

Olli Kärkkäinen

Hiilidioksidipitoisuuden jakautuminen opetustiloissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusterveysasiantuntija

Opinnäytetyö

30.10.2018

Tekijä Otsikko	Olli Kärkkäinen Hiilidioksidipitoisuuden jakautuminen opetustiloissa
Sivumäärä Aika	34 sivua + 15 liitettä 30.10.2018
Tutkinto	Rakennusterveysasiantuntija (RTA)
Ohjaajat	tutkintovastaava, Metropolia, lehtori, Jorma Säteri Ohjaava opettaja, Sitowise Oy, Timo Palonkoski
<p>Kohteisiin tehtiin alunperin kattavat ilmanvaihdon ja rakennusautomaation järjestelmätarkastukset. Tutkimushankkeiden lähtökohtana olivat kiinteistöjen heikot sisäilmaolosuhteet ja huonosti toimiva ilmanvaihto. Huonon sisäilman on arveltu johtuvan ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiojärjestelmän puutteellisesta toiminnasta sekä siitä, onko huonetilan automaation anturi asennettu oikeaan paikkaan. Molemmissa kohteissa on tarpeenmukainen ilmanvaihto, joka on tehty vuosina 2011 ja 2012. Toisessa kohteessa tuloilma johdetaan katossa olevista ja toisessa seinällä olevista päätelaitteista tilaan.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä keskityttiin hiilidioksidipitoisuuden jakautumiseen opetustiloissa tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ja mitkä ominaispiirteet vaikuttavat ilman ja hiilidioksidipitoisuuden jakaantumiseen sekä miten rakennusautomaatiojärjestelmän oven pieleen asennetun anturin mittaustulos poikkeaa muissa pisteissä luokkatiloissa mitatuista pitoisuuksista..</p> <p>Mittaustulosten perusteella hiilidioksidipitoisuus eripuolella opetustiloja oli hyvin lähellä toisiaan. Tulosten perusteella oven pieleen sijoitettu anturi antaa oikean kuvan tilan sisäilmaolosuhteista. Tuloilman katto- tai seinäpuhalluksessa ei ollut eroa hiilidioksidipitoisuuden jakautumisessa tilaan.</p> <p>Seinäpuhallukseen perustuvat tuloilmalaitteet toimivat tutkimuksissa kohtuullisen hyvin mitoitusilmavirroilla sekoittaen tuloilman koko tilaan, osailmavirroilla sekoittuminen oli heikompaa. Kattopintaan asennettavat tuloilmalaitteet sekoittivat tuloilman paremmin tiloihin sekä mitoitusilmavirroille että osailmavirroilla. Tutkimusten perusteella seinäpuhallukseen perustuvia tuloilmalaitteita ei suositella IMS-järjestelmien yhteyteen. Tähän paremmin soveltuvia tuloilmalaitteita ovat esim. suutinkanavat tai kattoon asennettavat päätelaitteet yhdistettynä riittävän viileään tuloilmaan.</p> <p>Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä toteutetuissa kohteissa usein unohdetaan ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoittelun ja suuntauksen vaikutus järjestelmän toimivuuden kannalta. Lisäksi rakennusautomaation oikeanlaisella käytöllä mahdollistetaan olosuhteiden pysyminen suunniteltujen sisäilmastoluokitusten mukaisena.</p>	
Avainsanat	Tarpeenmukainen ilmanvaihto, sekoittavan ilmanjako, sisäilman olosuhteet, hiilidioksidipitoisuus

Author Title	Olli Kärkkäinen Distribution on carbon dioxide content in teaching rooms
Number of Pages Date	34 pages + 15 appendices 30 October 2018
Degree	Specialist for healthy buildings and IAQ
Instructors	Jorma Säteri, Metropolia Timo Palonkoski, Sitowise Oy
<p>The objects were originally covered by comprehensive system ventilation and building automation systems. The starting point for the research projects was the poor indoor air conditions in the buildings and poor ventilation. Poor air is thought to be due to the inadequate operation of the ventilation and deployment automation system and whether the room automation sensor is installed in the right place. In both locations, there is a need for air exchange, which is made in 2011 and 2012. In another location, supply air is derived from the ceiling and the other on the wall to the terminal.</p> <p>This thesis focussed on the distribution of carbon dioxide content in teaching rooms in appropriate ventilation and which features affect the distribution of air and carbon dioxide content and how the measurement result of a sensor-mounted sensor in the building automation system differs from the measured concentrations in other locations</p> <p>Based on the measurement results, the carbon dioxide content at the other side of the teaching space was very close to each other. Based on the results, the sensor located in the door's door provides the correct picture of the indoor air contact status. There was no difference between the incoming air in the ceiling or wall blast when dividing the carbon dioxide into the space.</p> <p>Inlet air blowers based on wall blower functioned reasonably well with moderating air streams while mixing the supply air into the entire space, with subfloor mixes being weak. The air inlets installed in the ceiling surface mixed the supply air better with the spaces of the design air flow and the partial air streams. Based on the studies, air supply systems based on wall ventilation are not recommended for IMS systems. More suitable supply air devices are, for example, nozzle ducts or ceiling-mounted terminals combined with sufficiently cool supply air.</p> <p>In sites with the required ventilation system, the effect of positioning and alignment of il-manuevering terminals on the functionality of the system is often overlooked. In addition, the proper use of building automation enables the conditions to remain in accordance with planned indoor climate ratings.</p>	
Keywords	VAV-system, indoor air, carbon dioxide, mixing ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tavoite ja rajaus	1
3	Ilmanvaihtotekniikka	3
3.1	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	3
4	Sisäilmasto ja viihtyvyys	5
5	Tutkimuskohteet	10
5.1	Kohde 1	10
5.2	Kohde 2	11
6	Tutkimusmenetelmät	12
6.1	Olosuhdemittaukset	12
6.2	Ilmamäärämittaukset	13
6.3	Savukokeet	14
7	Mittalaitteet ja mittaustarkkuuden arviointi	14
8	Tutkimustulokset	15
8.1	Ilmamäärämittaukset	15
8.1.1	Mittaustulokset, kohde 1	15
8.1.2	Mittaustulokset, kohde 2	16
8.2	Olosuhdemittaukset	18
8.2.1	Mittaustulokset, kohde 1	18
8.2.2	Mittaustulokset, kohde 2	22
8.3	Savukokeet	24
8.3.1	Mittaustulokset, kohde 1	24
8.3.2	Mittaustulokset, kohde 2	26
9	Johtopäätökset	28
9.1	Kohde 1	28
9.2	Kohde 2	29
10	Yhteenveto	30

11	Oppimiskokemukset	33
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Kohteen 1 opetustilan 242 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 2. Kohteen 1 opetustilan 145 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 3. Kohteen 1 opetustilan 247 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 4. Kohteen 1 opetustilan 249 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 5. Kohteen 2 opetustilan 1016 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 6. Kohteen 2 opetustilan 2009 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 7. Kohteen 2 opetustilan 2052 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 8. Kohteen 2 opetustilan 3004 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 9. Kohteen 2 opetustilan 3010 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta	
	Liite 10. Kohteen 1 opetustilan 145 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta	
	Liite 11. Kohteen 1 opetustilan 242 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta	
	Liite 12. Kohteen 1 opetustilan 247 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta	
	Liite 13. Kohteen 1 opetustilan 249 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta	
	Liite 14. Kohteen 1 ilmavirtojen mittauspöytäkirjat	
	Liite 15. Kohteen 2 ilmavirtojen mittauspöytäkirjat	

Lyhenteet

qv	Ilmamäärä tai ilmavirta, m ³ /s tai dm ³ /s.
1/h	Ilmanvaihtokerroin, kertaa tunnissa. Ilman vaihtuvuutta kuvaava yksikkö, joka saadaan laskettua tilan ja/tai rakennuksen tilavuudesta, riippuen kumpaa käsitellään.
m ²	neliometri, pinta-alan yksikkö esimerkiksi huonetilassa.
m ³	kuutiometri, tilavuuden yksikkö, esimerkiksi huonetilassa tai rakennuksessa.
V	tilavuus, m ³ ja dm ³ .
CO ₂	<i>Carbon Oxide</i> . Hiilidioksidin kemiallinen merkki.
ppm	<i>Parts per million</i> . Hiilidioksidin määrää kuvaava yksikkö.
RH, %	<i>Relative Humidity</i> . Suhteellinen kosteus, jonka yksikkö on prosentti.
°C	<i>Celsiusaste</i> . lämpötilan yksikkö.
v	m/s, nopeuden yksikkö.
Pa	<i>Pascal</i> . Paineen yksikkö.
k	<i>Korjaus-kerroin</i> . Käytetään ilmamäärän laskennassa. Saadaan päätelaitteita ja säätöpeltejä valmistavien yritysten mittaus- ja säätöoppaista, kun tiedetään mitattavan laitteen säätöasento tai avauma.
Δpm	<i>Painehäviö</i> . Käytetään ilmamäärälaskennassa k:n kanssa, kun mittaus on suoritettu painemittauksella. Painehäviö yleisesti.
avauma	Poisto- ja tuloilmaventtiilien säätöasennosta käytetty termi. Mitataan rakotulkilla päätelaitteesta.

QE	<i>Quality Element.</i> Ilman laatua mittaava anturi (esimerkiksi hiilidioksidianturi) rakennuautomaatiossa.
TE	<i>Temperature Element.</i> Lämpötilaa mittaava anturi rakennusautomaatiossa.
PdE	<i>Pressure difference Element.</i> Paine-eroa mittaava anturi rakennusautomaatiossa.
h	Tilan korkeus, metriä.
IV	<i>Ilmanvaihto.</i> Yleisesti käytetty lyhenne.
SRMK	Suomen Rakentamismääräyskokoelma
IMS	<i>Ilmamääräsäätöinen.</i> Säätopellistä käytetty lyhenne tarpeenmukaisen ilmanvaihdon pelleissä, joita ohjataan toimilaitteilla.
hlö	<i>Henkilö.</i> Yleisesti käytetty lyhenne.
lkm	<i>Lukumäärä.</i> yleisesti käytetty lyhenne.
TK	<i>Tuloilmakone.</i> Yleisesti käytetty lyhenne Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D4 (1979).
PK	<i>Poistoilmakone.</i> Yleisesti käytetty lyhenne Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D4 (1979).
TF	<i>Tuloilmapuhallin.</i> Yleisesti käytetty lyhenne Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D4 (1979).
PF	<i>Poistoilmapuhallin.</i> Yleisesti käytetty lyhenne Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D4 (1979).

1 Johdanto

Sisäilmaston olosuhteilla on suuri merkitys kouluissa oppilaiden ja opettajien hyvinvoinnille ja viihtyvyydelle. Yhä useampi rakennuksen käyttäjä huomioi ja keskustelee sisäilman laadusta ja omista tuntemuksistaan siihen liittyen. Yhteiskunnallisesti keskustellaan yleisesti ympäristökuormituksesta ja energiankulutuksesta useissa eri asia yhteyksissä. Tähän liittyy myös rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät, joiden energiatehokkuusvaatimukset tulevat koko ajan tiukentumaan. Tehokkaille ja ympäristöystävällisille ilmanvaihtojärjestelmille ja ratkaisuille on tarvetta tulevaisuudessa huomioiden samalla sisäilman laadun pysyminen hyvällä ja ennalta määritellyllä tasolla. Yksi vaihtoehto tässä on tarpeenmukainen ilmanvaihto.

Opinnäytetyössä käsiteltyjen tutkimushankkeiden lähtökohtana olivat kiinteistöjen heikot sisäilmaolosuhteet ja huonosti toimiva ilmanvaihto. Huonon sisäilman on arveltu johtuvan ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiojärjestelmän puutteellisesta toiminnasta sekä onko huonetilan automaation anturi asennettu oikeaan paikkaan. Näille kohteille oli yhtenäistä se, että niihin oli tehty ilmanvaihdon ja automatiikan peruskorjaus vuosina 2011 ja 2012. Peruskorjauksessa opetustiloihin oli suunniteltu tarpeenmukainen ilmanvaihto. Tämän kautta lähdettiin selvittämään laajemmin miten hiilidioksidipitoisuus jakaantuu tiloissa. Tarvittavat tutkimukset, laajuudet ja sisällöt valittiin yhdessä tilaajan sisäilma- ja LVI-asiantuntijoiden kanssa yhteistyönä.

Syiden tunnistamiseksi ja vastaavien kohteiden suunnittelun tueksi tehtäväksi määriteltiin ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitelmien ja toteutuksen kokonaisvaltainen arviointi.

2 Opinnäytetyön tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää miten hiilidioksidipitoisuus jakaantuu opetustiloissa ja samanaikaisesti tarkastella tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Tutkimuksissa haluttiin selvittää, onko tämän hetkinen oven pieleen asennettu rakennusautomaatiikan anturi oikeassa paikassa tilojen hiilidioksidipitoisuuden jakautumiseen nähden.

Tutkimukset tehtiin kahdessa koulussa, joissa oli tehty peruskorjaus samoihin aikoihin, vuosina 2011 ja 2012. Molemmissa rakennuksissa oli tarpeenmukainen ilmanvaihto opetustiloissa. Toisessa kohteessa tämä oli toteutettu seinäpuhalluksena ja toisessa kattopuhalluksena.

Kohteisiin tehtiin kattavat ilmanvaihdon ja rakennusautomaation järjestelmätarkastukset. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin hiilidioksidipitoisuuden jakautumiseen opetustiloissa tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa.

Opinnäytetyössä vertailtiin myös ilmamäärämittauksia, olosuhdemittauksien tuloksia ja savukokeita hiilidioksidipitoisuuden jakaantumisen analysoinnin tueksi. Olosuhdemittaukset tehtiin tilojen normaalissa käyttöolosuhteissa ja ilmamäärämittaukset sekä savukokeet tehtiin tilojen ollessa tyhjillään. Tutkimuksen avulla saadaan myös selville peruskorjauskohteissa, joissa on rajalliset vaihtoehdot toteuttaa korjaukset miten seinä- ja kattopuhalluksen toiminta eroaa toisistaan tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa. Näin pyritään selvittämään tilaajalle suositeltu ilmanjakotapa vastaavissa peruskorjaushankkeissa.

Tuloilman heittokuvion tutkimuksen selvittäminen rajattiin tilaajan toiveesta tehtäväksi tyhjille luokille, eikä lähdetty tekemään savukokeita tilojen normaalissa kuormitustilanteessa. Savukokeet ovat tässä tapauksessa suuntaa-antavia, ilman käyttäjäkuormitusta.

Opinnäytetyön johtopäätöksistä hyötyy moni eri taho. LVI-suunnittelijat pystyvät suunnittelemaan entistä tarkemmin kohteensa ja saavat käsitystä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tuomista haasteista suunnitteluvaiheessa ja päätelaitteiden sijoittelusta. IV-kuntotutkijat saavat apua kenttätutkimuksiin sekä mahdollisiin ongelman selvitystilanteisiin jo vastaavien tutkimusten alkuvaiheessa. Tuotevalmistajat saavat näkemystä päätelaitteistaan.

Suurimpana hyötyjänä ovat tilojen käyttäjät, joiden sisäilma paranee oikein toimivalla ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiojärjestelmällä. IV-järjestelmän oikeanlainen käyttö ja suunniteltu toiminta saadaan varmistuttua ja sitä kautta saadaan tiloihin paremmat sisäilman olosuhteet, esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden osalta.

3 Ilmanvaihtotekniikka

3.1 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tarkoitus on säästää energiaa sekä parantaa sisäilman laatua. Ilmanvaihdon tarpeeton käyttö tyhjiissä tiloissa kuluttaa sekä puhaltimen sähköenergiaa että ilmanvaihdon lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen tarvittavaa energiaa (Ripatti 2004).

Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa ilmavirtaa säädetään tilakohtaisesti kuormituksen mukaan. Säättö voidaan toteuttaa esim. luokkahuonekohtaisesti tai vyöhykekohtaisesti rakennusosittain. Ilmavirran ohjaus voidaan toteuttaa mm. hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan tai/ja läsnäolon, tai jonkin muun epäpuhtauslähteen perusteella manuaalisesti, aikaohjelmalla, liiketunnistimella tai näiden kaikkien yhdistelmällä (Sandberg 2014). Luotettavin ilmantarvemittaja on hiilidioksidianturi, joka mittaa huonetiloissa syntyviä pitoisuuksia. Ilmaa poistuu ja tulee näin ollen oikea määrä, joten huoneen ilman laatu pysyy puhtaana ja raikkaana (Ripatti 2004).

Järjestelmään tulee vakiolämpöistä ilmaa. Huonelämpötilan hallinta tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla. IMS-järjestelmään ilmanjakolaitteita valittaessa on syytä huomioida ilmavirtojen jatkuva vaihtelu. Tuloilman päätelaitteita valittaessa tulee huomioida minimi- että maksimi-ilmavirtojen vaikutus heittokuvioon. Ilmanjakolaite mitoitetaan huoneen normaalikäytön maksimi-ilmavirran mukaan, huomioiden kuitenkin sen, että tuloilmalaitteen heittopituuden ja –kuvion tulee olla sellaisia, ettei sen ilmasuihku aiheuta vedon tunnetta minimi-ilmavirrallakaan (Ripatti 2004).

