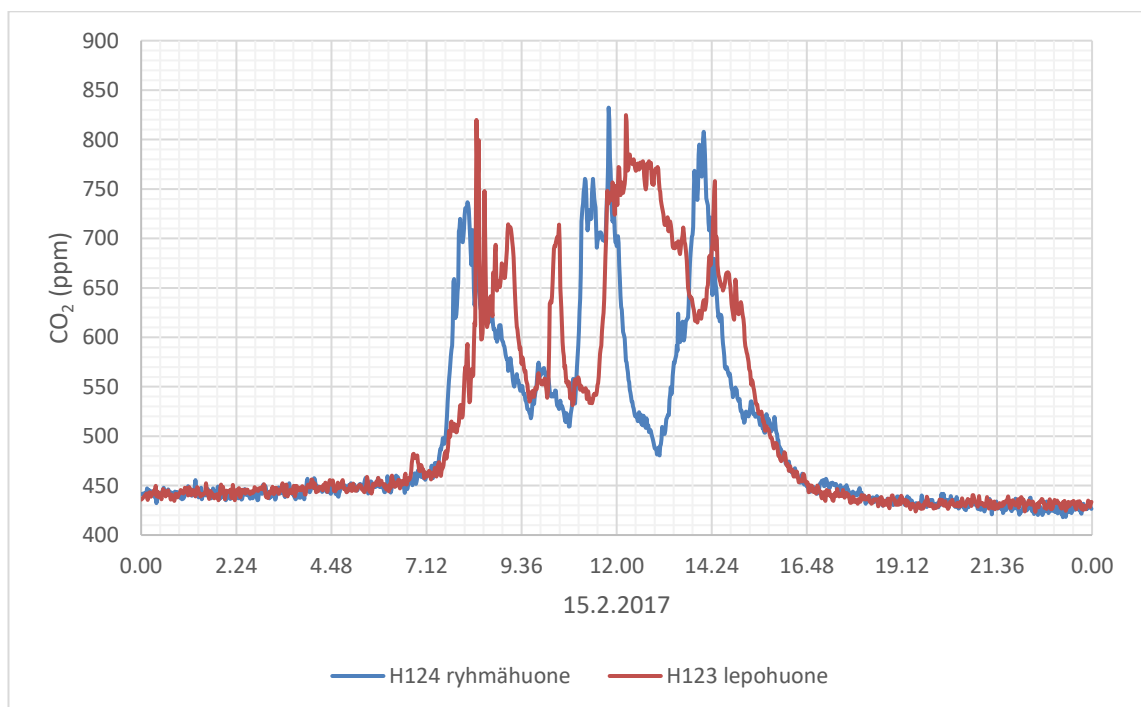
3.4 Otsonmäen päiväkot

Otsonmäen päiväkoti otettiin käyttöön vuoden 2016 alussa Lempäälässä. Päiväkodissa toimii 6 sisarusryhmää. Kuviossa 7 on esitetty Otsonmäen päiväkodin rakennusautomaatioon liitetyt olosuhdemittaukset.



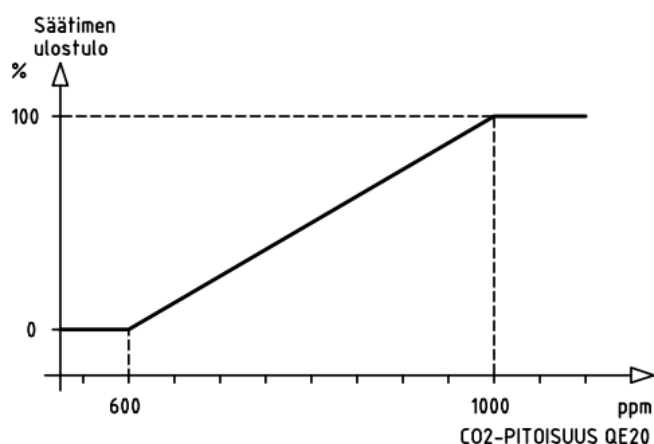
KUVIO 7. Otsonmäen päiväkodin olosuhdemittaukset

Otsonmäen päiväkodissa on hiilidioksidi- ja lämpötilamittaus 15 tilassa. Lisäksi 41 tilassa mitataan pelkkää lämpötilaa. Hiilidioksidia ja lämpötilaa mitataan lepo- ja ryhmähuoneissa, henkilökunnan taukotiloissa ja salissa. Näissä tiloissa on IMS-järjestelmä ja lattialämmitys. Hiilidioksidimittauksen avulla ohjataan IMS-peltejä ja lämpötilamittauksen avulla lattialämmitysventtiileitä. Kuviossa 8 on esitetty päiväkodin yhden ryhmän lepo- ja ryhmähuoneen hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu 15.2.2017.



KUVIO 8. Otsonmäen päiväkodin hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu yhden ryhmän lepo- ja ryhmähuoneessa 15.2.2017

Kuviosta nähdään, että pitoisuus laskee illan ja yön ajaksi noin 450 ppm tasolle. Noin kello 12 nähdään hyvin, että ryhmä siirtyy ryhmähuoneen puolelta lepohuoneeseen päiväunille, jolloin ryhmähuoneen pitoisuus laskee ja lepohuoneen pitoisuus vastaavasti nousee. Tiloissa ei ole ilta ja yö käyttöä. Kuviossa 9 on esitetty päiväkodin ilmanlaadun säädön ohjauksen toimintatapa.



KUVIO 9. Otsonmäen päiväkodin ilmanlaadun säädön ohjaus

Kuvioiden 8 ja 9 perusteella nähdään, että järjestelmä toimii oikein. Rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa IMS-peltejä auki, kun tilan hiilidioksidipitoisuus ylittää 600 ppm. Pelti on täysin auki, kun pitoisuus on 1000 ppm.