Ilmanjakolaitteita on aktiivisia ja passiivisia päätelaitteita. Passiivisessa päätelaitteessa sisäänpuhallusaukko on vakio. Ilmavirtaa kuristaessa ilmannoisuus laskee, jolloin vedon tunne oleskeluvyöhykkeellä on yleistä. Aktiivisissa päätelaitteissa sisäänpuhallusaukko pienenee ilmavirran alentamiseksi. Tällöin ilmannoisuus ja kantama pysyvät kuitenkin muuttumattomina, jolloin vältetään vedon tunnetta (Ripatti 2004).

Sekoitusilmanjaossa tuloilma pyritään sekoittamaan mahdollisimman tehokkaasti huoneilmaan, käyttämällä ilmasuihkuja, joiden nopeus on useita metrejä sekunnissa, välittömästi tuloilmalaitteen jälkeen. Sekoittavan järjestelmän tuloilmalaitteilla tulisi olla hyvä

sekoitussuhde eli induktio. Näin huoneilma sekoittuu ja imeytyy tuloilmaan tehokkaasti. Poistoilman tila on periaatteessa sama kuin oleskeluvyöhykkeen tila (Seppänen & Seppänen 2010, Sandberg 2014). Sekoittava ilmanjako toimii parhaiten silloin, kun lämpökuormat ovat pieniä ja epäpuhtauksia syntyy vähän (Sandberg 2014). Ongelmana varsinkin korkeat tilat, lämpötilakerrostuminen. Tyyppiesimerkkinä hallit ja korkeat auditoriot.



Kuva 1. Sekoittavassa ilmanjaossa käytettävä esimerkki tuloilmalaiteesta, kuva Halton.

Kerrostumaperiaatteessa tuloilma jaetaan tilaan pienellä nopeudella välttämättä huoneilman sekoittumista. Lämpökuormien ja epäpuhtauslähteiden syntyessä samasta lähteestä, pyritään käyttämään kerrostumaperiaatetta tilan ilmanjaossa. Tavanomaisia kohteita ovat luokkatilat, kokoustilat ja teatterit (Sandberg 2014).

Huoneen tai vyöhykkeen ilmavirtoja säättää ilmavirtasäädin. Kuvan 2 ilmavirtasäätimellä ohjataan tilan tai vyöhykkeen ilmamäärää halutun suureen mukaan esim. hiilidioksidi, lämpötila tai jokin muu.



Kuva 2. Ilmavirtasäädin, IMS, Fläktwoods.

4 Sisäilmasto ja viihtyvyys

Sisäilmastolla tarkoitetaan sisätilojen fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden muodostamaa kokonaisuutta (Seppänen 2008). Tärkeimmät asiat, joihin rakennuksen ilmastointijärjestelmää suunniteltaessa voidaan vaikuttaa, ovat lämpöolot, ilmanlaatu ja äänisolosuhteet.

Laadukas sisäympäristö on käyttäjille terveellinen ja turvallinen, eikä se rasita itse rakennusta. Työntekijät ovat terveempiä ja työteho on parempi, joka takaa paremman tuottavuuden. Eri tilat tarvitsevat, käyttötarkoituksesta riippuen, eri olosuhteet ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla pyritään ylläpitämään sisäiloissa hyvää sisäilmastoa.

Fysikaaliset suuret toimivat hyvin suunnitteluvaiheessa sisäympäristön laatutason määrittelyyn. Suureet eivät kuitenkaan välttämättä kuvaa hyvin yksittäisen henkilön kokemaa sisäympäristön laatutasoa. Käyttäjien lämpöviihtyvyyteen vaikuttavat oleellisesti huoneilma ja pintojen lämpötilat, ilman liikenopeus ja ilman kosteus sekä henkilön vaatetus ja aineenvaihdunta. Tämän vuoksi ihmiset kokevat lämpöolosuhteet eritavalla.

Rakennuksen käyttäjille tulee taata sellaiset olosuhteet, että kaikissa käyttötilanteissa ja tavanomaisissa sääolosuhteissa oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto (Siikanen 2014, D2 2012, RT 07-10946).

Sisäilmaston laatua kuvaavia tekijöitä

- lämpöolot tiloissa
- ilmavirtaukset tiloissa
- sisäilman kosteus
- sisäilmassa olevat epäpuhtaudet
- valaistus
- melu

Sisäympäristö ongelmia selvitetessä tilannetta tulee aina tarkastella kokonaisuutena. Seuraavat asiat tulee ottaa huomioon tilannetta tarkasteltaessa: sisäilmasto-olosuhteet, rakennus- ja talotekniset tekijät, tilojen käyttäjien kokemukset ja terveydentila sekä sisäympäristöön liittyviä toimintatapoja työpaikalla. Sisäympäristön kokonaisarvioinnissa tulee huomioida se, tukeeko sisäympäristö tiloissa tehtäviä toimintoja. Esimerkiksi kouluissa, päiväkodeissa ja terveydenhuollon tiloissa, on tärkeää, että ongelmia selvitetään ja ratkaistaan yhteistyössä terveydensuojelun, että työturvallisuuden ja -terveyden asiantuntijoiden kanssa. Sisäilmatyöryhmien muodostaminen työyhteisöihin mahdollistaa moniammatillisen yhteistyön käyttämisen sisäilmasto-ongelmien selvittämisessä (Työterveyslaitos 2016)

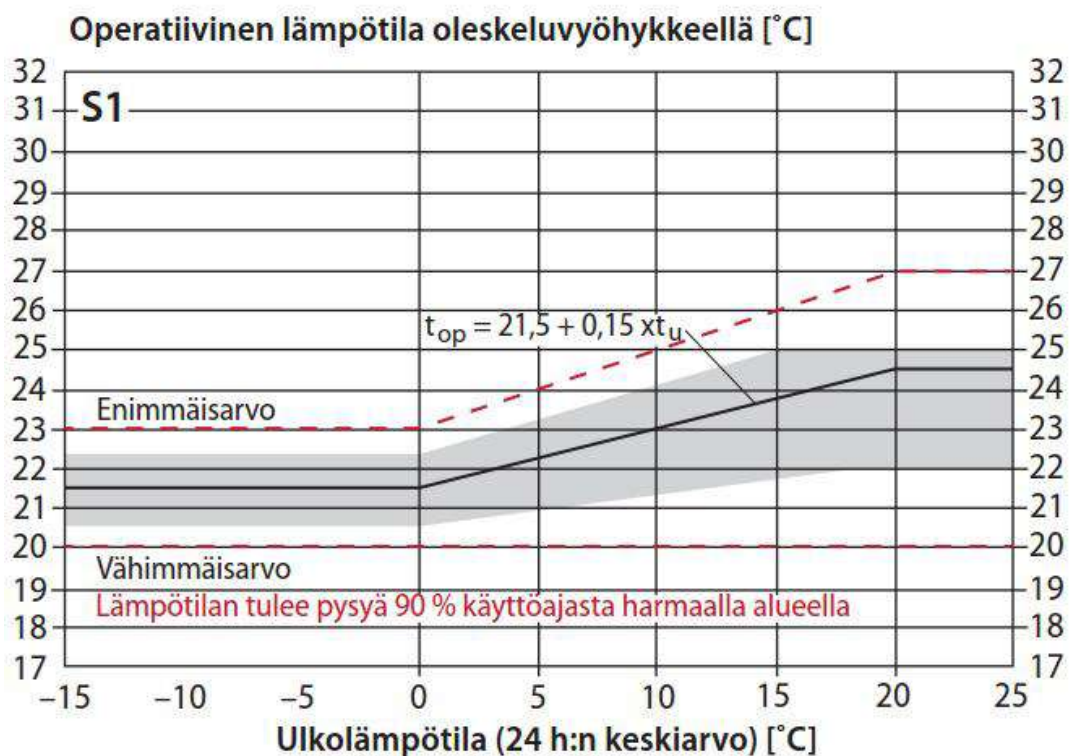
Lämpöolot

Oleskeluvyöhyke kuvaa huonetilan sitä osaa, jossa sisäilmastovaatimukset on suunniteltu toteutuvaksi, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1.8m:n korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0.6m:n etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista (Siikanen 2014, D2 2012).

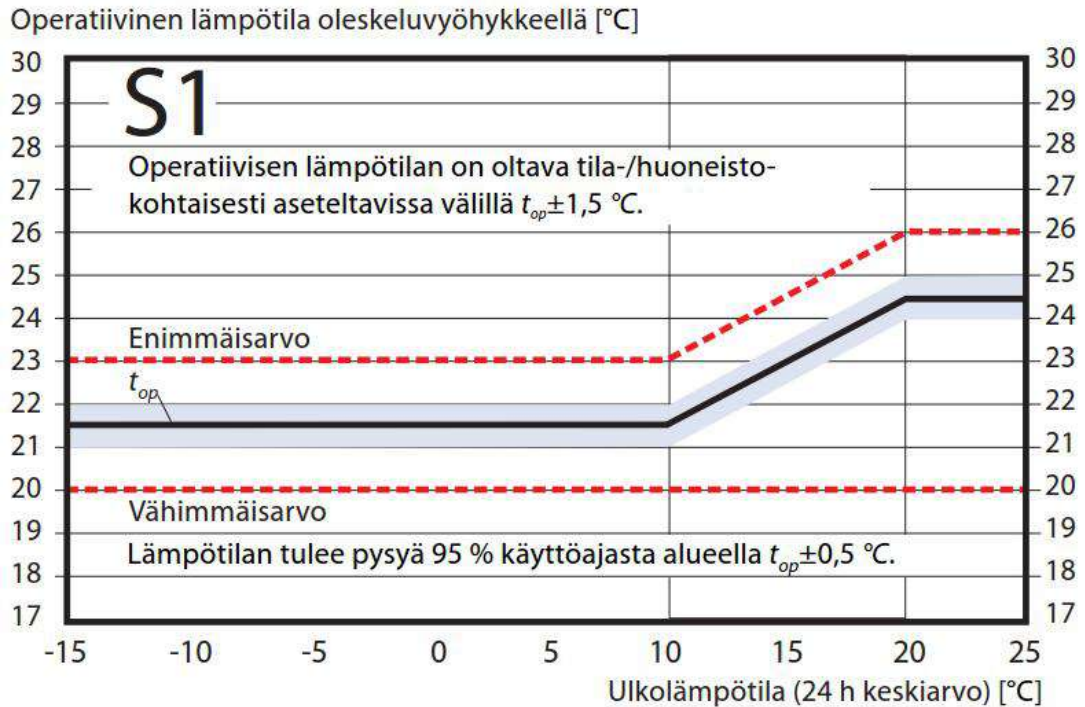
Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Lisäksi tulee huomioida, etteivät ilman liike, lämpösäteily ja pintalämpötilat aiheuta epäviihtyisyyttä oleskeluvyöhykkeellä käyttöaikana. (D2, 2012)

Operatiivinen lämpötila tarkoittaa huoneilman lämpötilan ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Operatiivinen lämpötila kuvastaa huoneilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta ihmisen lämmöntunteeseen (Asumisterveysohje 2003, RT 07-10946). Kuvassa 3 on esitettyä S1 luokan operatiivinen lämpötila vuorokauden ulkolämpötilakeskiarvon funktiona sisäilmastoluokitus 2018 mukaisesti. Kuvassa 4 on vertailuna sisäilmastoluokitus 2008 vastaava kuvaaja, joka on ollut voimassa näiden tutkimusten valmistuttua.

Lukuisissa kansainvälisissä kyselytutkimuksissa lämpöolosuhteet ovat olleet keskeisiä sisäympäristön tyytymättömyyden aiheuttajia. Ihmisten välillä voi olla jopa 6°C eroja optimaalisissa operatiivisissa lämpötiloissa, vaikka aktiivisuustaso ja vaatetus olisi sama (Tuomaala ym. 2016).



Kuva 3. Sisäilmastoluokitus 2018. Operatiivinen lämpötila vuorokauden ulkolämpötilakeskiarvon funktiona, S1-luokka.



Kuva 4. Sisäilmastoluokitus 2008. Operatiivinen lämpötila vuorokauden ulkolämpötilakeskiarvon funktiona, S1-luokka.

Taulukossa 1 on ilman liikenopeuden tavoitearvot sisäilmastoluokitus 2018 mukaisesti. Taulukolla voidaan arvioida epäviihtyvyyttä aiheuttavaa ilman nopeutta eri huoneilman lämpötiloissa (Sisäilmastoluokitus 2018).

Taulukko 1. Ilman liikenopeuden tavoitearvot, sisäilmastoluokitus 2018 mukaan.

	S1	S2	S3
Vetoa aistivien osuus, draft rate (DR) [%]	10	15	
Ilman liikenopeus [m/s]			
$t_{ilma} = 21$ °C	< 0,15	< 0,15	0,2 (talvi)
$t_{ilma} = 23$ °C	< 0,15	< 0,20	
$t_{ilma} = 25$ °C	< 0,20*	< 0,25*	0,3 (kesä)*

*Paikallisesti voidaan hyväksyä korkeampia ilmannopeuksia termisen viihtyvyyden lisäämiseksi, kun käytössä ei ole koneellista jäähdytystä.

Hiilidioksidi on ihmisperäisten epäpuhtauksien indikaattori sisäilmassa. Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa sisäilmaan hiilidioksidia ja muita epäpuhtauksia. Sisäilman pitoisuuden ollessa korkea, se on yleensä osoitus riittämättömästä ilmanvaihdosta (Siikanen 2014, D2 2012, Sisäilmastoluokitus 2018). Sisäilmastoluokitus 2018 tavoitearvot eri sisäilma-luokissa on esitetty taulukossa 2. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus tavanomaisissa

sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 2160 mg/m³ (1200 ppm) (D2, 2012)

Taulukko 2. Sisäympäristön laadun tavoitearvot, sisäilmastoluokitus 2018 mukaan.

	S1	S2	S3
Hiiidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	–
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	–	–	–
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	–
asunnot	90 %	80 %	–

*suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

Kosteus on myös osa ilmanlaatua ja rakennus on suunniteltava sekä rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Huoneilman suhteellinen kosteus ei saa olla pitkiä aikoja niin korkea, että se aiheuttaisi rakenteissa, taikka laitteissa tai niiden pinnoilla mikrobi kasvun riskiä. Lämmityskaudella tyypillinen sisäilman suhteellinen kosteus on 20- 40 % ja kesällä 50- 60 %. Optimaalinen suhteellinen kosteus asuinhuoneessa terveyden kannalta olisi 30- 40 % (Siikanen 2014).

Suomessa on sisäilmaston tason luokitteluun käytössä sisäilmastoluokitus 2018. Se asettaa sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot, joita noudattamalla voidaan rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia (Ratu 437-T 2009).

Pelkkien tavoitteiden lisäksi sisäilmastoluokitus antaa suunnitteluarvoja esimerkiksi tilojen ilmanvaihtomäärille sekä vaatimuksia käytettäville ilmanvaihtokoneiden suodattimille. Rakennustyönkin pölynhallinnalle ja käytettäville rakennusmateriaaleille on annettu vaatimuksia.

Sisäilmastoluokituksessa 2018 on käytössä kolmitasoinen laatuluokitus.

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden

käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2: Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveysuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. Asetusten vaatimusten täyttäminen ei välttämättä edellytä S3-luoka tavoitearvojen käyttämistä. S3-luokan arvot esitetään tässä ensisijaisesti vertailun tueksi.

Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista. Tarvittaessa jonkin suureen arvo voidaan määritellä tapauskohtaisesti.

5 Tutkimuskohteet

5.1 Kohde 1

Kiinteistö on koulurakennus, joka on valmistunut vuonna 1963. Rakennusta on perusrannettu vuosina 2008 -2012. IVA-järjestelmä on peruskorjauttu vuonna 2012. Kiinteistöön kuuluu 2 rakennusta. Peruskorjauksen alaisessa koulussa on kaksi kerrosta. Rakennuksessa on yhteensä 8 tuloilmakonetta ja 42 poistoilmakonetta/huippuimuria. Järjestelmä on varustettu osittain lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat vesikatolla ja koulun sisätiloissa. Erillishuippuimurit sijaitsevat vesikatolla.

Opetustilojen ilmanvaihto on IMS-järjestelmä ja sen pellit sijaitsevat osittain kojehuoneissa tai runkokanavissa. Lämpötila- ja hiilidioksidimittaukset ovat opetustilakohtaisia. Ilmavirtojen säätö on vyöhykekohtainen.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on sisäilmastoluokkien S2 ja S3 mukaan seuraavasti; ilmanlaatu S2, huonelämpötila S3 ja puhtausluokituksen tavoitearvot puhtausluokituksen P1 mukaisesti.

Ilmanvaihtokoneet ovat Recairin tehdasvalmisteisia koteloituja vakiokoneita, joissa on suodatus, LTO, lämmitys ja äänenvaimennus. Koneissa on taajuusmuuttajat. Koneiden säätö tapahtuu säätö- ja valvontajärjestelmän kautta.

Tiloissa on sekoittava ilmanvaihto. Tuloilman jakolaitteet ovat asennettu pääosin alakattojen ja muiden rakenteiden verhoomien tasalle seinäpinnoille siten, että vain päätelaitteet näkyvät huonetilassa. Tuloilman päätelaitteet ovat vakiomallisia säätöosalla varustettuja ja äänenvaimennettuja.

5.2 Kohde 2

Kiinteistö on koulurakennus, joka on valmistunut vuonna 1957. Rakennukseen on tehty osittainen peruskorjaus vuonna 2011, jolloin myös IVA-järjestelmä on peruskorjattu. Rakennuksessa on kolme kerrosta. Rakennuksessa on yhteensä 21 tuloilmakonetta ja 19 poistoilmakonetta/huippuimuria. Järjestelmä on varustettu pääosin lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat koulun sisätiloissa. Erillishuippuimurit sijaitsevat vesikatolla. Tulo- ja poistoilmakoneet on liitetty keskitettyyn rakennusautomaatiojärjestelmään.

Opetustilojen ilmanvaihto on IMS-järjestelmä ja sen pellit sijaitsevat osittain kojehuoneissa tai runkokanavissa. Lämpötila- ja hiilidioksidimittaukset ovat opetustilakohtaisia. Ilmavirtojen säätö on huonekohtainen.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on sisäilmastoluokkien S2 ja S3 mukaan seuraavasti; ilmanlaatu S2, huonelämpötila S3 ja puhtausluokituksen tavoitearvot puhtausluokituksen P1 mukaisesti.

Ilmanvaihtokoneet ovat tehdasvalmisteisia koteloituja vakiokoneita ja moduulikoneita, joissa on suodatus, lämmöntalteenotto, vesilämmityspatteri ja äänenvaimennus. Ilmanvaihtokoneiden ohjaus tapahtuu RAU-järjestelmän kautta. Pääosa ilmanvaihtokoneiden puhaltimista oli varustettu taajuusmuuttajalla.

Tiloissa on sekoittava ilmanvaihto. Tuloilman jakolaitteet ovat asennettu pääosin alakattojen ja muiden rakenteiden verhoomien tasalle alakattopinnoille siten, että vain päätelaitteet näkyvät huonetilassa. Tuloilman päätelaitteet ovat vakiomallisia säätösallalla varustettuja ja äänenvaimennettuja.

6 Tutkimusmenetelmät

6.1 Olosuhdemittaukset

Opetustiloissa suoritettiin sisäilman olosuhdemittauksia (sisäilman lämpötila, ja hiilidioksidipitoisuus) jatkuvatoimisten mittalaitteiden eli loggereiden avulla. Mittaukset suoritettiin viikon mittaisessa jaksossa. Opetustiloja käytettiin normaalisti mittausajanjaksolla.

Tilojen käyttäjät täyttivät joka oppitunti läsnäololista käyttäjistä tutkimuksen aikana. Tutkimusten ja niiden analysoinnin kannalta on tärkeää, että rakennuksen tilojen käyttäjät ovat täyttäneet läsnäololista seurantamittausten aikana. Näin päästään tarkemmin analysoimaan mahdollisia koettuja ilmanvaihtoon liittyviä tuntemuksia selvittämään.

Tutkittuihin tiloihin asennettiin yhdelle seinälle oleskeluvyöhykkeelle yksi loggeri ja rakennusautomaatiojärjestelmän hiilidioksidi- ja lämpötila-anturin viereen yksi loggeri. Tarkoituksena oli määrittää ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden jakautuminen tilassa sekä varmentaa automaatiojärjestelmän lämpötila- ja hiilidioksidimittausten toiminta. Rakennusautomaation huoneanturit on asennettu pääasiassa kaikissa tiloissa oven pieleen noin 1,5 m korkeuteen.



Kuva 5. Olosuhteiden (CO₂, LT, RH) seurantamittaus rakennusautomaatiojärjestelmän oman anturin vierestä.

6.2 Ilmamäärämittaukset

Ilmanvaihtokoneille suoritettiin ilmamäärien mittaukset mitoitustilanteessa koneiden pyöriessä 1/1-teholla. Automaatiojärjestelmästä asetettiin ilmanvaihtokoneen IMS-pellit täysin auki ja konetta ajettiin 1/1-teholla. IMS-peltien asento tarkastettiin kentällä. Ilmanvaihtokoneen runkokanavasta mitattiin ilmanvaihtokoneen tuottama maksimi-ilmamäärä ja verrattiin sitä suunnitelmiin.

Opetustiloille, jotka on varustettu tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, suoritettiin ilmamäärämittaukset IMS-pellin säätöarvoilla 100 % ja 40 (30) %. Ilmamäärät mitattiin siten, että ilmanvaihtokoneen takana olevat kaikki IMS-pellit ohjattiin samalla säätöarvolla. Säätöpellin asento tarkistettiin rakennusautomaatiovalvomon grafiikalta sekä fyysisesti kentältä pellin toimilaitteesta.

6.3 Savukokeet

Tilojen ilman sekoittuminen opetustiloissa tarkistettiin savukokeiden avulla. Savukokeet suoritettiin IMS-pellin säätöarvoilla 100 %, ja 40 (30) %. Tilat valittiin eri ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueilta suoritettujen ilmamäärämittausten perusteella. Tuloilman lämpötila vaihteli savukokeiden aikana eri ilmanvaihtokoneiden alueella noin 20-22 °C asteen välillä. Savukokeiden tulokset dokumentoitiin videoiden sekä kuvasarjojen avulla. Opetustiloja ei käytetty savukokeiden aikana.



Kuva 6. Savukokeiden suoritus opetustiloissa..

7 Mittalaitteet ja mittaustarkkuuden arviointi

Ilmamäärämittaukset suoritettiin Accubalance 8380 monitoimiilmamäärämittarilla. Valmistajan ilmoittama mittatarkkuus mittarille on paine $\pm 2\%$, lukemasta 0,025 Pa staattinen ja paine-ero $\pm 2\%$ lukemasta absoluuttinen, nopeus $\pm 3\%$ lukemasta 0,04 m/s > 0,25 m/s, tilavuus $\pm 3\%$ lukemasta 12 m³/h > 85 m³/h, Suhteellinen kosteus $\pm 3\%$ RH, lämpötila $\pm 0,3\text{ °C}$.

Sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta mitattiin Rotronic CP11- olosuhdemittareilla. Valmistajan ilmoittama mittatarkkuus on lämpötila -20...60 °C $\pm 0,3\text{ °C}$ lämpötila-alueella 5-40 °C, suhteellinen kosteus $\pm 3,0\%$ 0,1...99,9 %, 10-95 %

lämpötilassa 25 °C, ± 5,0 % muut lämpötilat, hiilidioksidi 0...9999 ppm ± 30 ppm + 5 % tuloksesta 0...5000 ppm

8 Tutkimustulokset

Tutkimukset ovat valmistuneet vuosina 2016 ja 2017. Sisäilmastoluokitus uudistui vuonna 2018. Kohteiden suunnittelun ja tutkimusten aikana oli käytössä sisäilmastoluokitus 2008.

8.1 Ilmamäärämittaukset

8.1.1 Mittaustulokset, kohde 1

Ilmanvaihtokoneille suoritettiin ilmavirran mittaukset mitoitustilanteessa koneiden pyöriessä 1/1-teholla. Automaatiojärjestelmästä asetettiin ilmanvaihtokoneen IMS-pellit täysin auki ja konetta ajettiin 100% teholla. IMS-peltien asento tarkastettiin. Ilmanvaihtokoneen runkokanavasta mitattiin ilmanvaihtokoneen tuottama maksimi ilmamäärä ja verrattiin sitä suunnitelmiin. Suuremmat kuin +/- 10 % suuruiset poikkeamat on merkitty taulukkoon punaisella.

Tutkimukset tehtiin koneiden 202 TK/PK1, 203 TK/PK1 ja 205 TK/PK1 palvelualueella.

Taulukko 3. Ilmanvaihtokoneiden suunnitellut ja mitatut kokonaisilmamäärät.

IV-kone	Suunnitelmien mukainen kokonaisilmamäärä 1/1-nopeudella [l/s]		Mitattu ilmamäärä [l/s]		Poikkeama suunnitellun ja mitatun välillä	
	Tuloilma		Tuloilma		Tuloilma	
	Poistoilma		Poistoilma		Poistoilma	
202TK/PK1, 1/1-teho	2050		2230		9 %	
	1750		1880		7 %	
203TK/PK1, 1/1-teho	2450		2540		4 %	
	2200		2180		-1 %	
205TK/PK1, 1/1-teho	2450		2373		-3 %	
	1300		1180		-9 %	

Kaikkien tutkittujen ilmanvaihtokoneiden 202TK/PK1, 203TK/PK1 ja 205TK/PK1 ilmamäärät poikkesivat alle +/- 10 % suunnitelluista ilmamääristä järjestelmäkohtaisesti koneiden pyöriessä täysteholla.

Opetustiloille, jotka on varustettu tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, suoritettiin ilmamäärämittaukset IMS-pellin säätöarvoilla 100 %, 70 % ja 30 % (Liite 14). Ilmamäärät mitattiin siten, että ilmanvaihtokoneen takana olevat, saman kerroksen kaikki IMS-pellit ohjattiin samalla säätöarvolla. Säätöpellin asento tarkistettiin rakennusautomaatiovalvomon grafiikalta sekä fyysisesti kentältä pellin toimilaitteesta. Taulukossa 4 on esitetty yksittäisten tilojen ilmamäärämittaukset IMS-pellin säätöarvolla 100 %.

Taulukko 4. Yksittäisten tilojen suunnitellut ja mitatut kokonaisilmamäärät.

Tila	Suunnitelmien mukainen ilmamäärä 1/1-nopeudella [l/s]	Mitattu ilmamäärä [l/s]	Poikkeama suunnitellun ja mitatun välillä
	Tuloilma	Tuloilma	Tuloilma
	Poistoilma	Poistoilma	Poistoilma
242	180	169	-6%
	180	172	-4 %
145	192	197	+3%
	192	180	-6%
247	188	122	-35%
	188	156	-17%
249	132	13	-90 %
	132	109	-17%

8.1.2 Mittaustulokset, kohde 2

Ilmanvaihtokoneille suoritettiin ilmamäärien mittaukset mitoitustilanteessa koneiden pyöriessä 1/1-teholla. Automaatiojärjestelmästä asetettiin ilmanvaihtokoneen IMS-pellit täysin auki ja konetta ajettiin 1/1-teholla. IMS-peltien asento tarkastettiin kentällä. Ilmanvaihtokoneen runkokanavasta mitattiin ilmanvaihtokoneen tuottama maksimi-ilmamäärä ja verrattiin sitä suunnitelmiin. Suuremmat kuin +/- 10 % suuruiset poikkeamat on merkitty taulukkoon punaisella.

Tutkimukset tehtiin koneiden 202TK, 216TK, 217TK, 218TK, 219TK ja 220TK palvelualueella. Ilmanvaihtokoneen 217TK kokonaisilmamäärästä ei ole tarkkaa tietoa, sillä poistoilmakanaviston yhtä haaraa ei päästy mittaamaan asennusteknisistä syistä.

Taulukko 5. Ilmanvaihtokoneiden suunnitellut ja mitatut kokonaisilmamäärät.

IV-kone	Suunnitelmien mukainen kokonaisilmamäärä 1/1-nopeudella [l/s]	Mitattu ilmamäärä [l/s]	Poikkeama suunnitellun ja mitatun välillä
	Tuloilma	Tuloilma	Tuloilma
	Poistoilma	Poistoilma	Poistoilma
216TK, 1/1-teho	1000	1076	+8 %
	1000	1010	+1 %
217TK, 1/1-teho	1000	1047	+5 %
	1000	763 (3/4)	-
218TK, 1/1-teho	1000	1064	+6 %
	1000	1111	+11 %
219TK, 1/1-teho	1000	905	-10 %
	1000	1064	+6 %
220TK, 1/1-teho	1600	1484	-8 %
	1600	1380	-14 %

Tutkittujen ilmanvaihtokoneiden 216TK, 217TK, 218TK ja 219TK ilmamäärät poikkesivat pääosin alle +/- 10 % suunnitelluista ilmamääristä järjestelmäkohtaisesti koneiden pyöriessä täysteholla. Ilmanvaihtokoneiden 218TK ja 220TK poistoilmamäärä poikkesi enemmän kuin +/- 10 %.

Opetustiloille, jotka on varustettu tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä, suoritettiin ilmamäärämittaukset IMS-pellin säätöarvoilla 100 % ja 40 % (Liite 15). Ilmamäärät mitattiin siten, että ilmanvaihtokoneen takana olevat, saman kerroksen kaikki IMS-pellit ohjattiin samalla säätöarvolla. Säätöpellin asento tarkistettiin rakennusautomaatiovalvon grafiikalta sekä fyysisesti kentältä pellin toimilaitteesta. Taulukossa 6 on esitetty yksittäisten tilojen ilmamäärämittaukset IMS-pellin säätöarvolla 100 %.

Taulukko 6. Yksittäisten tilojen suunnitellut ja mitatut kokonaisilmamäärät.

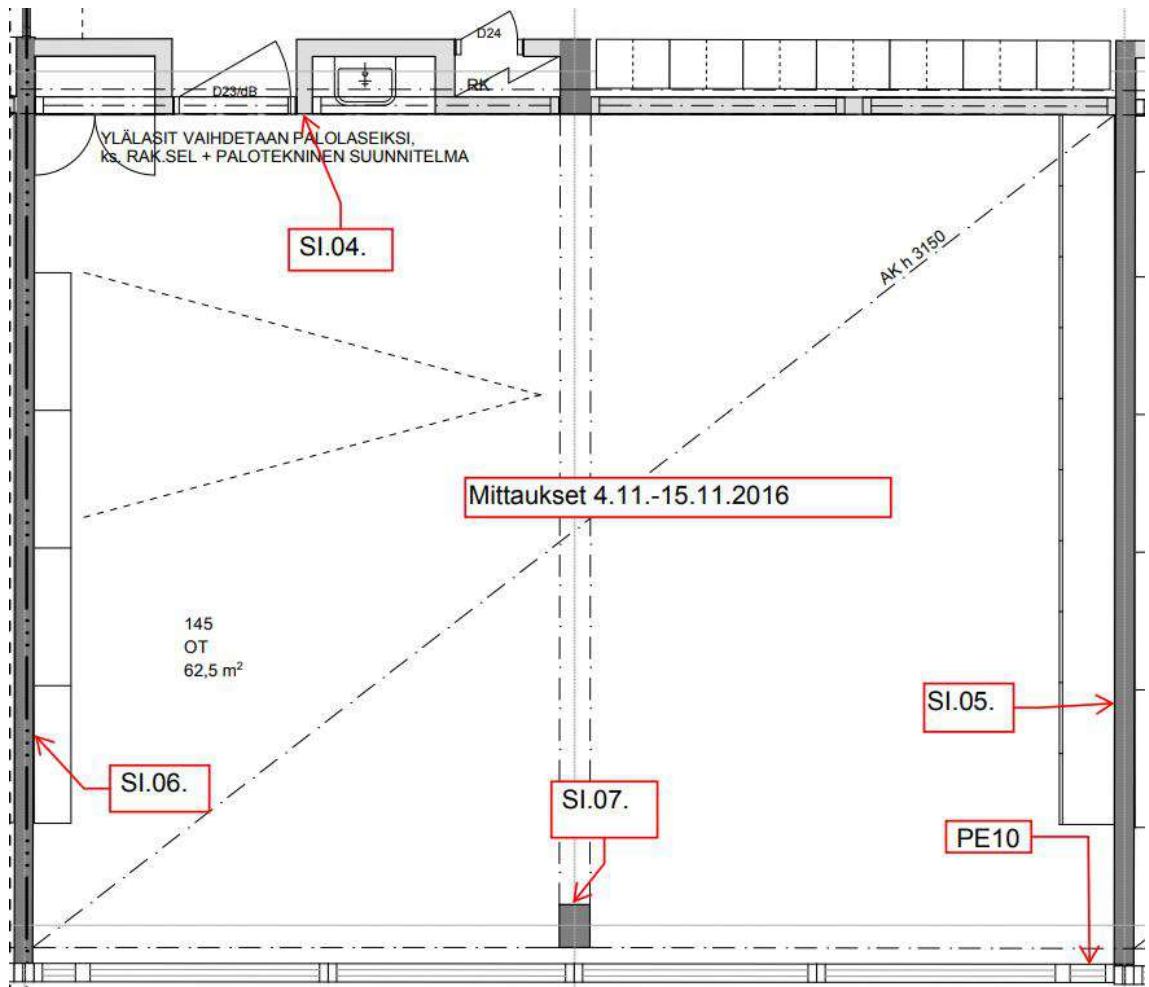
Tila	Suunnitelmien mukainen il- mamäärä 1/1-nopeudella [l/s]	Mitattu ilmamäärä [l/s]	Poikkeama suunnitellun ja mitatun välillä
	Tuloilma	Tuloilma	Tuloilma
	Poistoilma	Poistoilma	Poistoilma
1016	150	138	-8%
	145	106	-27 %
2009	240	251	+4%
	240	248	+4%
2052	120	118	-2%
	120	129	+8%
3004	240	269	+12%
	240	265	+11%
3010	240	231	-4%
	240	265	+10%

8.2 Olosuhdemittaukset

8.2.1 Mittaustulokset, kohde 1

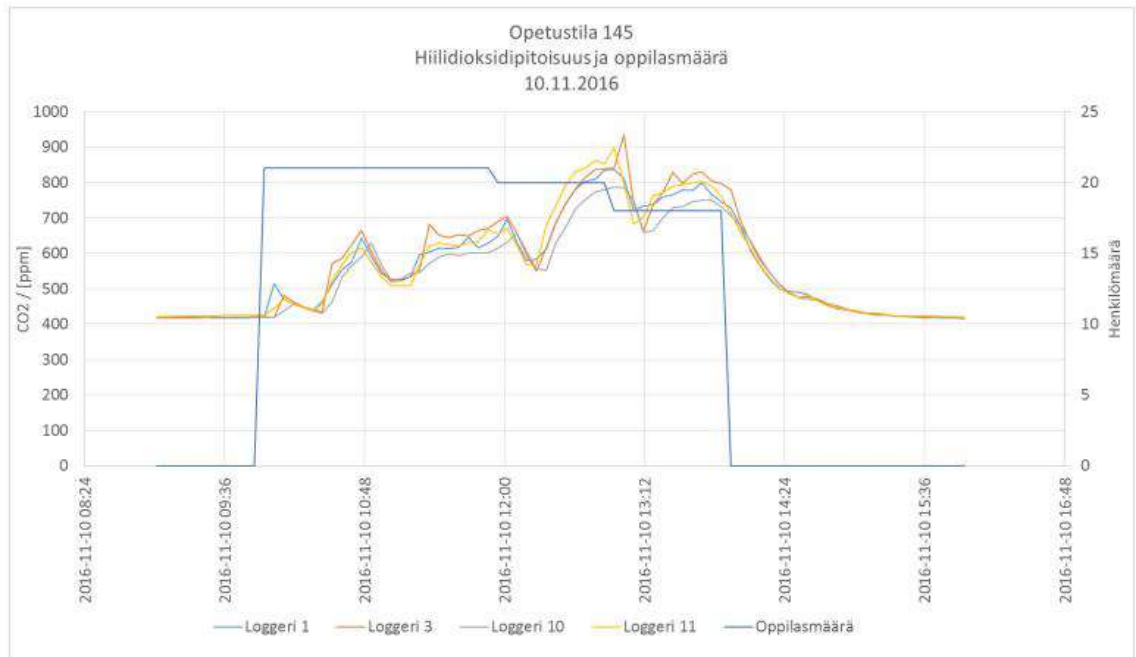
Opetustiloissa suoritettiin sisäilman olosuhdemittauksia (sisäilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja hiilidioksidipitoisuus) jatkuvatoimisten mittalaitteiden eli loggereiden avulla. Mittaukset suoritettiin kolmessa, noin viikon mittaisessa jaksossa aikavälillä 28.10.-22.11.2016. Mittauksia suoritettiin tiloissa OT 145, OT 242, OT 247 ja OT 249. Tarkemmat ajankohdat mittausjaksoilla olivat 27.10.-4.11.2016 (tila OT 242), 4.11.-11.11.2016 (tilat OT 145 ja OT 247) ja 15.11.-22.11.2016 (tila OT 249).