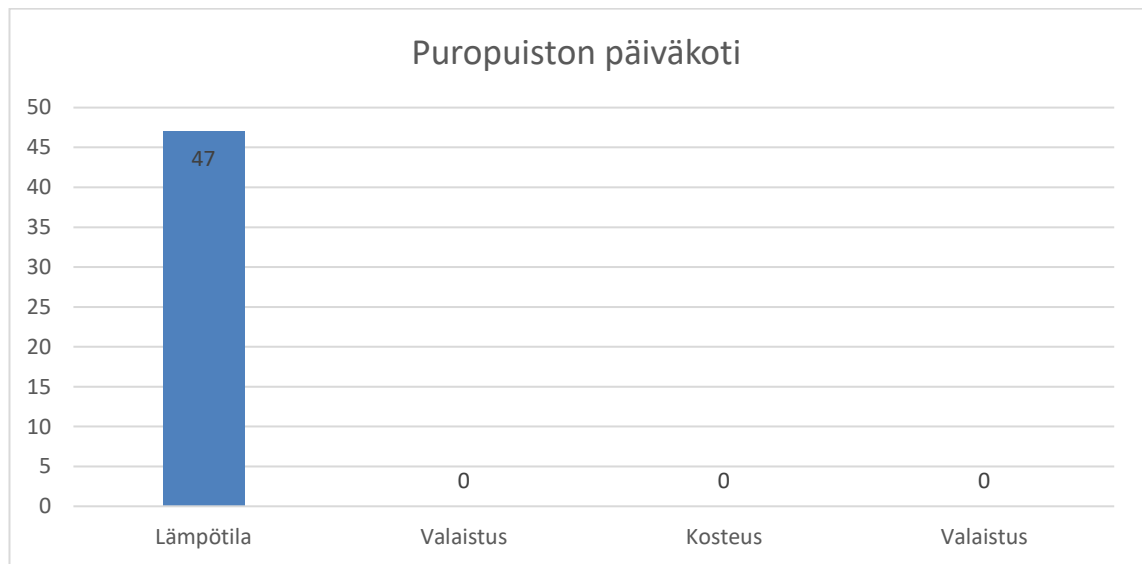
Pelkkää lämpötilaa mitataan pienryhmähuoneissa, märkätiloissa, käytävillä, keittiössä, siivoushuoneissa ja varastoissa. Edellä mainituista tiloista lämmönjakotapana toimii varastoissa radiaattorit ja muissa tiloissa lattialämmitys. Märkätiloissa on lattiaan asennettu kaapelilämpötila-anturi oleskeluvyöhykkeellä olevan lämpötila-anturin lisäksi. Märkätilojen lämmitystä ohjataan kaapeliantureiden avulla.

Valaistusta mitataan lepohuoneissa, ja ryhmähuoneissa, pienryhmähuoneissa, toimistoissa ja henkilökunnan taukotiloissa. Näiden tilojen valaisimia ohjataan päälle/pois tilojen ovien luona olevista painikkeista, sekä läsnäolotunnistimilla ja valaistusanturilla. Kun tilan läsnäoloanturi ei havaitse liikettä 5 minuuttiin, valaistustaso ohjataan 10 %:iin. Valaistus sammuu automaattisesti 5 minuutin kuluttua himmennyssäätötoiminnon jälkeen. Läsnaäoloanturin havaitessa tilassa liikettä himmennyssäätötoiminnon aikana, valaistus palautuu takaisin päällä olleeseen tilannesäätöön. Lisäksi lepohuoneissa läsnäolo-ohjaus

ei ole käytössä päiväuniajalla. Tilojen kaikkia valaisimia ohjataan yhdellä tilassa olevalla valaistusanturilla. Valaistusanturit on pyritty asettamaan huoneiden keskelle.

3.5 Puropuiston päiväkotiki

Puropuiston päiväkoti sijaitsee Nokialla ja sen peruskorjaus valmistui vuonna 2012. Peruskorjauksen yhteydessä rakennukseen rakennettiin myös uusi laajennusosa. Rakennuksessa on 6 ryhmätalaa, joissa toimii 8 päiväkotiryhmää ja 3 eskariryhmää. Kuviossa 10 on esitetty Puropuiston päiväkodin rakennusautomaatioon liitetyt olosuhdemittaukset.



KUVIO 10. Puropuiston päiväkodin olosuhdemittaukset

Puropuiston päiväkodissa mitataan lämpötilaa uudisosassa lepo- ja leikkihuoneissa, ryhmähuoneissa, eteisissä, salissa, ruokailutilassa, keittiössä, toimistoissa, käytävillä, henkilökunnan taukotilassa ja vaatehuoltotilassa. Vanhalla osalla lämpötilaa mitataan askartelutilassa, eteisissä ja kerhohuoneissa. Oleskeluvyöhykkeellä olevan lämpötila-anturin lisäksi tilojen lattialämpötilaa mitataan lattiaan asennetuilla kaapeliantureilla. Oleskeluvyöhykkeellä olevan lämpötila-anturin avulla säädetään tilojen lattialämmitysventtiileitä.

Lisäksi lämpötilaa mitataan tuulikaapeissa ja väestönsuojassa. Tuulikaapin lämpötilan avulla säädetään kiertoilmakojen käyntiä ja väestönsuojan lämpötilan avulla tilan poistoilmahuuhtimen käyntiä. Nämä lämpötilamittaukset eivät ole kuitenkaan liitetty raken-

nusautomaatioon, joten niitä ei ole huomioitu taulukossa. Rakennuksessa ei mitata hiilidioksidia, mutta ruokailutilassa ja salissa on ilmanvaihdon säätöpellit, joita ohjataan aikaohjelmalla auki ja kiinni. Valaistusta ei myöskään mitata, mutta yleisissä tiloissa valaistusta ohjataan aikaohjelman avulla.

3.6 Vehmaisten koulu ja päiväkoti

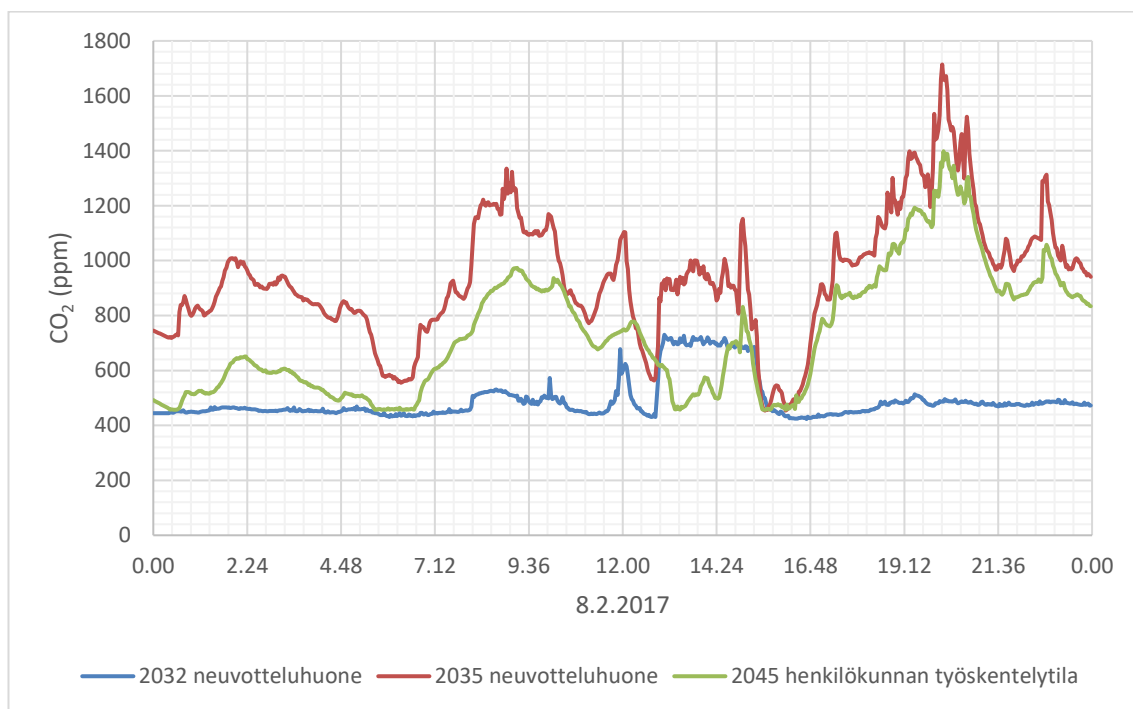
Uusi Vehmaisten koulu ja päiväkoti valmistui Tampereelle kesällä 2016 ja se otettiin käyttöön saman vuoden syksyllä. Alakoulussa on tilat 300 oppilaalle ja päiväkodissa 160 lapselle (4 tuplaryhmää). Rakennus on kaksikerroksinen. Kuviossa 11 on esitetty Vehmaisten koulun ja päiväkodin rakennusautomaatioon liitetyt olosuhdemittaukset.