Jokaiselle seinälle asennettiin yksi loggeri ja rakennusautomaatiojärjestelmän TE/QE-anturin viereen yksi loggeri. Tarkoituksena oli määrittää ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden jakautuminen tilassa sekä varmentaa automaatiojärjestelmän lämpötila- ja hiilidioksidimittausten toiminta. Loggaukset suoritettiin vasta savukokeiden jälkeen, jotta loggerit voidaan sijoittaa oikeille paikoille, esimerkiksi ei suoraan tuloilmavirtaan.

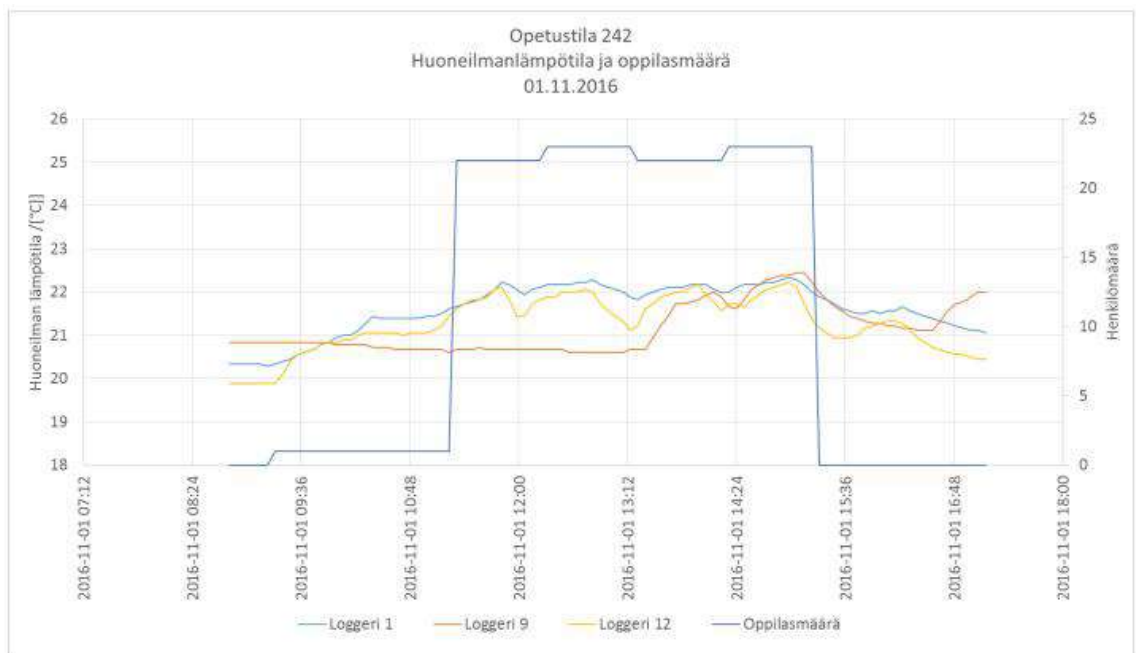


Kuva 7. Olosuhdeloggereiden sijoittelu opetustilaan 145.

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty opetustilan oppilasmäärät sekä hiilidioksidi- ja lämpötilamittaukset yhden päivän ajalta, joka kuvaa parhaiten keskimääräistä tilannetta mittausjaksolla. Hiilidioksidipitoisuuden mittauksien tulokset olivat opetustiloissa hyvin lähellä toisiinsa. Liitteissä 1-4 ja 10-13 on muiden opetustilojen vastaavat kuvaajat.



Kuva 8. Opetustilan 145 oppilasmäärät sekä hiilidioksidipitoisuus 10.11.2016.



Kuva 9. Opetustilan 145 oppilasmäärät sekä huonelämpötila 10.11.2016.

Opetustiloja käytettiin normaalisti mittausajanjaksolla. Tila 242 toimi maantiedon ja biologian opetusluokkana sekä tila 249 monimuotoluokkana. Tiloille 145 ja 247 ei ollut erikseen määriteltyä tilatyyppeä, eli opetustila on niin sanottu normaali opetustila.

Tutkimusten perusteella opetustilojen lämpötila vaihteli välillä 19,4-25,1 °C ja hiilidioksidipitoisuus välillä 390-1237 ppm. Taulukossa 7 on esitetty hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan sekä henkilömäärän vaihteluvälit mittauspäivinä.

Taulukko 7. Hiilidioksidi- ja lämpötilamittaustulosten vaihteluväli (kuormitustilanteessa).

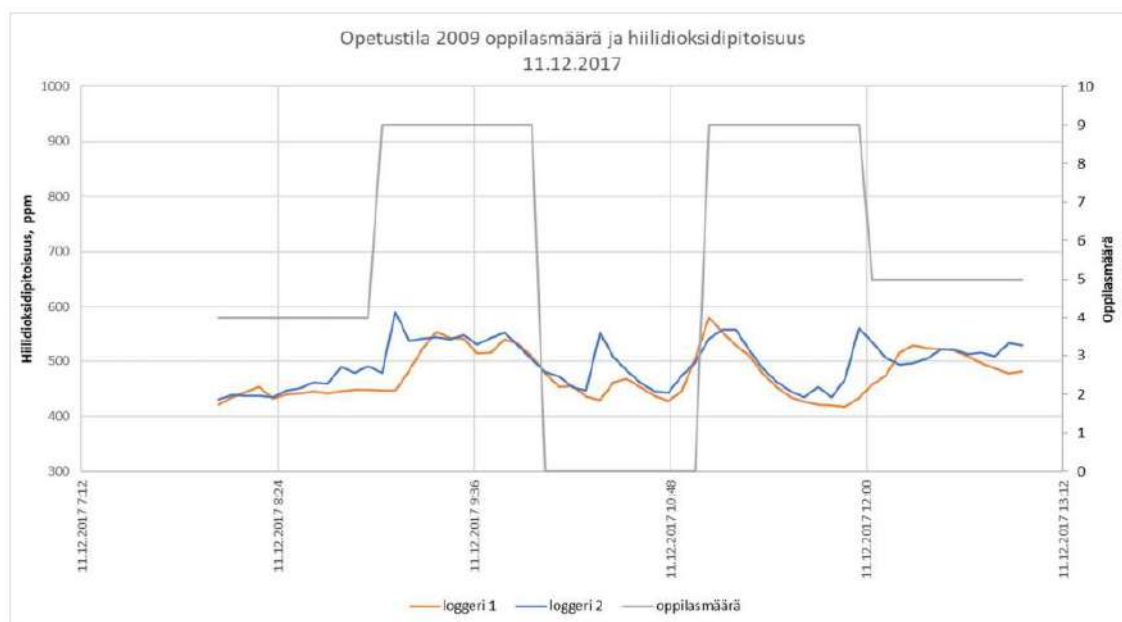
Päivämäärä	Tila	Henkilömäärä min-max	CO2 (ppm) min-max	CO2 (ppm) keskiarvo	Lämpötila (°C)	
					min-max	keskiarvo
4.11.2016	145	16	422-720	571	21,8-22,9	22,4
7.11.2016	145	18-24	399-967	683	19,8-22,6	21,2
8.11.2016	145	12-23	402-1110	756	19,9-23,9	21,9
9.11.2016	145	13-22	410-940	675	20-22,4	21,2
10.11.2016	145	18-21	419-933	676	20,2-22,4	21,3
11.11.2016	145	12-24	410-1052	731	21,2-23,1	22,2
28.10.2016	242	21-24	422-1011	717	20,6-23,3	22
31.10.2016	242	20-24	413-975	694	19,7-22,2	21
1.11.2016	242	1-23	431-1038	735	19,9-22,3	21,1
2.11.2016	242	1-25	401-1037	719	19,4-22,6	21
3.11.2016	242	19-22	409-913	661	19,6-22,7	21,2
4.11.2016	242	20-23	413-905	659	19,6-21,9	20,8
4.11.2016	247	22	468-931	700	21,3-23,6	22,5
7.11.2016	247	18-21	398-1123	761	20,3-22,8	21,6
8.11.2016	247	20-24	413-1171	792	20,4-23,1	21,8
9.11.2016	247	22	412-1026	719	20,4-22,2	22,3
10.11.2016	247	15	414-1001	708	20,5-22,5	21,5
11.11.2016	247	18-24	434-1122	778	20,6-23,8	22,2
16.11.2016	249	3-10	441-952	697	23,1-24,6	23,9
17.11.2016	249	3-10	411-1118	780	23-25,1	24,1
18.11.2016	249	9	417-1132	775	23,1-24,9	24
21.11.2016	249	2-11	416-1004	710	22,7-24,2	23,5
22.11.2016	249	8-9	410-1057	734	22,7-24,6	23,7

8.2.2 Mittaustulokset, kohde 2

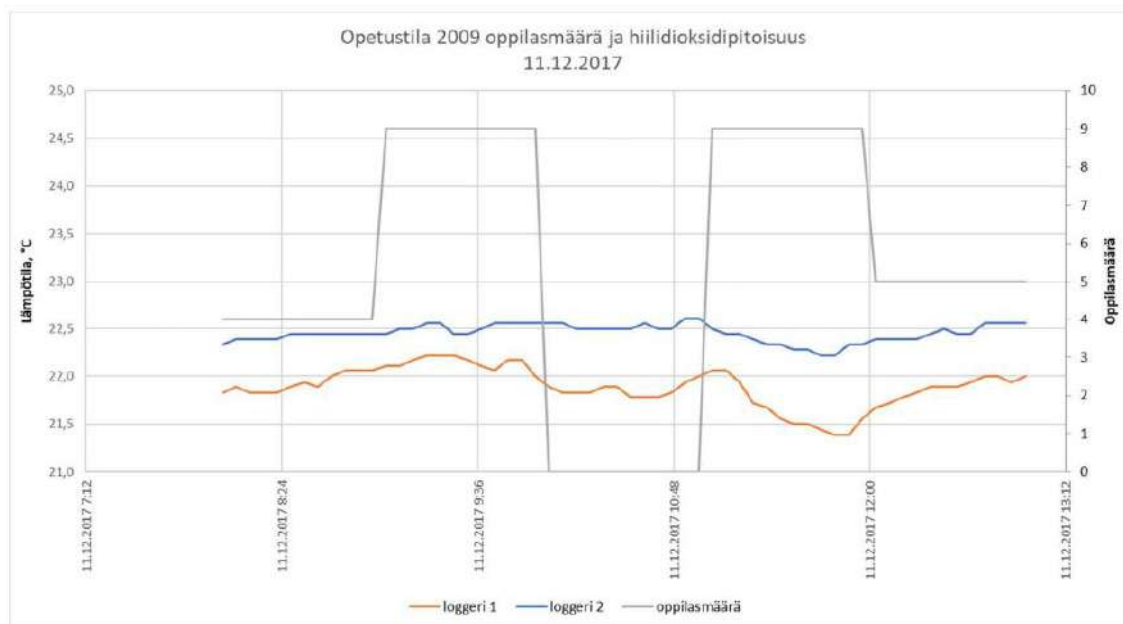
Opetustiloissa suoritettiin sisäilman olosuhdemittauksia (sisäilman lämpötila, ja hiilidioksidipitoisuus) jatkuvatoimisten mittalaitteiden eli loggereiden avulla. Mittaukset suoritettiin kahdessa, noin viikon mittaisessa jaksossa aikavälillä 5.12.-21.12.2017. Hiilidioksidi- ja lämpötilamittauksia tehtiin tiloissa OT 1016 ja OT 2009 5.-14.12.2017 ja tiloissa OT 2052, OT 3004 ja OT 3010 14.-21.12.2017.

Tutkittuihin tiloihin asennettiin yhdelle seinälle yksi loggeri ja rakennusautomaatiojärjestelmän hiilidioksidi- ja lämpötila-anturin viereen yksi loggeri. Tarkoituksena oli määrittää ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden jakautuminen tilassa sekä varmentaa automaatiojärjestelmän lämpötila- ja hiilidioksidimittausten toiminta. Loggaukset suoritettiin vasta savukokeiden jälkeen, jotta loggerit voidaan sijoittaa oikeille paikoille, esimerkiksi ei suoraan tuloilmavirtaan.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty opetustilan oppilasmäärät sekä hiilidioksidi- ja lämpötilamittaukset yhden päivän ajalta, joka kuvaa parhaiten keskimääräistä tilannetta mittausjaksolla. Hiilidioksidipitoisuuden mittaukset olivat opetustiloissa hyvin lähellä toisiaan. Liitteissä 5-9 on muiden opetustilojen vastaavat kuvaajat.



Kuva 10. Opetustilan 2009 oppilasmäärät sekä hiilidioksidipitoisuus 11.12.2017



Kuva 11. Opetustilan 2009 oppilasmäärät sekä huonelämpötila 11.12.2017

Opetustiloja käytettiin normaalisti mittausajanjaksolla. Tila 1016 toimii tekstiilityön opetusluokkana ja tila 2052 opetustilana tai pienryhmätilana. Tiloille 2009, 3004 ja 3010 ei ollut erikseen määriteltä tilatyyppiä, eli opetustila on niin sanottu normaali opetustila.

Tutkimusten perusteella opetustilojen lämpötila vaihteli välillä 20,7-25,5 °C ja hiilidioksidipitoisuus välillä 380-1538 ppm. Taulukossa 8 on esitetty hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan sekä henkilömäärän vaihteluvälit mittauspäivinä.

Taulukko 8. Hiilidioksidi- ja lämpötilamittaustulosten vaihteluväli (kuormitusilanteessa).

Päivämäärä	Tila	Henkilömäärä min-max	CO2 (ppm)	CO2 (ppm)	Lämpötila (°C)	Lämpötila (°C)
			min-max	keskiarvo	min-max	keskiarvo
7.12.2017	1016	9-15	393-939	633	20,7-21,9	21,5
8.12.2017	1016	8-12	380-1538	622	21,1-22,0	21,6
11.12.2017	1016	6-17	380-920	632	20,8-22,1	21,6
12.12.2017	1016	8-9	411-783	637	21-22,2	21,6
13.12.2017	1016	6-10	506-807	629	21,2-22	21,6
5.12.2017	2009	0-10	417-1011	563	21,3-22,5	22,0
7.12.2017	2009	5-9	402-848	507	21,1-22,6	22,0
8.12.2017	2009	4-9	386-922	486	21,5-22,8	22,1
11.12.2017	2009	4-9	417-590	485	21,3-22,6	22,2
12.12.2017	2009	2-10	406-597	488	21,5-22,6	22,2
13.12.2017	2009	4-10	401-582	499	31,3-22,6	22,2
14.12.2017	2052	2	424-512	473	21,7-23,4	23,3
15.12.2017	2052	1-2	390-509	470	22,8-23,4	23,3
18.12.2017	2052	2	404-557	491	23,1-23,9	23,7
19.12.2017	2052	2	424-542	504	23,1-23,7	23,6
20.12.2017	2052	1-3	419-600	495	23,1-23,6	23,5
14.12.2017	3004	12-20	467-712	620	24,6-25,1	24,9
15.12.2017	3004	11-25	420-815	626	24,8-25,5	25,2
18.12.2017	3004	11-18	423-748	606	21-21,6	21,4
19.12.2017	3004	15-20	424-905	687	21,1-21,9	21,6
18.12.2017	3010	1-20	442-772	577	20,7-23,3	22,2
19.12.2017	3010	8-22	441-893	606	20,8-23,2	22,1
20.12.2017	3010	10-21	437-825	558	20,9-23,8	22,5

8.3 Savukokeet

8.3.1 Mittaustulokset, kohde 1

Tilojen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminta sekä ilman sekoittuminen huonetilassa tarkistettiin savukokeiden avulla. Savukokeet suoritettiin IMS-pellin säätöarvoilla 100 %, 70 % ja 30 %. Tilat valittiin eri ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueilta suoritettujen ilmamäärämittausten perusteella. Tuloilman lämpötila vaihteli savukokeiden aikana eri ilmanvaihtokoneiden alueella noin 19,5 -22 °C asteen välillä. Savukokeiden tulokset

dokumentoitiin videoiden sekä kuvasarjojen avulla. Alla olevissa kuvissa on esitetty opetustilaan OT 145 tehdyt savukokeet. Päätelaitte OKE-125. Tutkimusten perusteella matalilla ilmavirroilla tuloilman sekoittuminen opetustiloissa on hidasta.



Kuva 12. Savukoe opetustilassa 145, ilmavirta 100 %, savutus 60 sek.



Kuva 13. Savukoe opetustilassa 145, ilmavirta 70 %, savutus 62 sek.



Kuva 14. Savukoe opetustilassa 145, ilmavirta 30 %, savutus 60 sek.

8.3.2 Mittaustulokset, kohde 2

Tilojen ilman sekoittuminen huonetilassa tarkistettiin savukokeiden avulla. Savukokeet suoritettiin IMS-pellin säätöarvoilla 100 %, ja 40 %. Tilat valittiin eri ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueilta suoritettujen ilmamäärämittausten perusteella. Tutkitut tilat olivat 1016, 2009, 3004 ja 3006. Tuloilman lämpötila vaihteli savukokeiden aikana eri ilmanvaihtokoneiden alueella noin 20-22 °C asteen välillä. Savukokeiden tulokset dokumentoitiin videoiden sekä kuvasarjojen avulla. Alla olevissa kuvissa on esitetty opetustilaan OT 2009 tehdyt savukokeet. Päätelaitte Halton DTR.

Kuvassa 15 ilmanvaihdon ollessa täysteholla näkyy hyvin ilman tasaisempi sekoittuminen koko tilaan. Kuvassa 16 näkyy selkeästi kuinka ilma kerrostuu ja jää tilan yläosaan ilmanvaihdon osateholla.



Kuva 15. Savukoe opetustilassa 2009, ilmavirta 100 %, savutus 50 sek.



Kuva 16. Savukoe opetustilassa 2009, ilmavirta 40 %, savutus 50 sek.

9 Johtopäätökset

9.1 Kohde 1

Ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmamäärät olivat suunniteltujen ilmamäärien mukaiset. Ilmamäärien mittaukset poikkesivat koneittain suunnitelluista Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia ohjearvoja vähemmän (konekohtaisesti ilmamäärien poikkeama mitoitusarvoista +/- 10 %).

Tilojen ilmanvaihdon ilmavirrat vaihtelevat vuonna 2011 suunnitelluista ilmamääristä. Tutkituissa tiloissa mitatut tulo- ja poistoilmavirrat vaihtelivat osittain Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia ohjearvoja enemmän (huonekohtaisesti ilmamäärien poikkeama mitoitusarvoista +/- 20 %). Eroavaisuudet suunnitelmien ja mitattujen ilmavirtojen välillä kasvoivat osassa tiloista, kun mittaukset suoritettiin osailmavirroilla (IMS-pellin säätöarvo 70 % ja 30 %). Keskeisenä tekijänä ilmavirtojen säädön ja tasapainotuksen ongelmiin osamitoitustilanteessa tässä kohteessa voidaan pitää IMS-peltien asennusohjeiden vastaisia asennustapoja. Laitevalmistajan suojaetäisyyksiä (2 x kanavan halkaisija) ei ole noudatettu IMS-laitteiden asennuksessa. Tämä johti ilmamääräsäätimen mitaus ja säätövirheisiin erityisesti osailmavirtojen mittauksissa. Ilmavirtoja ei myöskään ole säädetty osamitoitustilanteessa.

Tuloilma sekoittuu kohtuullisen hyvin tilaan käytettäessä mitoitusilmavirtoja. Osailmavirroilla tuloilmansekoittuminen oli heikompaa ilman nopeuden pienentymisen johdosta. Opetustiloissa on pääsääntöisesti käytetty OKE-tuloilmalaitetta. Laitteen toiminta perustuu riittävään heittopituuteen, jolloin tuloilma saadaan jaettua ja sekoitettua tasaisesti tilaan. Osailmavirroilla heittopituus pienenee ja sekoittuminen hidastuu.

Mittaustuloksista on pääteltävissä, että mittausajankohtana hiilidioksidipitoisuus ei täytä sisäilmastoluokituksen S2 vaatimustasoa kuormitustilanteissa. Lämpötila täyttää pääosin sisäilmastoluokituksen S3 vaatimustason. Toisaalta mittaukset suoritettiin lämmityskaudella, eikä täten voida arvioida mahdollista kesäaikaista tilojen yllilämpenemistä. Huoneilman lämpötilat pysyivät mittausjaksolla luokissa sisäilmastoluokituksen S3 mukaisena myös kuormitustilanteissa.

Mittaustuloksista oli havaittavissa, että tilojen ilma ei vaihdu riittävästi. Taukojen (15 – 30 min) aikana hiilidioksidipitoisuudet laskivat noin 550 - 800 ppm tasolle, mutta nousevat kuormitustilanteen jatkuessa tauon jälkeen yli S2 tavoitearvon. Tilojen huuhtoutumiseen kuluu tilasta ja kuormituksen kestosta riippuen aikaa 1 - 2 tuntia kuormituksen huipun jälkeen, kun tilan kuormitustilanne on poistunut kokonaan.

Mittauspöytäkirjojen ilmamäärämittaustulokset sekä -hiilidioksidipitoisuudet ovat yhteisiä seuraavilta osin.

- Tiloissa joissa ilmamäärä vastaa suunniteltua, hiilidioksidipitoisuus nousee pitkäkestoisessa kuormitustilanteissa S2-vaatimustason yläpuolelle (900ppm).
- Tiloissa joissa ilmamäärä oli mittauksissa suunnitelmia pienempi, hiilidioksidipitoisuus nousee kuormitustilanteessa nopeammin S2-vaatimustason yläpuolelle (900ppm) ja hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo on suurempi.

Hiilidioksidi- ja lämpötilamittausten kuvaajien perusteella voidaan todeta, ettei oven pieleen asennettavan QE/TE-anturin sijainti olisi epäedullinen ja antaisi selkeästi väärää kuvan tilan sisäilmaolosuhteista. Toisaalta on huomioitava, mikäli QE/TE anturiin suuntautuu lämpö- tai henkilökuormia mittaustulos saattaa olla vääristynyt.

9.2 Kohde 2

Ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmavirrat olivat suurimmassa osassa koneita suunniteltujen ilmamäärien mukaiset, kun hyväksyttävänä poikkeamana järjestelmäkohtaisissa ilmavirroissa käytetään $\pm 10 \%$ (SRMK D2 2012). Ilmanvaihtokoneiden 218TK ja 220TK poistopuolella ilmamäärien poikkeama oli vähän yli $\pm 10 \%$.

Tilojen ilmanvaihdon suunnitellut ilmavirrat toteutuivat pääosin kaikissa rakennuksen B-osan opetustiloissa, kun hyväksyttävänä poikkeamana huonekohtaisissa ilmavirroissa käytetään $\pm 20 \%$ (SRMK D2 2012). Ilmanvaihtokoneen 220TK palvelualueella tilakohtaisesti mitatut tulo- ja poistoilmavirrat vaihtelivat osittain yli $\pm 20 \%$ suunnitelluista ilmavirroista.

Tuloilma sekoittuu kohtuullisen hyvin tilaan käytettäessä mitoitusilmavirtoja. Osailmavirroilla tuloilman sekoittuminen oli heikompaan ilman nopeuden pienentymisen johdosta.

Tehtyjen tutkimusten perusteella tilojen nykyinen ilmanjakotapa havaittiin IMS-järjestelmän kanssa soveltuvaksi.

Rakennukseen suoritettujen opetustilojen lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittaustulosten perusteella hiilidioksidipitoisuus täyttää vuoden 2011 suunnitelmien mukaisen sisäilmastoluokituksen 2008 vaatimustason S2 ja lämpötila täyttää pääosin sisäilmastoluokituksen S3 vaatimustason. Osassa tiloja lämpötila havaittiin korkeammaksi.

Toisaalta mittaukset suoritettiin lämmityskaudella, eikä täten voida arvioida mahdollista kesäaikaista tilojen yllämpenemistä. Huoneilman lämpötilat pysyivät mittausjaksolla luokissa sisäilmastoluokituksen S3 mukaisena myös kuormitustilanteissa.

10 Yhteenveto

Ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmamäärät olivat molemmissa kouluissa pääosin suunniteltujen ilmamäärien mukaiset. Huonekohtaisissa ilmamäärissä oli osittain enemmän poikkeamaa suunniteltuihin ilmamääriin nähden.

Kohteen 1 opetustilojen huoneilman lämpötilan ja hiilidioksidin mittaustuloksista on pääteltävissä, että mittausajankohtana hiilidioksidipitoisuus ei täytä sisäilmastoluokituksen vaatimustasoa S2 kuormitustilanteissa. Lämpötila täyttää pääosin sisäilmastoluokituksen S3 vaatimustason. Mittaustuloksista oli havaittavissa, että tilojen ilma ei vaihdu riittävästi. Hiilidioksidipitoisuudet laskevat oppituntien välillä noin 550 – 800 ppm tasolle, mutta nousevat kuormitustilanteen jatkuessa seuraavan oppitunnin aikana yli S2 tavoitearvon 900 ppm. Tilojen huuhtoutumiseen menee tilasta ja kuormituksen kestosta riippuen aikaa 1-2 h kuormituksen huipun jälkeen, kun kuormitustilanne on poistunut kokonaan.

Kohteen 1 tilojen ilmanvaihto on tällä hetkellä mitoitettu 8 l/s/hlö perusteisesti. Tarvittava ilmamäärä sisäilmaluokituksen S2 mukaiselle hiilidioksidipitoisuuden (900 ppm) toteutumiselle selvitettiin tutkimushankkeen aikana. Ilmamäärien tarpeenmukaisuus mallinnettiin olosuhdesimuloinnilla, jonka perusteella todettiin, että tarvittava ilmavirta sisäilmaluokituksen S2 saavuttamiseksi on tässä tapauksessa 4 l/s/m².

Samassa yhteydessä ylä-asteella tarkasteltiin ilmanvaihtokanavien ja puhaltimien koon riittävyys ja muut mahdolliset vaikutukset koneiden toiminnalle sekä nykyisten päätelaitteiden koon ja säätöjen riittävyys uusille ilmamäärille. Opetustilojen mitoittaminen 4 l/s/m² edellyttää ilmanvaihtokoneiden uusimista. Nykyisellä ilmanvaihtojärjestelmällä ongelmaksi muodostuu kanavistojen ja päätelaitteiden äänitasot.

On muistettava, että sisäilmastoluokitus vaikuttaa ilmanvaihdon mitoituksiin ja järjestelmien energiatehokkuuksiin. Henkilömäärät ja tilojen käyttötarkoitukset saattavat usein muuttua ja uudet henkilömäärät voivat olla yläkanttiin alkuperäisiin suunnitelmiin nähden.

Välituntien perinteinen ikkunatuuletus ei välttämättä olisi toiminnan kannalta huono vaihtoehto. Mikäli tiloissa on suuri kuormitus ja välituntiaika on vain 15 min, on ikkunatuuletus vartenotettava vaihtoehto. Oppituntien kestoa suositellaan muutenkin jaettavaksi niin, että pyritään ettei pidettäisi kahta oppituntia putkeen suurella henkilökuormituksella. Näin pystytään opetustilojen lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus hallitsemaan paremmin halutulle tasolle.

Kohteen 2 opetustilojen huoneilman lämpötilan ja hiilidioksidin mittaustuloksista on pääteltävissä, että mittausajankohtana hiilidioksidipitoisuus täyttää sisäilmastoluokituksen vaatimustason S2 kuormitustilanteissa. Lämpötila täyttää pääosin sisäilmastoluokituksen S3 vaatimustason. Osassa tiloja lämpötila havaittiin korkeammaksi. Huonesäätöjen mukaiset säädöt olivat toteutettu siten, että IMS-laitteet eivät olleet osana lämpötilan säätöä. Rakennusautomaation oikeanlaisella käytöllä mahdollistetaan olosuhteiden pysyminen suunniteltujen sisäilmastoluokitusten mukaisena.

IMS-laitteiden säätöihin suositellaan kiinnitettävän huomiota, että ilmanvaihto toimisi myös tuulettavana tilanteissa, jolloin sisäilman lämpötila nousee kesäisin korkealle. Korkea sisäilman lämpötila saatetaan myös kokea tunkkaisena. Mittaukset suoritettiin molempiin kohteisiin lämmityskaudella, eikä tämän vuoksi voida arvioida mahdollista kesäaikaista tilojen lämpenemistä.

Opinnäytetyön yhtenä osa-alueena tarkasteltiin, antavatko ovenpieleen asennettavat hiilidioksidi- ja lämpötila-anturit yhdenmukaista mittaustulosta muualle tilaan asennettujen mittareiden kanssa. Tulosten perusteella oven pieleen sijoitettu anturi antaa oikean kuvan tilan sisäilmaolosuhteista. Oven asennolla (auki ja kiinni) ei havaittu olevan merkittävää

vaikutusta tilojen hiilidioksidipitoisuuteen mittaustuloksiin. Tuloilman katto- tai seinäpuhalluksessa ei ollut eroa hiilidioksidipitoisuuden jakautumisessa tilaan.

Tutkimustulosten ja niiden analysoinnin kannalta on tärkeää, että rakennuksen tilojen käyttäjät ovat täyttäneet läsnäololistaa seurantamittausten aikana. Näin päästään tarkemmin analysoimaan mahdollisia koettuja ilmanvaihtoon liittyviä tuntemuksia selvittämään.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä toteutetuissa kohteissa usein unohdetaan ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoittelun ja suuntauksen vaikutus järjestelmän toimivuuden kannalta. Hyvä tapa voisi olla kattoon asennettavat suutinkanavat tai uudelleen suunnattavat päätelaitteet. Tilojen järjestyksen tai käyttötarkoituksen muuttuessa niiden heittokuvio voidaan suunnata uudestaan parhaan mahdollisen ja vedottoman ilmanjaon saamiseksi. On muistettava, että tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa on tärkeää hallita tuloilmasuihkujen heittopituutta. Eri ilmavirroilla suihkun lähtönopeus tulee olla riittävä, jotta suihku pysyy katossa ja estetään suihkun hallitsematon putoaminen oleskeluvyöhykkeelle. Kouluissa oleskeluvyöhykkeen määrittäminen on helppoa, sillä toiminta pääasiassa pysyy samoilla paikoilla.

Kohteen 2 tuloilma sekoittuu kohtuullisen hyvin tilaan käytettäessä mitoitusilmavirtoja. Osailmavirroilla tuloilman sekoittuminen oli heikompaa ilman nopeuden pienentymisen johdosta. Tehtyjen tutkimusten perusteella tilojen nykyinen ilmanjakotapa havaittiin IMS-järjestelmän kanssa soveltuvaksi. Tuloilman päätelaitteet ovat katossa.

Kohteen 1 tuloilma sekoittuu kohtuullisen hyvin tilaan käytettäessä mitoitusilmavirtoja. Osailmavirroilla tuloilmansekoittuminen oli heikompaa ilman nopeuden pienentymisen johdosta. Opetustiloissa on pääsääntöisesti käytetty OKE-tuloilmalaitetta. Laitteen toiminta perustuu riittävään heittopituuteen, jolloin tuloilma saadaan jaettua ja sekoitettua tasaisesti tilaan. Osailmavirroilla heittopituus pienenee ja sekoittuminen hidastuu.

Kohteen 1 seinäpuhallukseen perustuvia tuloilmalaitteita ei suositella IMS-järjestelmien yhteyteen. Tuloilma suositellaan toteutettavan siten, että tuloilma saadaan järjestettyä oleskeluvyöhykkeille myös osailmamäärä tilanteissa. Tähän soveltuva tuloilmalaitte on esimerkiksi suutinkanava.

11 Oppimiskokemukset

Opinnäytetyö eteni tasaisesti koko matkan ajan. Kuntotutkimusprojektit antoivat tilaajalle näkemystä vastaavien kiinteistöjensä sen hetkisestä tilanteesta ja nykykunnosta ilmanvaihdon osalta. Työn ansiosta suunnitteluohjeistuksia on lähdetty selvittämään vielä tarkemmin vastaavissa kohteissa ja muokkaamaan tarvittaessa paremman lopputuloksen saamiseksi.