KUVIO 11. Vehmaisten koulun ja päiväkodin olosuhdemittaukset

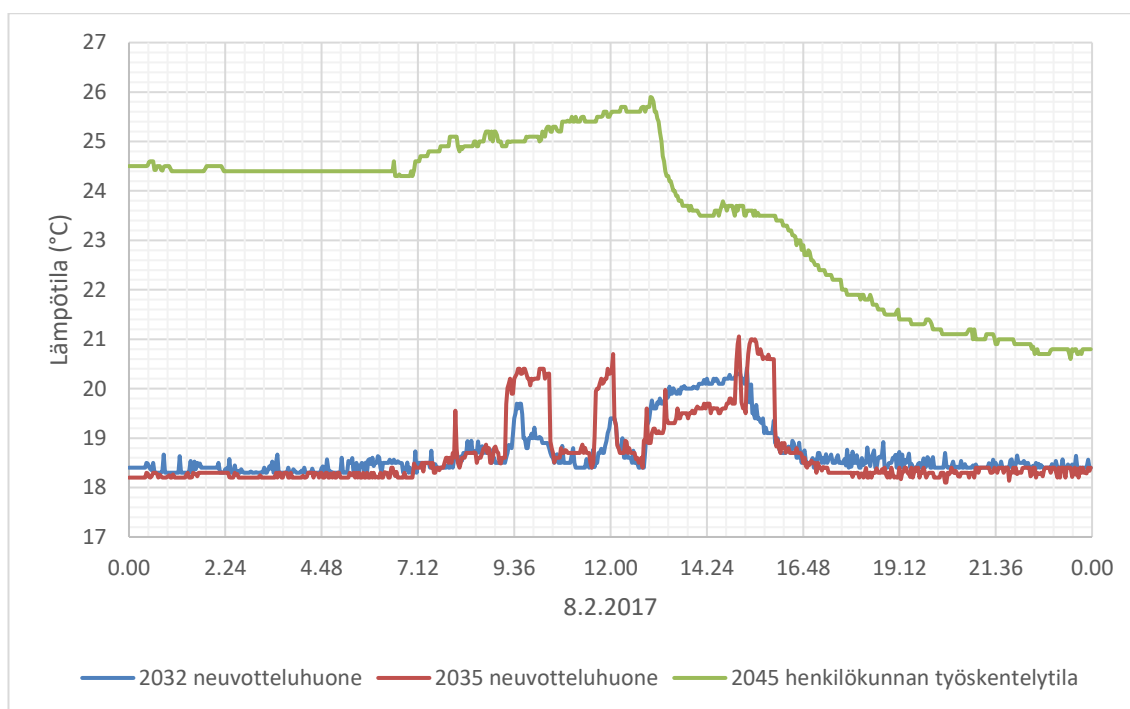
Vehmaisten koulussa ja päiväkodissa mitataan hiilidioksidia ja lämpötilaa 6 tilassa. Pelkkää lämpötilaa mitataan 24 tilassa. Hiilidioksidia ja lämpötilaa mitataan neuvotteluhuoneissa, henkilökunnan työskentelytilassa ja liikuntasalissa. Liikuntasali ja sen mittaukset on jaettu kolmeen lohkoon (pohjoispää, keskialue ja eteläpää), jonka takia tila on huomioitu kolmena tilana kuviossa. Liikuntasalin lämpötilan ja/tai hiilidioksidipitoisuuden noustua tietyssä lohkossa yli raja-arvon ohjataan lohkojen ilmanvaihdon säätöpellit auki. Lohkojen lämpötila- ja hiilidioksidianturien ohjaustoiminto sallitaan 2 minuutin kuluttua siitä, kun lohkojen läsnäoloanturit ovat havainneet liikettä. Säätöpellit pidetään auki 30

minuuttia sen jälkeen, kun liike lakkaa lohkoissa. Lohkojen pellit saadaan auki myös käsikäytöllä tarpeen vaatiessa. Neuvotteluhuoneiden ja henkilökunnan työskentelytilan lämpötilan ja/tai hiilidioksidimittauksen avulla säädetään näiden tilojen IMS-peltejä. Kuviossa 12 on esitetty neuvotteluhuoneiden ja henkilökunnan työskentelytilan hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu 8.2.2017.



KUVIO 12. Vehmaisten koulun ja päiväkodin hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelun trendikäyrät 8.2.2017