Projektit kokosivat mukavasti yhteen aiemmin oppimaani ja sain selkeää tulosta omien johtopäätöksieni tueksi. Myös itsenäinen ongelmanratkaisutaitoni kehittyi entisestään. Selvisin vastaan tulleista haastavista tilanteista pääosin itsenäisellä tiedonhaulla sekä kokemuksella. Tukenani oli myös suuri joukko raudan lujia ammattilaisia sekä tilaajan puolelta että oman yritykseni muilta työntekijöiltä. Projektitiimiini kuului kiinteistöjohtaja, energia-asiantuntija, LVIA-suunnittelija ja talotekniikan kuntotutkijoita.

Suurin haaste projektin aikana oli saada suuria mittauskokonaisuuksia ja automaation testauksia tehtyä käytössä olevissa koulukohteissa. Konkreettisiin mittauksiin kohteissa meni useita satoja henkilötyötunteja. Tiedottamisen taito kehittyi tämän projektin yhteydessä. Tämän osalta jäi vielä paljon kehitettävää, mutta tämä työ antoi myös hyvät ensiaskeleet tiedottamiseen sekä miten sitä lähteä kehittämään vastaavissa projekteissa.

Tätä opinnäytetyötä ja siinä tehtyjä mittauksia on mahdollista lähteä viemään eteenpäin ja ottaa mukaan esimerkiksi savukokeita tehdessä tiloja, joissa on oikeaa käyttöä savukokeiden aikana. Paine-eromittauksia ulkovaipan yli voidaan myös samalla lähteä selvittämään. Mittausten tueksi voidaan tehdä myös simulaatiota IDA ICE-simulointiohjelmalla ja selvittää onko nykyisillä järjestelmillä ja suunnitteluarvoilla mahdollista päästä toivottuihin sisäilmastoluokkiin.

Lähteet

Seppänen O & Seppänen M. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. ISBN 978-951-97186-5-1

Vanha D2 Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Sandberg E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 1. ISBN 978-952-99770-6-2

Sandberg E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2. ISBN 978-952-99770-7-9

Siikanen U. 2014. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia. ISBN 978-952-267-001-4

Ripatti, H. 2004. Ilmastointijärjestelmät. Teoksessa: Seppänen, O (Toim.) Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-Julkaisut Oy, 41-72.

Seppänen, O. 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto.1.painos (lisäpainos). Anjalankoski: Solver palvelut Oy.

Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset, RT 07-011299

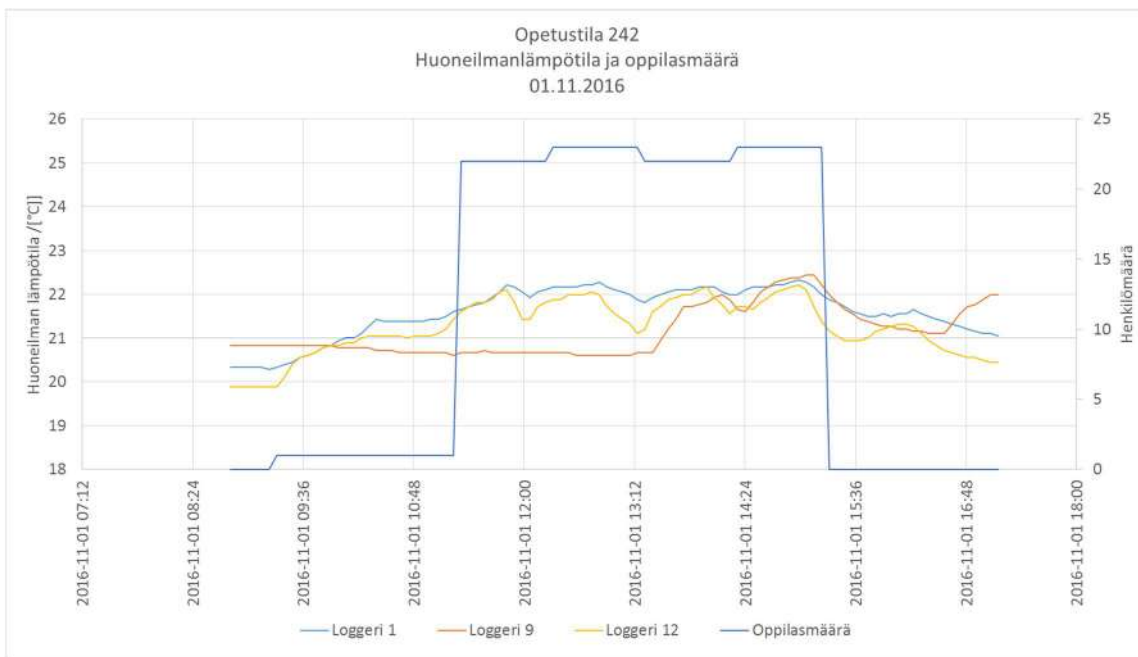
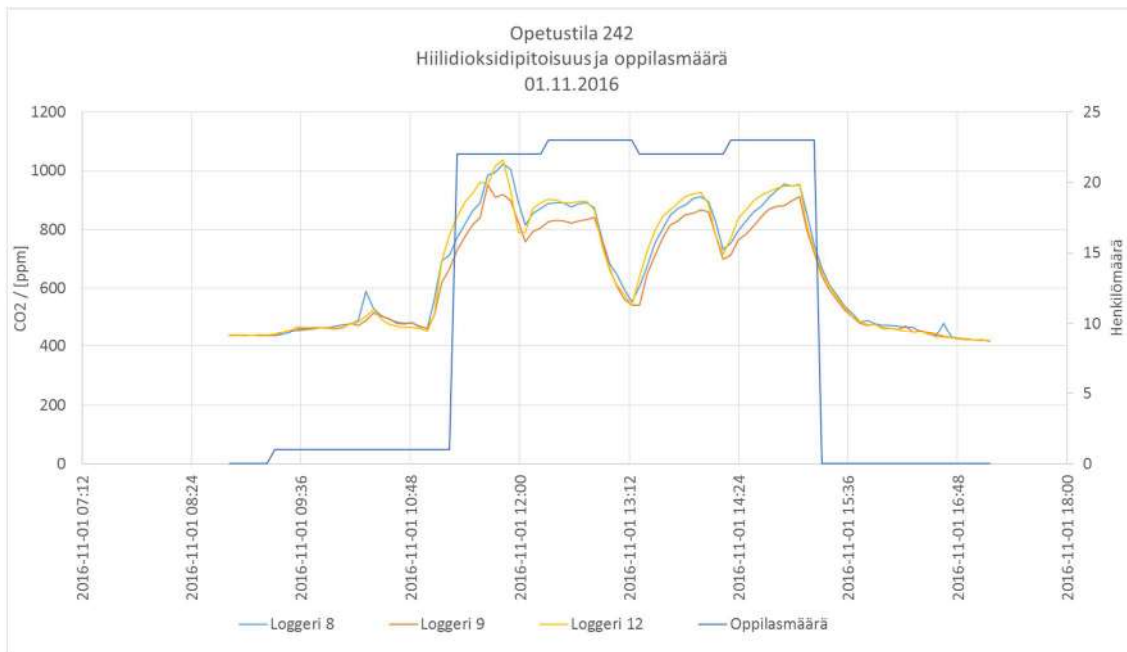
Työterveyslaitos 2016. Lämpöviihtyvyys. http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/lampoolot/lampoviihtyisat_olot/sivut/default.aspx 28.6.2016 (luettu 26.1.2018)

Tuomaala P, Nykänen E & Piira K. 2016. Sisäilmastoseminaari 2016. Sisäilmayhdistys ry, Aalto-yliopisto, Energiatekniikanlaitos. SIY raportti 34. ISBN 978-952-5236-44-6

Ympäristöministeriö. http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys

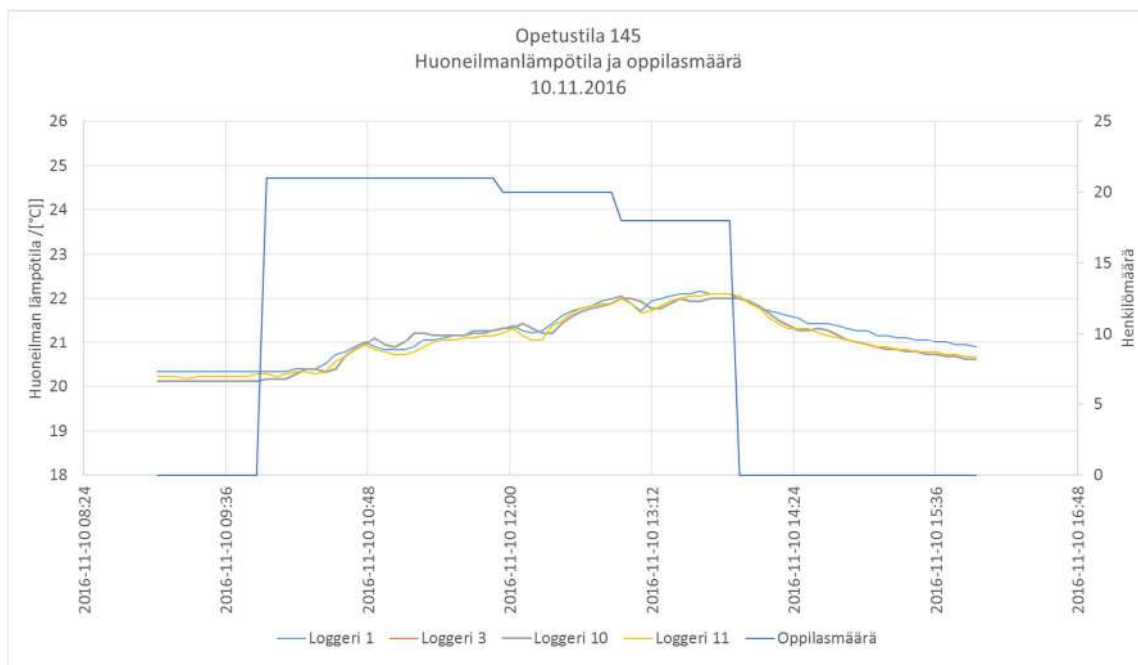
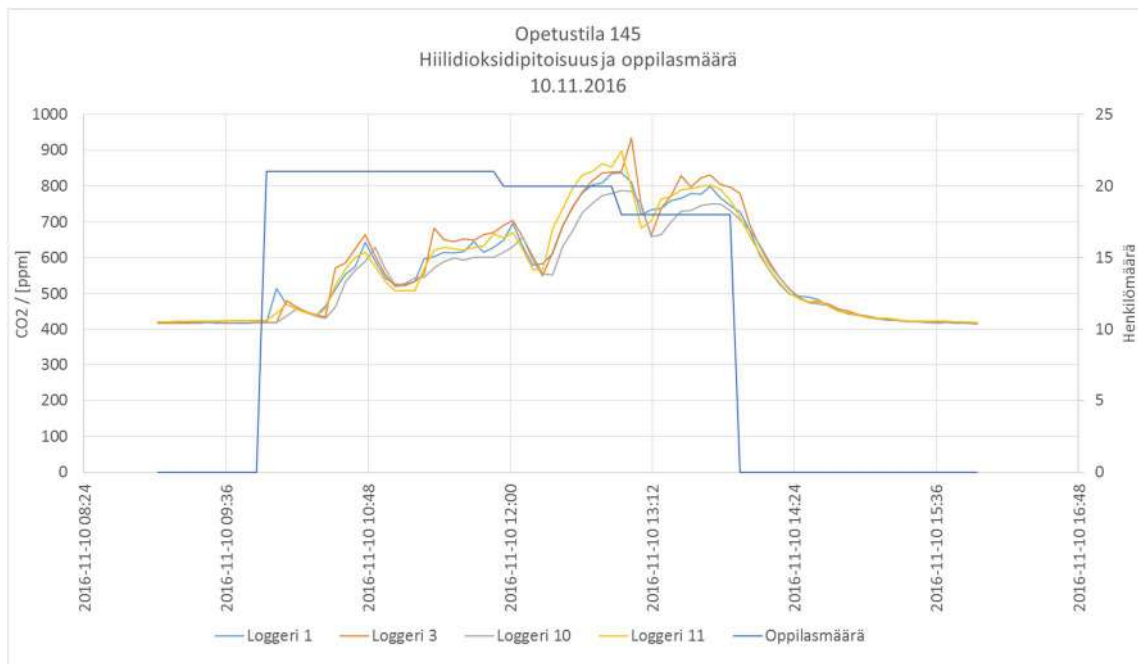
Liite 1

Kohteen 1 opetustilan 242 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



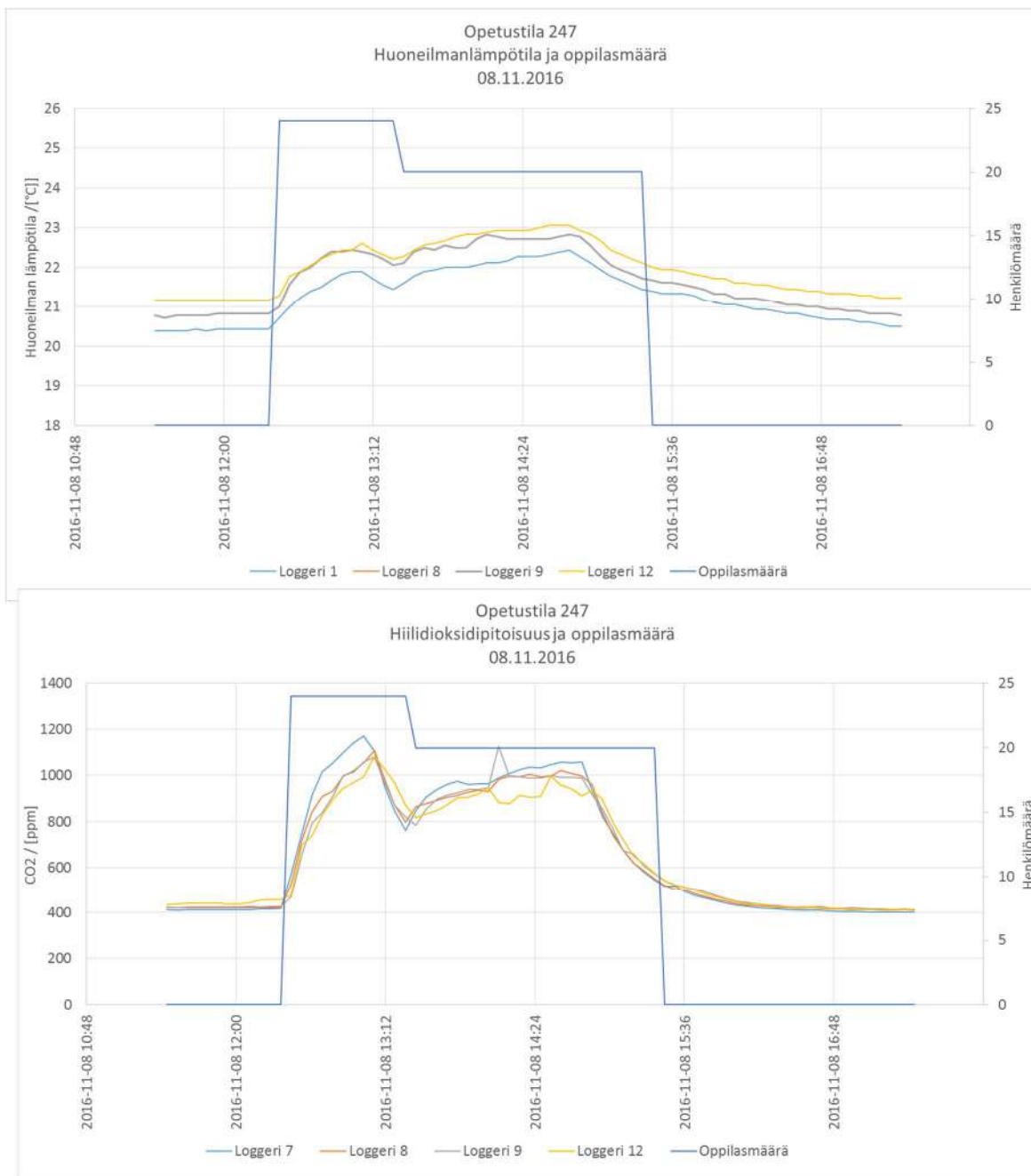
Liite 2

Kohteen 1 opetustilan 145 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



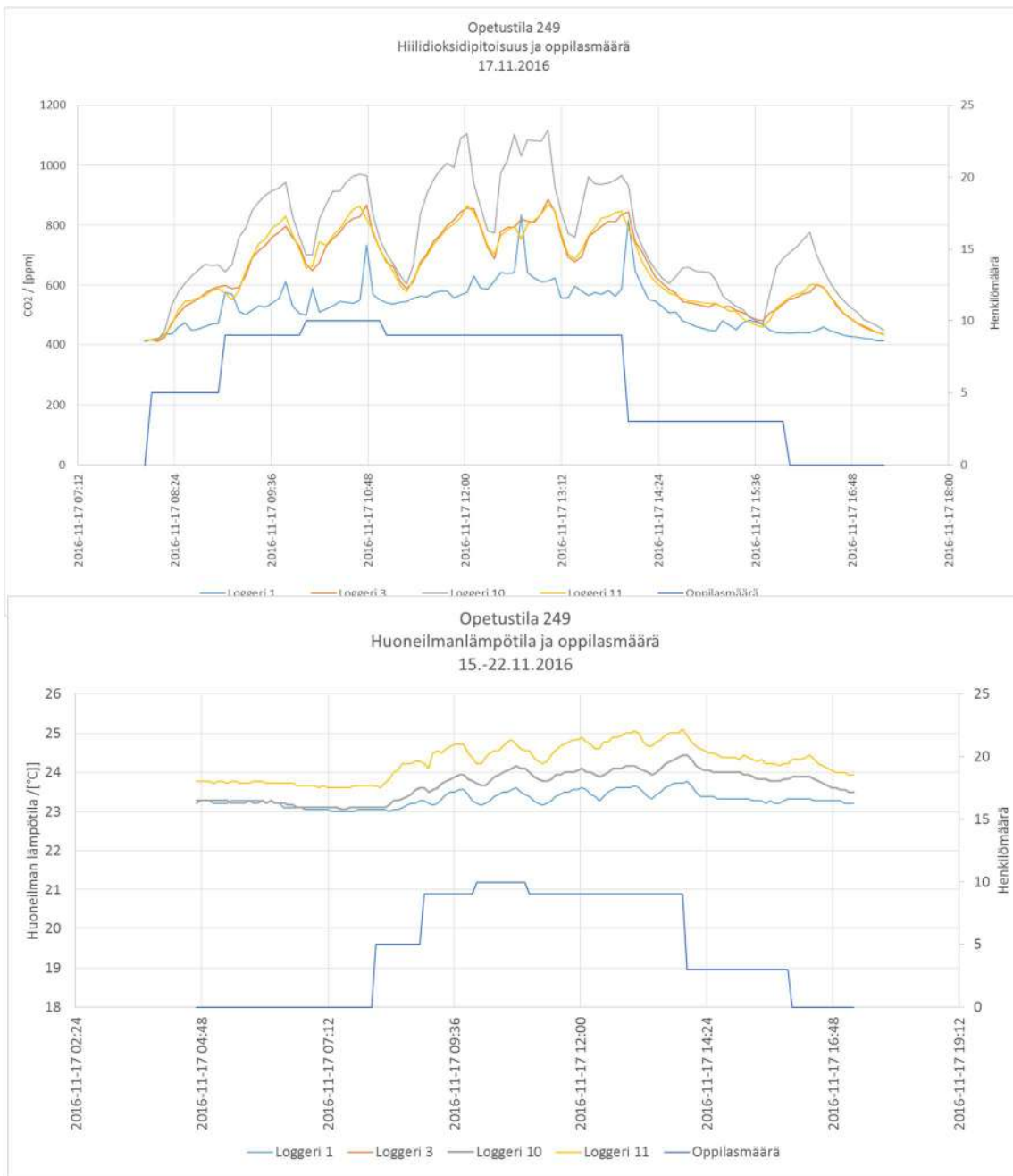
Liite 3

Kohteen 1 opetustilan 247 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



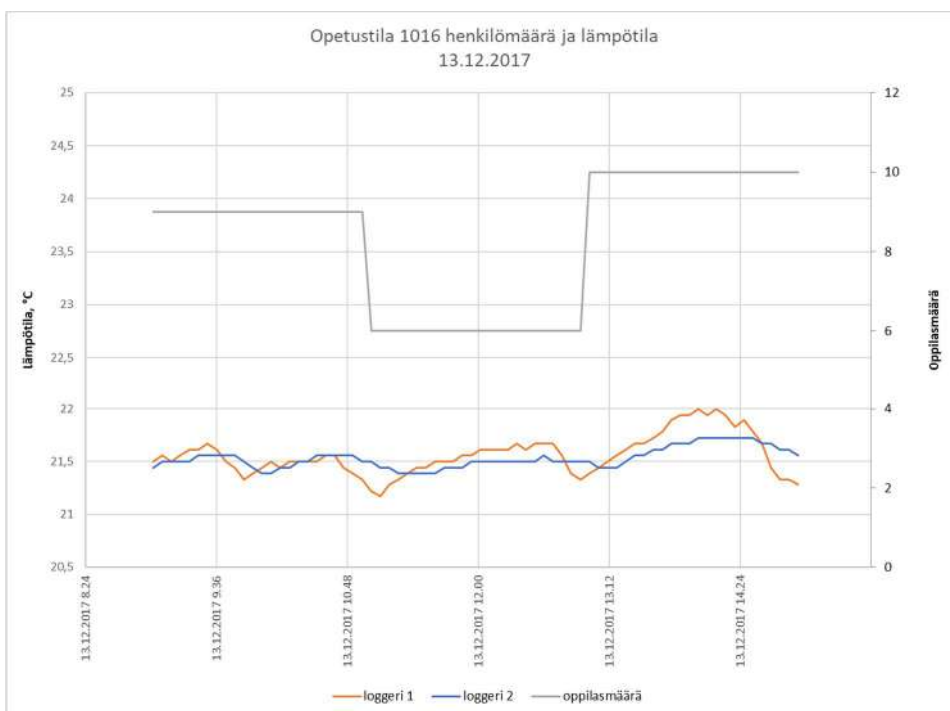
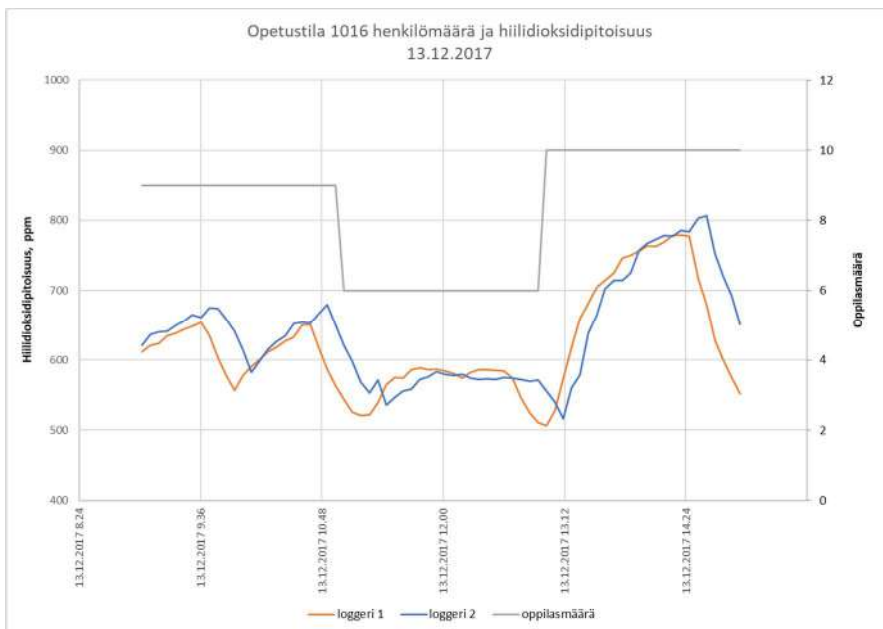
Liite 4

Kohteen 1 opetustilan 249 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



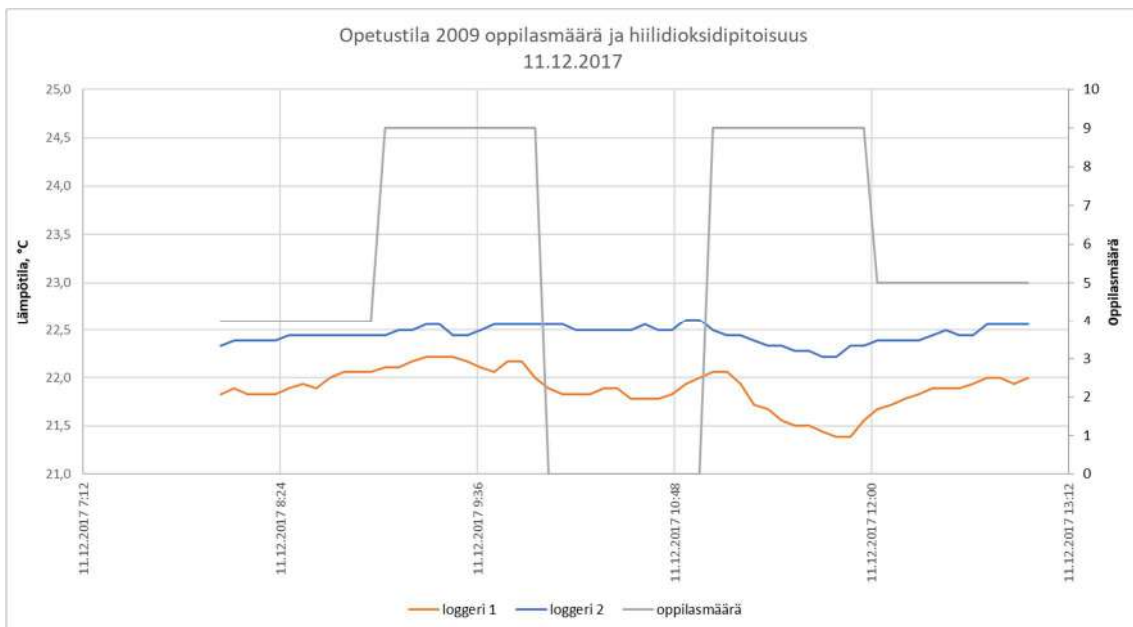
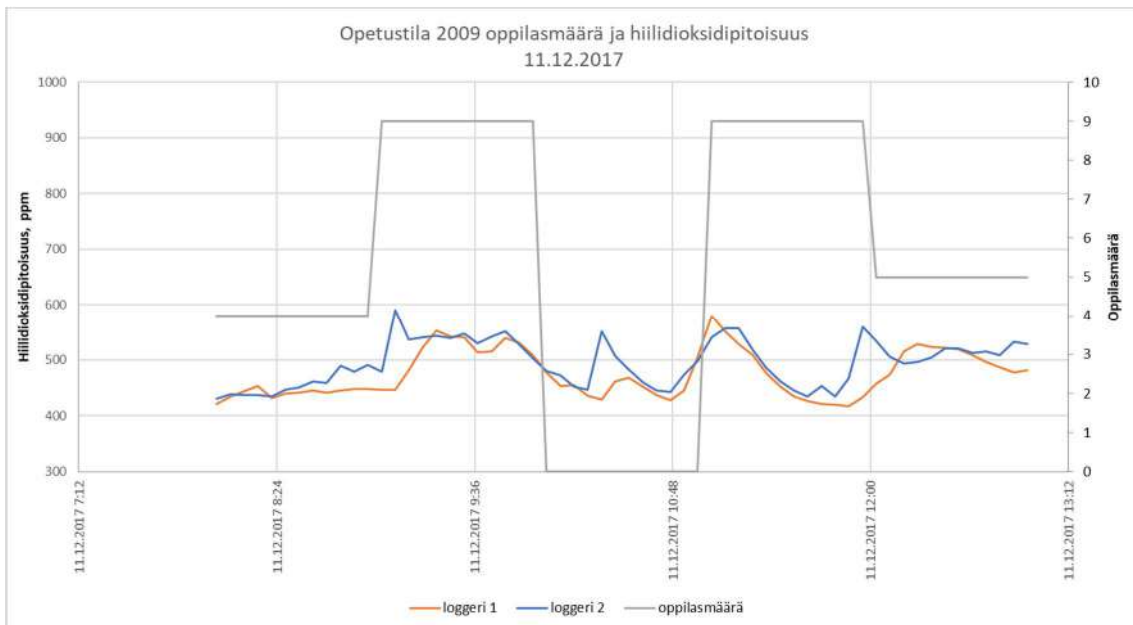
Liite 5

Kohteen 2 opetustilan 1016 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta.



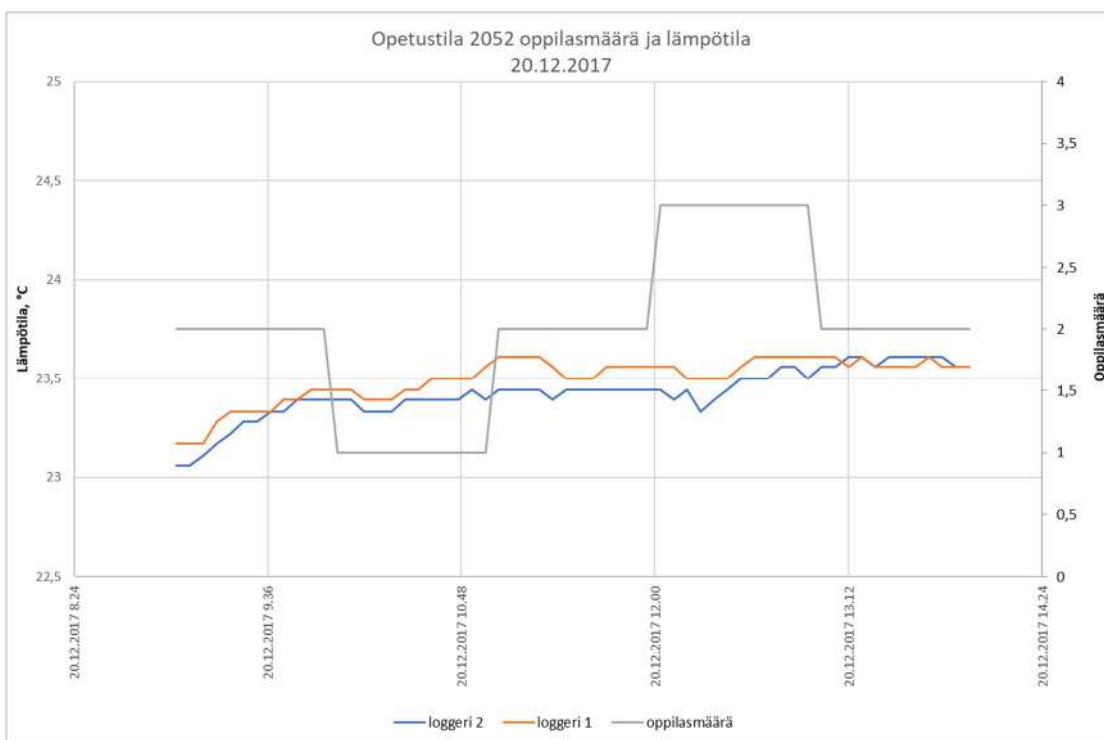
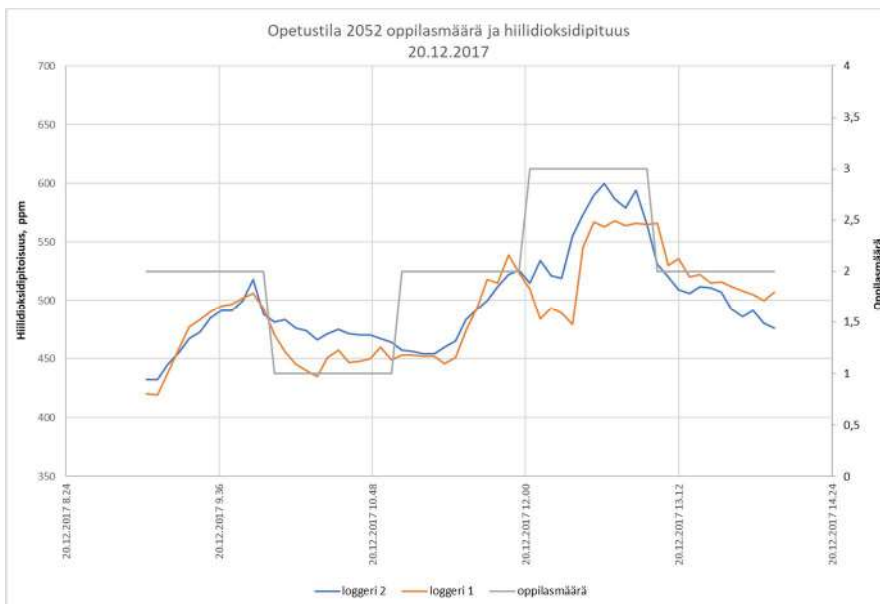
Liite 6