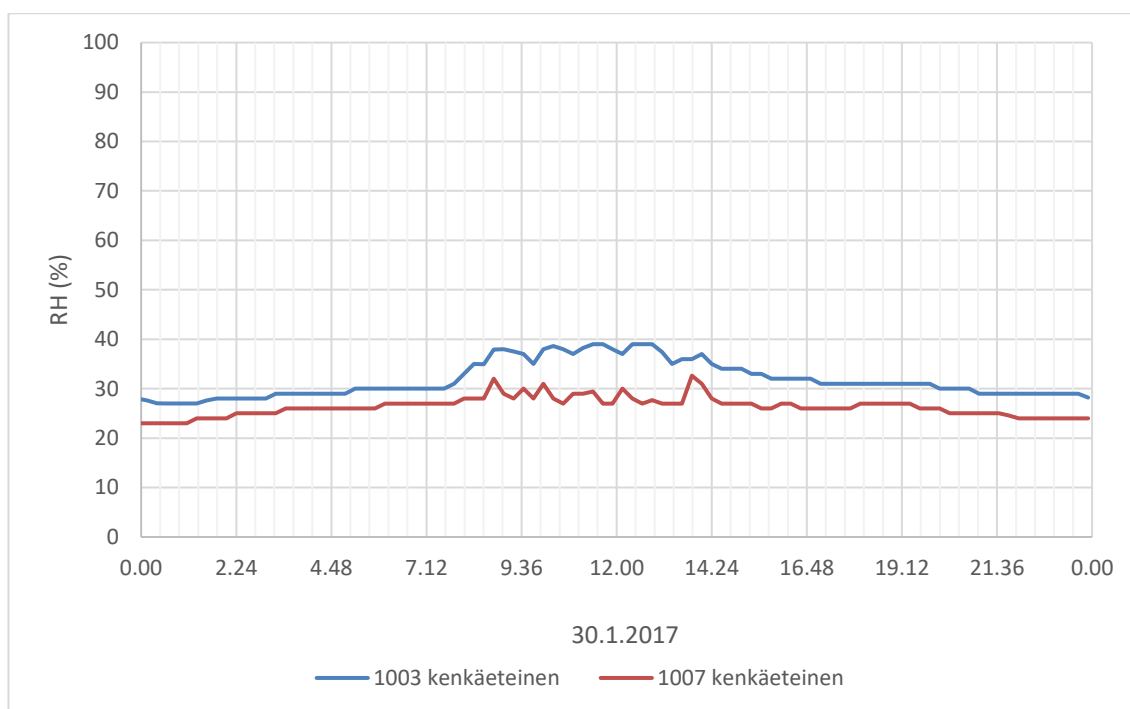
Kuviosta nähdään, että neuvotteluhuoneessa 2032 pitoisuus on noin 450 ppm tasolla illan ja yön aikana ja nousee päivällä käytön mukaan noin 700 ppm. Neuvotteluhuoneessa 2035 ja henkilökunnan työskentelytilassa 2045 pitoisuus vaihtelee paljon koko vuorokauden ajan. Tilakeskuksen kohteissa ilmanvaihtokoneet käyvät täydellä teholla tauotta ensimmäisen vuoden ajan. Tarpeenmukainen ilmanvaihto otetaan käyttöön vasta tämän jälkeen. Kyseisissä tiloissa ei ole minkäänlaista iltakäyttöä. Kuviossa 13 on esitetty samojen tilojen lämpötilan vaihtelut 8.2.2017.



KUVIO 13. Vehmaisten koulun tilojen lämpötilan vaihtelu 8.2.2017

Kuviosta nähdään, että henkilökunnan työskentelytilan lämpötila on aamuyöllä ja aamupäivällä liian korkea. Neuvotteluhuoneiden lämpötila on käyttöajan ulkopuolella noin 18 °C. 2035 neuvotteluhuoneen lämpötila nousee ja laskee päivällä normaalia nopeammin. Normaalisti lämpötilan nousut ja laskut ovat loivempia.

Pelkkää lämpötilaa mitataan kenkäeteisissä, tuulikaapeissa, ruokasalissa, näyttämössä, osassa lepo- ja leikkihuoneista, märkäeteisissä, keittiössä, teletilassa, ilmanvaihtokonehuoneessa ja osassa opetustiloista. Opetustilojen ja lepo- ja leikkihuoneiden lämpötilamittaukset on toteutettu vyöhykkeittäin. Lepo- ja leikkihuoneiden, opetustilojen, ruokasalin, keittiön ja näyttämön lämpötilamittauksia hyödynnetään vain yllilämmön poistamiseen yötuuletuksen avulla. Teletilan lämpötilamittauksen avulla ohjataan tilassa olevan puhallinkonvektorin käyntiä. Ilmanvaihtokonehuoneessa lämpötilamittauksen avulla ohjataan tilan poistoilmapuhaltimen käyntiä. Kenkäeteisten, märkäeteisten ja tuulikaappien lämpötilamittausten avulla ohjataan tiloissa olevien kiertoilmakojeiden käyntiä. Casekohteiden ainoat kosteusmittaukset sijaitsevat Vehmaisten koulun ja päiväkodin kahdessa kenkäeteisessä. Kosteusmittaukset on liitetty rakennusautomaatioon, mutta niiden avulla ei ohjata mitään kojeita. Kuviossa 14 on esitetty kenkäeteisten suhteellinen kosteus 30.1.2017.



KUVIO 14. Vehmaisten koulun ja päiväkodin kenkäeteisten suhteellinen kosteus 30.1.2017

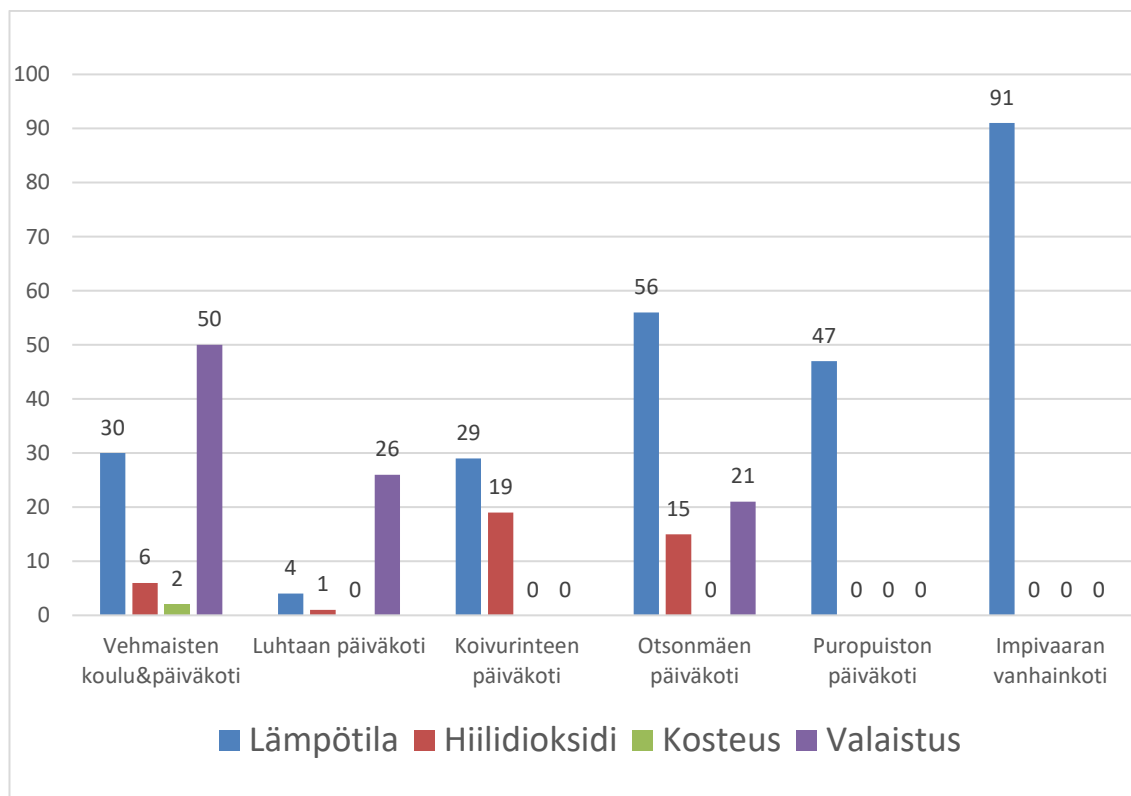
Kuviosta nähdään, että kenkäeteisten suhteellinen kosteus pysyy lähes koko vuorokauden optimialueella (25-45 %). 1003 kenkäeteisen jatkuva hieman korkeampi kosteus verrattuna 1007 kenkäeteiseen voi johtua pitkästä kalibrointivälistä tai anturien huonosta sijoittelusta.

Vehmaisten koulussa ja päiväkodissa valaistusta mitataan opetustiloissa, tekstiilityötilassa, kuvataide-/monitoimitilassa, kirjastossa, ruokasaleissa, pienryhmähuoneissa, ryhmähuoneissa, lepo- ja leikkihuoneissa, sekä toimistohuoneissa. Tilojen valaisimet on jaettu kahteen ryhmään ja ulkoa tulevaa valoa hyödynnetään vain ikkunarivin valaisimissa. Tarkemmat painikeohjauksien tilanneohjelmat eivät näkyneet suunnitelmissa.

3.7 Case-kohteiden yhteenveto ja parannusehdotukset

Suunnitteluohjeiden energiatehokkuusvaatimuksien ja case-kohteiden taloteknisien järjestelmien ja olosuhdemittausten nykytilan (kuvio 15) pohjalta tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi rakennushankkeen tilaajalle työkalu (liite 1) olosuhdemittausten määrittämiseksi hankesuunnitteluvaiheeseen. Työkalun tarkoituksena on edistää tilaajan ja suunnittelijan yhteisymmärrystä jo hankkeen alkuvaiheessa mitattaviin olosuhteisiin ja niiden

hyödynnettävyyteen liittyen, jotta tilaaja saisi rakennukseen sellaiset mittaukset, kuin on ajatellut.



KUVIO 15. Yhteenvedo case-kohteiden olosuhdemittauksista

Kuviosta nähdään lämpötilan olevan selvästi yleisin case-kohteiden mitattava olosuhde ja vastaavasti kosteuden olevan selvästi vähiten mitattu olosuhde. Yleisenä parannusehdotuksena kohteiden oleskelutiloissa olisi hyvä mitata lämpötilaa, hiilidioksidia ja valaistusta, joita hyödynnettäisiin järjestelmien ohjaukseen kohdassa 2.2 esitetyllä tavalla. Näiden mittausten lisäksi suhteellista kosteutta voitaisiin mitata kosteissa tiloissa, VOC-pitoisuuksia vyöhykekohtaisesti ja paine-eroa rakennuksen vaipan yli riippuen rakennuksen koosta ja muodoista. Kaikki olosuhdemittaukset pitäisi liittää rakennusautomaatioon ja etäyhteydellä kuntien kiinteistönpito-organisaatioihin.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Ilman epäpuhtaudet

Ulkoilmaa pidetään Suomessa yleisesti raikkaana. Usein kuulee myös, että ulkoilmavirtaa kasvattamalla sisäilmanlaatu koetaan paremmaksi. Kuvion 1 perusteella nähdään kuitenkin, että ulkoa tulevien epäpuhtauslähteiden osuus vakaviin terveyshaittoihin on merkittävä. Terveyshaittojen syytä vieritetään lähes pelkästään rakennusten sisäpuolisiin lähteisiin, kun pitäisi muistaa myös ulkoa tulevat lähteet. Ihmisen viettäessä valtaosan ajastaan sisätiloissa, ei voi vain ajatella, että altistuuhan ihminen ulkona joka tapauksessa kyseisille epäpuhtauksille. Rakennuksen sijainnilla on tietysti merkitystä ulkolähteiden määrään, mutta kovin usein rakennuksissa yleisesti näkee myös ilmanvaihdon suodattimien vaihdon, tai tyypin laiminlyöntejä. Opinnäytetyössä ei tutkittu case-kohteiden ilmanvaihdon suodattimien kuntoa tai tyyppejä.

VOC-pitoisuuksien mittaamisesta saadaan hyvää tietoa tilojen ilmassa olevien yhdisteiden pitoisuuksista. Ongelmana voidaan kuitenkin vielä pitää sitä, että nykyanturit eivät pysty yksilöimään yhdisteitä. Tämä tuo haasteita, kun halutaan esimerkiksi yksilöidä rakennusmateriaalien luovuttamien yhdisteiden määrä erikseen ihmisperäisistä yhdisteistä. VOC-pitoisuuksia voidaan toki tutkia käyttöajan ulkopuolella, mutta myös rakennusmateriaalit käyttäytyvät eri tyypillisesti käyttöaikana ja sen ulkopuolella. Esimerkiksi kelluvan lattiapintamateriaalin (parketti/laminaatti) päällä kävellessä ihminen ”pumppaa” lattiarakenteen ja pintamateriaalin välissä olevaa ilmaa huonetilaan.

4.2 Suunnitteluohjeet

Opinnäytetyössä käsiteltyjen suunnitteluohjeiden tavoitteet ovat hyviä, mutta ohjeiden vaatimuksiin pääsemiseksi suunnittelijoille ei ole annettu tarpeeksi apuja. Poikkeuksena on Tampereen tilakeskuksen hyvät mallikaaviot ja yhteenvedot suunnittelijoille, mutta niiden käyttöä ei ilmeisesti valvota tarpeeksi, sillä case-kohteiden suunnitelmissa näkee monia puutteita kyseisiin ohjeisiin verrattuna. Mahdollisia syitä tähän voivat olla ainakin, ettei suunnittelija ja/tai valvoja ole tutustunut ohjeisiin tai ohjeiden tekniikan vaikutus hankkeen kustannuksiin. Esimerkiksi suunnittelijoiden yhteenvedossa sanotaan, ettei

kierrätysilmakoneiden perinteisiä huonetermostaatteja tulisi käyttää. Usein kuitenkin tuulikaappien kierrätysilmakoneiden lämpötila-anturia ei ole liitetty rakennusautomaatioon ja konetta ohjataan huonetermostaatin avulla. Jos syy on pelkästään valvonnan puutteessa, tulisi tilaajan tarkastaa suunnitelmat ennen, kuin ne lähtevät tarjouslaskentaan. Lisätyönä tehtäessä puutteen korjaus kaatuu yleensä tilantarpeisiin tai lukkoon lyötyyn budjettiin, jossa ei ole varaa lisätoille. Ohjeissa puhutaan valitettavan vähän talotekniikan tarpeenmukaisesta käytöstä ja valaistusmittauksista. Lähes aina, kun ohjeissa puhutaan sisäolosuhteista, niin valaistus on unohdettu.

Ohjeissa jätetään liikaa tulkinnan varaa suunnittelijoille, joten suunnittelijan ja tilaajan kommunikoinnin täytyy toimia, jotta päästään kaikkia miellyttävään lopputulokseen. Mitä suunnittelijat saadaan toimimaan esimerkiksi Tampereen tilakeskuksen ohjeiden mukaan? Tähän voisi auttaa, että tilaaja osaisi kertoa tarkemmin mitä mittauksia ja järjestelmiä haluaa rakennukseen. Tätä varten osana opinnäytetyötä kehitettiin työkalu olosuhtemittausten määrittämisestä tulevaan rakennushankkeeseen (liite 1). Työkalun tavoitteena on lisätä kommunikaatiota hankkeen alkuvaiheessa, jotta lopputulos olisi mahdollisimman hyvä.

4.3 Näkyväksi tekeminen

Olosuhteiden näkyväksi tekemisen avulla olosuhteita tulisi seurattua enemmän, kun seuranta ei olisi vain kuntien kiinteistönpidon varassa. Tilakohtaisilla näyttöpäätteillä käyttäjien seuranta olisi muistinvaraista, joten pitkien historia tietojen analysointi ei onnistuisi niillä. Käyttäjille voisi antaa rajoitetuilla oikeuksilla tunnuksia kiinteistönseurantajärjestelmiin, jossa he voisivat seurata olosuhteita, mutta eivät voisi muuttaa asetusarvoja. Käyttäjien mahdollisuutta ohjata itse olosuhteita ja asetusarvoja täytyy miettiä tarkkaan kiinteistö- ja järjestelmäkohtaisesti. Perinteisissä lämmityspattereiden termostaateissakin on tuki käyttäjillä mahdollisuus lämpötilan muuttamiseen, mutta laajempien järjestelmäkokonaisuuksien asetusarvojen muuttamisen vaarana on järjestelmien epäoptimaalinen käyttö.

Uusiin rakennuksiin voitaisiin toteuttaa tilakohtaisia näyttöpäätteitä antureiden lisävarusteeksi olosuhteiden hetkelliseen seurantaan. Lisäksi monilla valmistajilla on saatavilla

olosuhteiden seurantaan erilaisia matkapuhelinapplikaatioita, jotka mahdollisesti yleistyvät jatkossa. Vanhoihin rakennuksiin, joissa ei ole tilakohtaisia antureita voitaisiin hankkia esimerkiksi irrallisia langattomia antureita, joiden mittaamia olosuhteita voitaisiin seurata applikaatioiden tai internetin kautta.

Sisäilman vaikutusta tuottavuuteen on käsitelty mm. Rehvan opaskirjassa 6 (Wargocki, Seppänen & Andersson 2006). Olosuhteiden näkyväksi tekemisen vaikutusta ihmisiin ei ole kuitenkaan tutkittu juurikaan. Säterin ja Koskelan (2014, 39) mukaan lämpöviihtyytyteen liittyvissä kenttätutkimuksissa on havaittu rakennuksen käyttäjien olevan valmiita hyväksymään korkeampia lämpötiloja rakennuksissa, joissa ei ole koneellista jäähdytystä. Mielenkiintoista on, johtuiko korkeampien lämpötilojen sietäminen tottumuksesta, koneellisen jäähdytyksen puuttumisen tiedostamisesta vai jostakin muusta. Opin näytetyötä tehdessä heräsi ajatuksia seuraaviin kysymyksiin:

- Vaikuttaako sisäolosuhteiden näkeminen olosuhteiden laadun kokemiseen?
- Vaikuttaako sisäolosuhteiden näkeminen käyttäytymiseen?
- Ovatko käyttäjät tyytyväisempiä vai tyytymättömämpiä sisäolosuhteisiin, jos he voivat nähdä olosuhteiden mittaustulokset?
- Välttäisikö mittausten näkeminen sisäolosuhteiden väärää tulkintaa?
- Miten rakennuksen omistajat suhtautuvat näkyväksi tekemiseen?

4.4 Case-kohteet

Case-kohteiden olosuhdemittausten määrä vaihtelee paljon kohteittain. Suuressa osassa kohteista ei saada rakennusautomaation avulla selville millaiset olosuhteet kohteessa valitsevat tai mitä käytetyllä energialla saatiin aikaan. Ylivoimaisesti eniten mitattu olosuhde on lämpötila, jota mitataan kaikki kohteen huomioiden yhteensä 257 tilassa. Mitattavista olosuhteista vähiten mitattava on suhteellinen kosteus 2 mittauksella. Hiilidioksidia mitataan yhteensä 41 tilassa ja valaistusta 97 tilassa. Hiilidioksidipitoisuuksien analysointiin valikoitui 2 kohdetta niiden toiminnan perusteella. Otsonmäen päiväkodissa ilmanvaihtojärjestelmä toimi suunnitellulla tavalla ja Vehmaisten koulussa ja päiväkodissa järjestelmä ei toiminut osassa tiloista oikein.

Vehmaisten koulussa ja päiväkodissa tarkasteltavista tiloista 2:ssa hiilidioksidipitoisuudet olivat korkeat illalla ja yöllä. Lisäksi pitoisuus vaihteli normaalia enemmän. Tarkasteltavien tilojen hiilidioksidianturit ovat yhdistelmäantureita, jotka mittaavat myös lämpötilaa. Anturin ulostulo rakennusautomaatioon on molemmille mitattaville arvoille 1...10 V. Tämän seurauksena tutkittiin myös tilojen lämpötilaa samana päivänä. 2035 neuvotteluhuoneen lämpötilan todettiin vaihtelevan normaalia nopeammin, jolloin lämpötilakäyrä vaikuttaa hyvin paljon hiilidioksidikäyrältä. Ilman kohdekäyntiä paras arvaus on, että lämpötilan ja hiilidioksidin ulostulot on kytketty väärin päin anturiin. Tämän todentaminen vaatisi kohdekäyntiä, jolloin selvitetäisiin anturien sijainnit, niiden kytkennät ja tehtäisiin tarvittaessa lisämittauksia. Jos tilojen ilmanvaihtokone on ollut käynnissä vähänkin käyttöajan ulkopuolella, niin pitoisuuksien pitäisi laskea.

Lisäksi 2035 ja 2045 tilojen saman tyyppinen hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu ihmetyttivät. Tilat eivät ole vierekkäin, eikä niissä ole ikkunoita samaan ilmansuuntaan. Tilojen pitoisuus vaihtelee samaan aikaan samansuuntaisesti, mutta tilan 2035 pitoisuus on jatkuvasti hieman korkeampi. Tämä voi johtua mm. anturien kalibroimattomuudesta, mutta se ei silti selitä samanlaista vaihtelua. Kenkäeteisten suhteellisen kosteuden ero voi myös johtua pitkästä kalibroitivälistä tai anturien sijoittelusta. Tarkasteltavien tilojen järjestelmien toimimattomuus on hyvä esimerkki siitä, miten käy, kun järjestelmiä ei valvota. Ei riitä, että investoidaan hienoon tekniikkaan, vaan pitää olla myös resursseja ja helpot toimintatavat järjestelmien toiminnan valvomiseen. Mittausten analysointiin tarvitaan enemmän resursseja ja järjestelmiä, jotka piirtävät olosuhdekuvioita aika ajoin ja huomaavat poikkeavuuksia, jotta taloteknisten järjestelmien toiminta voidaan varmistaa helposti ja säännöllisesti.

4.5 Olosuhteiden seuranta ja merkitys energiankulutukseen

Tampereen tilakeskuksen rakennuksien energiakustannukset ovat noin 20 000 000 euroa vuodessa (Elonen 2016). Näyttää siltä, että kunnilla ei ole riittävän tarkasti tiedossa, minäkalaisia olosuhteita käytetyllä energialla saadaan rakennuksissa aikaan. Riittäväillä mittauksilla rakennuksissa voidaan saavuttaa samat olosuhteet pienemmällä energiankulutuksella. Rakennusten oleskelutiloissa tulisi mitata ainakin kohdassa 2.2 käsiteltyjä neljää yleisintä mitattavaa olosuhdetta. Rakennusten energiankulutus esitetään usein pinta-alaa

kohti (kW/m²). Energiankulutuksen voisi esittää myös olosuhteita kohti (esim. kW/ppm), tai päiväkodin lasten lukumäärää kohti.

Oletetaan, että yhden huoltoinsinöörin palkkakustannukset sosiaalikuluineen ovat 100 000 euroa vuodessa. Yhden huoltoinsinöörin kustannusten osuus Tampereen tilakeskuksen energiakustannuksista on siis 0,5 %. Jos tilakeskus palkkaisi yhden huoltoinsinöörin ainoastaan tutkimaan ja analysoimaan rakennusten taloteknisten järjestelmien toimivuutta ja olosuhdetavoitteiden toteutumista, niin henkilöstöinvestointi maksaisi todennäköisesti itsensä takaisin. Case-kohteiden perusteella 0,5 %:n energiansäästö on helposti saavutettavissa. Näkyvät säästöt painottuisivat toki alkuun, mutta analysoinnin jatkuvalla ylläpidolla olisi suuri merkitys säästöihin. Talotekniset järjestelmät vaativat paljon ylläpitoa. Asetusarvoja muutetaan usein ilman, että ymmärretään järjestelmien kokonaisvaltaista toimintaa yhdessä ja erikseen. Jos analysointi lopetettaisiin, niin energiakustannukset nousisivat todennäköisesti vanhalle tasolle. Säästöjä ei ole tarkoitus tehdä vain pitämällä järjestelmiä pois päältä, vaan säästöjä pitää toteuttaa pitämällä kiinni olosuhdetavoitteista tinkimättä itse olosuhteista.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää case-kohteiden olosuhdemittausten nykytila, sekä luoda tilaajalle työkalu tulevan rakennushankkeen olosuhdemittausten määrittämiseksi. Nämä saatiin toteutettua hyvin. Opinnäytetyölle asetettujen tavoitteiden toteutuminen saadaan selville myöhemmin, kun nähdään, onko työkalu otettu käyttöön ja tietämys olosuhdemittauksista lisääntynyt. Opinnäytetyö lisää toivottavasti keskustelua aiheesta, vaikka työkalu ei tulisikaan käyttöön. Toivottavaa on myös, että nykyisiä suunnitteluohjeita kehitetään olosuhdemittausten osalta.

Jatkotutkimuksena olisi hyvä selvittää olosuhteiden näkyväksi tekemisen vaikutus ihmisten käyttäytymiseen. Opinnäytetyön tutkimuksessa havaittiin, että kaikkien case-kohteiden talotekniset järjestelmät eivät toimi niin kuin niiden pitäisi. Toisena jatkotutkimus-/kehitystarpeena havaittiin kiinteistönpidon käytössä olevien kiinteistönseurantajärjestelmien kehittämisen tarve. Seurantajärjestelmistä on kehitettävä helppokäyttöisiä ja automatisoituja, jotta nykyisillä henkilöstöresursseilla voidaan ylläpitää nykyistä rakennuskantaa energiatehokkaasti. Nykyään tulee usein vastaan liian monimutkaisia järjestelmiä tai ohjeistuksia. Kaikissa ohjeissa ja järjestelmissä on korostettava helppoutta. Ohjeet pitää olla helppoja tulkita, jotta osataan toteuttaa halutut järjestelmät. Järjestelmät ja kentälaitteet pitää olla helppoja käyttää, jotta ne toimivat oikein.

LÄHTEET

AppliedSensor. 2013. Ventilation energy saving while maintaining premium air quality.

Elonen, A. Huoltopäällikkö. 2016. Energiasäästötoimien vaikutus sisäilmaan. Luento. Sisäilmapaja8 16.-17.11.2016. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Hengityслиitto, Hiilidioksidi. Luettu 1.3.2017. <http://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautet/hiilidioksidi>.

Hänninen, O. & Asikainen, A. 2013. Efficient reduction of indoor exposures. Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen raportti.

Ilmatieteen laitos, Pienhiukkaset. Luettu 1.3.2017. <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/pm25.html>.

Kallioharju, K. 2012. Valo ja valon biologiset vaikutukset ihmiseen. Tampereen teknillinen yliopisto. Projektityö.

Kallioharju, K. 2017. Mihin valon laadulla on vaikutusta. COMBI-hanke.

Kuisma, T. ams Finland Oy. VOC-antureista. Sähköpostiviesti. timo.kuisma@ams.com. Luettu 11.3.2017.

Netatmo. 2017. Netatmo weather station. Katsottu 8.4.2017. <https://www.netatmo.com/>.

Okochi, G & Yao, Y. 2016. Renewable and sustainable energy reviews. 2016. Elsevier Ltd.

Produal. 2014a. Ilmanlaatulähetin/-säädin ILH. 24.3.2014.

Produal. 2014b. Käyttöohje HDH/HDH-M/HDH10K/HDH 10K-M V1.2.0. 5.6.2014.

Produal. 2015. HDH-tilauslomake. 12.10.2015.

Rakennustietosäätiö. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Rakennustieto Oy.

Sandberg, E., Sahlsten, T., Silvan, J. & Kauppila, K. 2014. Järjestelmätekniinen mitoitus. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Ilmastointilaitoksen mitoitus. 2014. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Seppänen, O & Seppänen, M. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 4. painos. Espoo: SIY Sisäilmatieto

Seppänen, O. 1988. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-kustannus.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 23.4.2015/545.

Säteri, J. & Koskela, H. 2014. Sisäilmasto. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. 2014. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Swegon. 2010. Clean Air Control 20100528.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2013a. Suunnitteluohjeen mallikaaviot. 6.9.2013-11.9.2013.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2013b. Rakennusautomaatiojärjestelmä. Grafiikka-kuvaohje. 15.8.2013.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2013c. Rakennusautomaatiojärjestelmä. Suunnitteluohje. 20.8.2013.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2014a. Kiinteistön energiatehokas käyttö. TAPRE-ohje 11. 30.6.2014.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2014b. Mittarointiohje. TAPRE-ohje 13. 30.6.2014.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2014c. TAPRE-periaatteet ja -sisältö. 30.6.2014.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2016. Sisäilmaohjeistus Tampereen kaupungin palvelurakennuksiin. 1.6.2016.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 2017. Rakennussuunnitteluohje. 7.3.2017.

Vaisala. 2016. Miten tulkita oikein mittalaitteiden suorituskkyä ja teknisiä tietoja.

Wargocki, P., Seppänen, O & Andersson, J. 2006. Rehva guidebook : 6, Indoor climate and productivity in offices: How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services. 2006. Brysseli: Rehva cop.

Ympäristöministeriö. 2016. Ympäristöopas 2016, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. Luonnos 7.10.2016.

LIITTEET

Liite 1. Tilaajan työkalu olosuhdemittausten määrittämiseksi

TOTEUTETTAVAT OLOSUHDEMITTAUKSET TULEVASSA RAKENNUSHANKKEESSA

Tämän dokumentin tavoitteena on edistää olosuhdemittausten määrittämistä ja hyödyntämistä hankesuunnitteluvaiheessa. Alla on esitetty mahdollisia mitattavia olosuhteita ja mihin niitä voidaan hyödyntää. Tilaaja ja suunnittelija keskusteleval yhdessä mitä mittauksia rakennukseen tulisi toteuttaa ja rastittavat "mittaus toteutetaan"-kohtaan toteutettavat mittaukset. HUOM-kenttään voidaan antaa tarkennuksia mittaukseen liittyen, esim. mittaus toteutetaan 50 %:iin kyseisistä tiloista.

Mitattava olosuhde	Hyödynnettävyys	Mittaus toteutetaan	HUOM
Lämpötila			
TE Tuulikaapit	oviverhokojien ohjaus, HUOM liitettävä rakennusautomaatioon		
TE Märkätilat	lattialämmityksen tms. ohjaus		
TE Luokka-, lepo- ja leikkihuoneet, huoneistot	Käyttäjäpalautteen ja oikeiden lämpöolosuhteiden todentaminen, lämmityksen ohjaus, toissijainen IMS ohjaus		
TE Ruokailutilat ja salit	Käyttäjäpalautteen ja oikeiden lämpöolosuhteiden todentaminen, lämmityksen ohjaus, toissijainen IMS ohjaus		
TE Eteiset ja aulat	Käyttäjäpalautteen ja oikeiden lämpöolosuhteiden todentaminen, lämmityksen ohjaus, toissijainen IMS ohjaus		
TE Käytävät	Käyttäjäpalautteen ja oikeiden lämpöolosuhteiden todentaminen, lämmityksen ohjaus, toissijainen IMS ohjaus		
TE Rakenteet	Rakenteiden lämpöolosuhteiden todentaminen ja nopea reagointi		
Hiilidioksidi			
QE Luokka-, lepo- ja leikkihuoneet, huoneistot	Riittävän ilmanvaihdon saavuttaminen, ensisijainen IMS ohjaus		
QE Ruokailutilat ja salit	Riittävän ilmanvaihdon saavuttaminen, ensisijainen IMS ohjaus		
QE Eteiset ja aulat	Riittävän ilmanvaihdon saavuttaminen, ensisijainen IMS ohjaus		
QE käytävät	Riittävän ilmanvaihdon saavuttaminen, ensisijainen IMS ohjaus		
Kosteus			
ME Märkäeteiset	kosteustavoitteiden saavuttaminen, LVI-tekniikan reagointi kosteuspiikkeihin, IMS- ja lämmitysjärjestelmien ohjaus		
ME Muut märkätilat	kosteustavoitteiden saavuttaminen, LVI-tekniikan reagointi kosteuspiikkeihin, IMS- ja lämmitysjärjestelmien ohjaus		
ME Oleskelutilat	kosteustavoitteiden saavuttaminen, LVI-tekniikan reagointi kosteuspiikkeihin, IMS- ja lämmitysjärjestelmien ohjaus		
ME Rakenteet	Rakenteiden kosteusolosuhteiden todentaminen ja nopea reagointi		
Valaistus			
VV Luokka-, lepo- ja leikkihuoneet	Valaistusolosuhteiden todentaminen, päivänvalon hyödyntäminen, valaisimien huoltotarpeen huomioiminen		
VV Ruokailutilat ja salit	Valaistusolosuhteiden todentaminen, päivänvalon hyödyntäminen, valaisimien huoltotarpeen huomioiminen		
VV Eteiset ja aulat	Valaistusolosuhteiden todentaminen, päivänvalon hyödyntäminen, valaisimien huoltotarpeen huomioiminen		
VV käytävät	Valaistusolosuhteiden todentaminen, päivänvalon hyödyntäminen, valaisimien huoltotarpeen huomioiminen		
Painesuhteet			
PE Rakennusvaipan yli alakerta etelä	Ulko- ja sisäilman välisen painesuhteen todentaminen ja ohjaaminen		
PE Rakennusvaipan yli alakerta pohjoinen	Ulko- ja sisäilman välisen painesuhteen todentaminen ja ohjaaminen		
PE Rakennusvaipan yli yläkerta etelä	Ulko- ja sisäilman välisen painesuhteen todentaminen ja ohjaaminen		
PE Rakennusvaipan yli yläkerta pohjoinen	Ulko- ja sisäilman välisen painesuhteen todentaminen ja ohjaaminen		
VOC			
VOC Luokka-, lepo- ja leikkihuoneet, huoneistot	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden todentaminen, IMS-peltien ohjaus mahdollinen siihen soveltuvilla antureilla		
VOC Ruokailutilat ja salit	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden todentaminen, IMS-peltien ohjaus mahdollinen siihen soveltuvilla antureilla		
VOC Eteiset ja aulat	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden todentaminen, IMS-peltien ohjaus mahdollinen siihen soveltuvilla antureilla		
VOC käytävät	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden todentaminen, IMS-peltien ohjaus mahdollinen siihen soveltuvilla antureilla		