Kohteen 2 opetustilan 2009 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



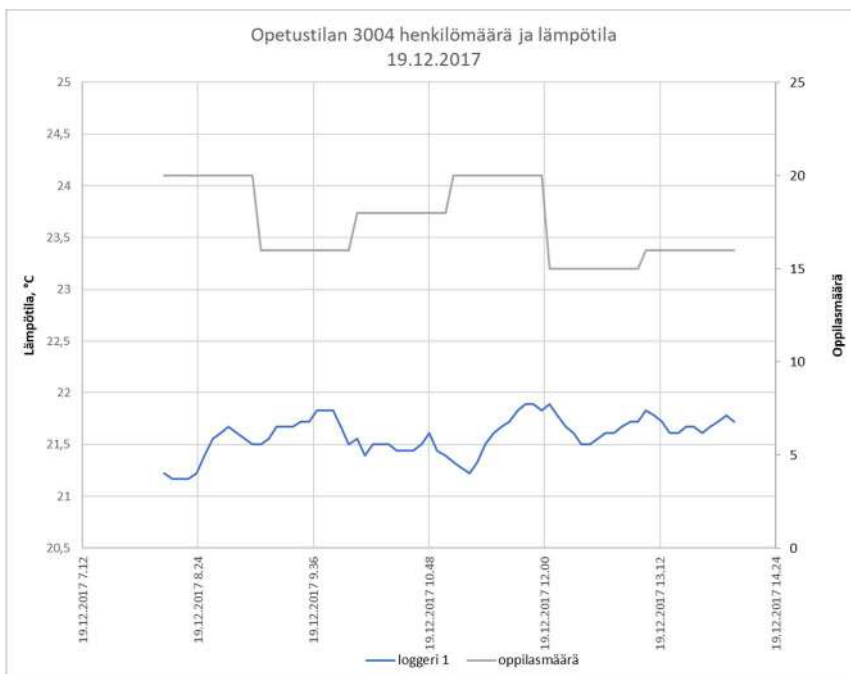
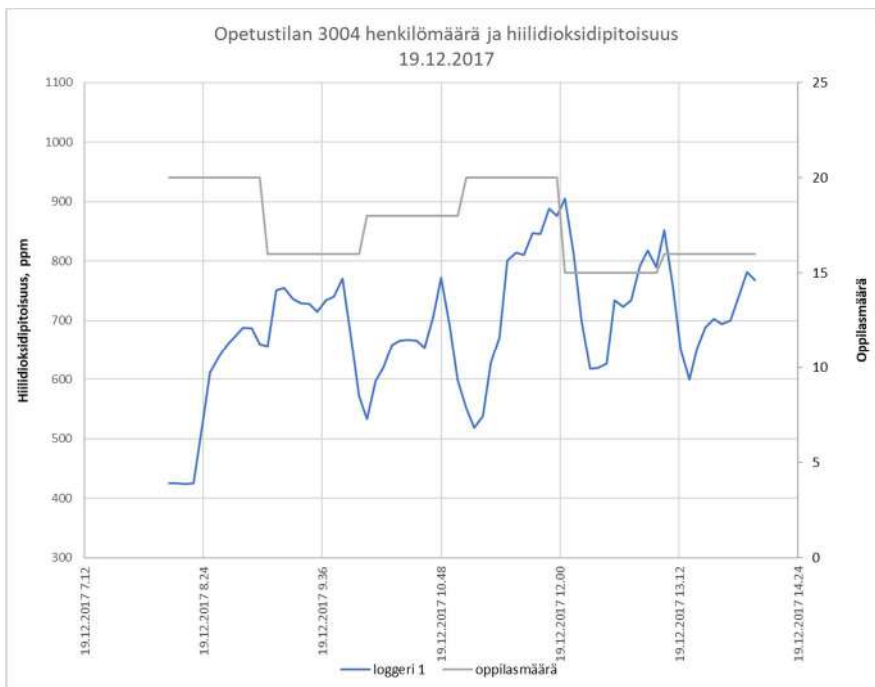
Liite 7

Kohteen 2 opetustilan 2052 olosuhdeseuranjaksos mittaustulokset yhden päivän ajalta



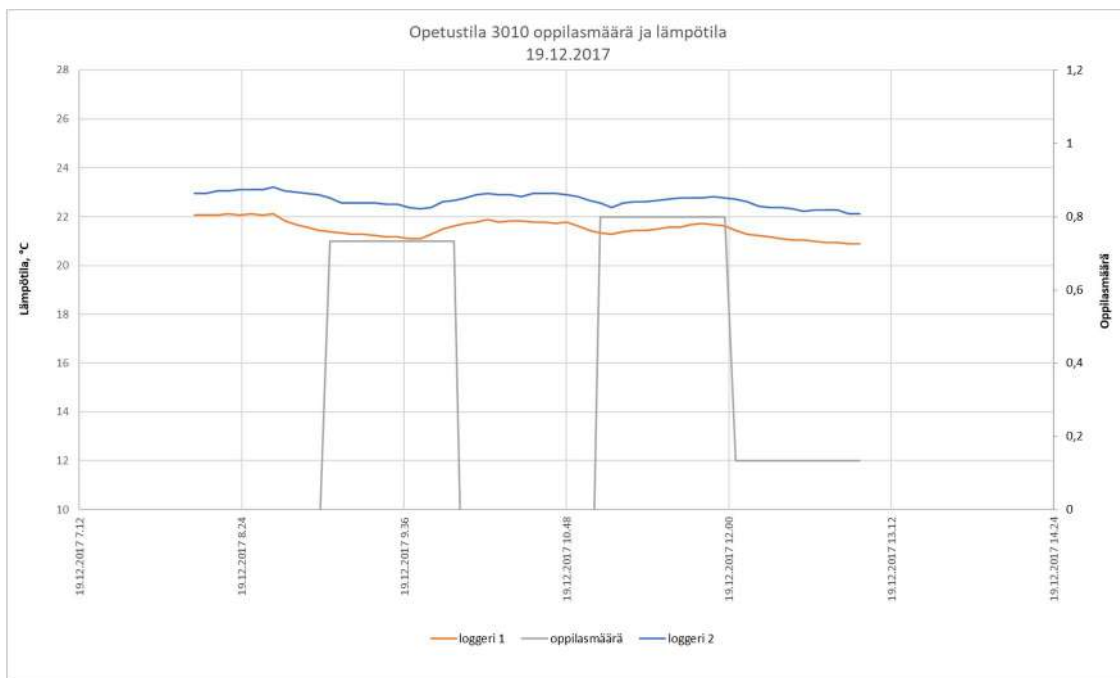
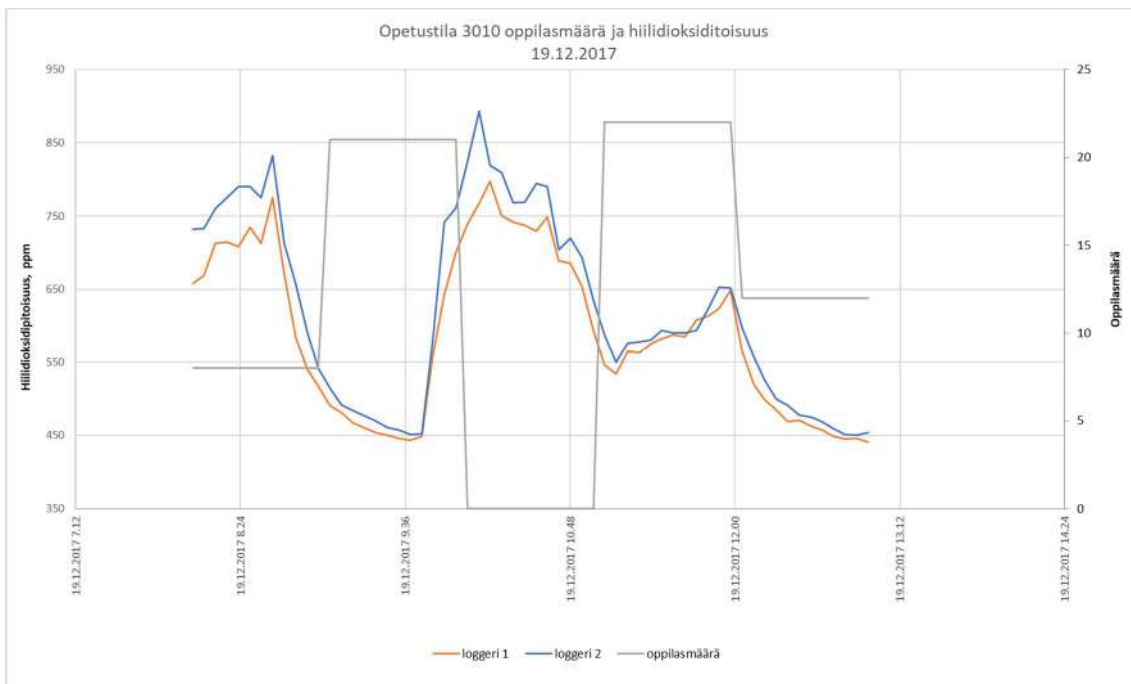
Liite 8

Kohteen 2 opetustilan 3004 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



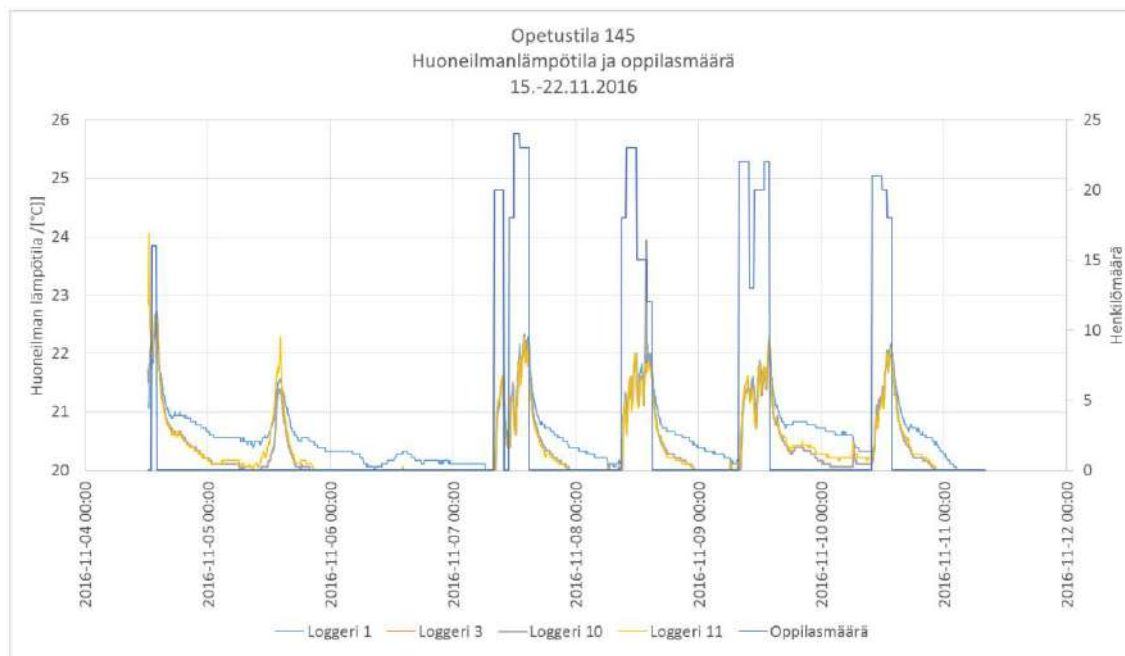
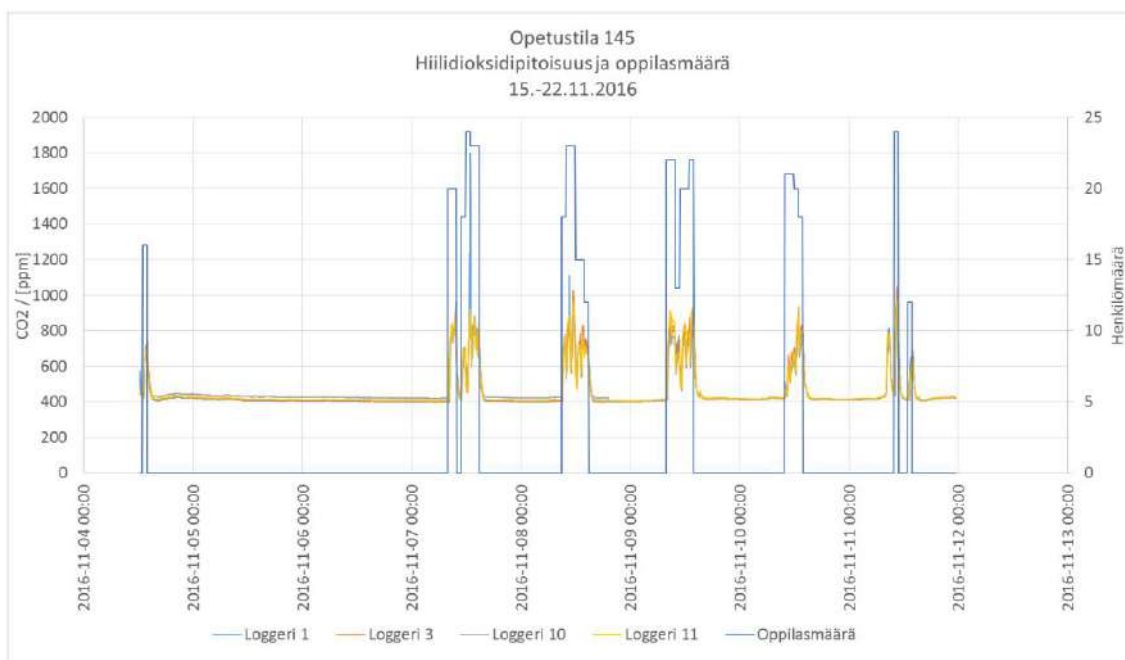
Liite 9

Kohteen 2 opetustilan 3010 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset yhden päivän ajalta



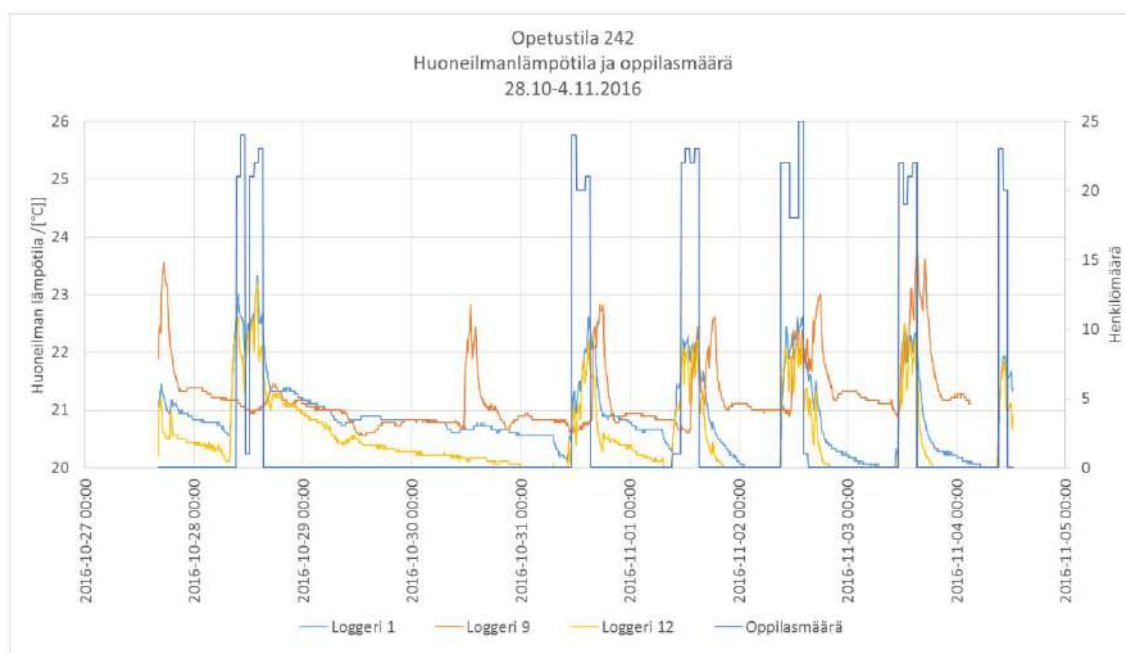
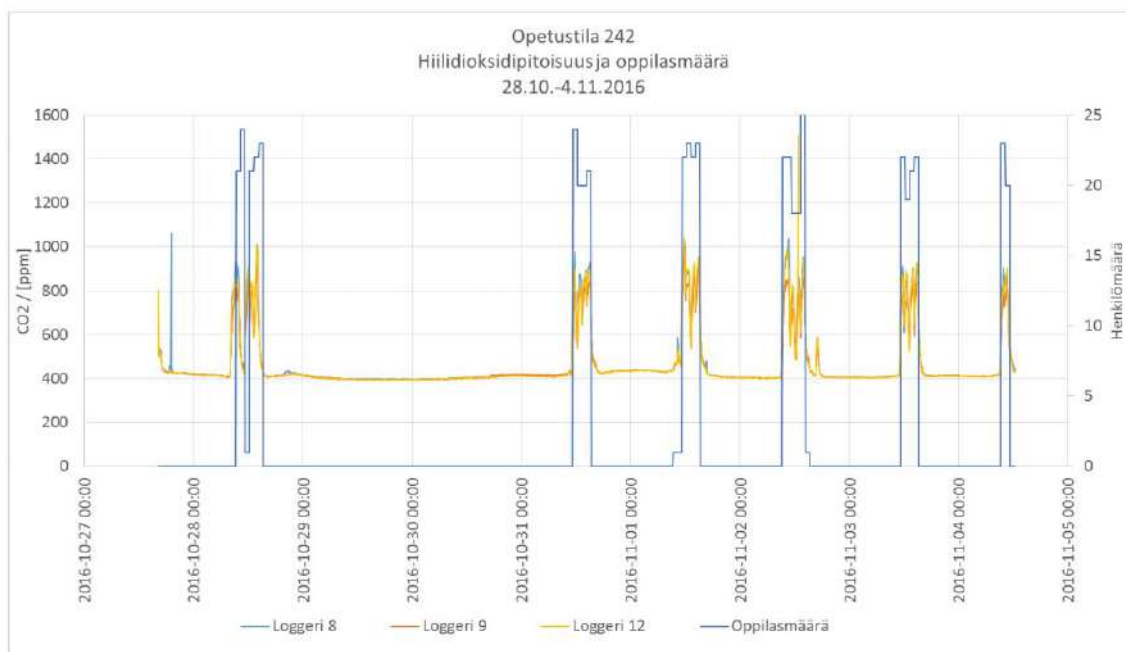
Liite 10

Kohteen 1 opetustilan 145 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta



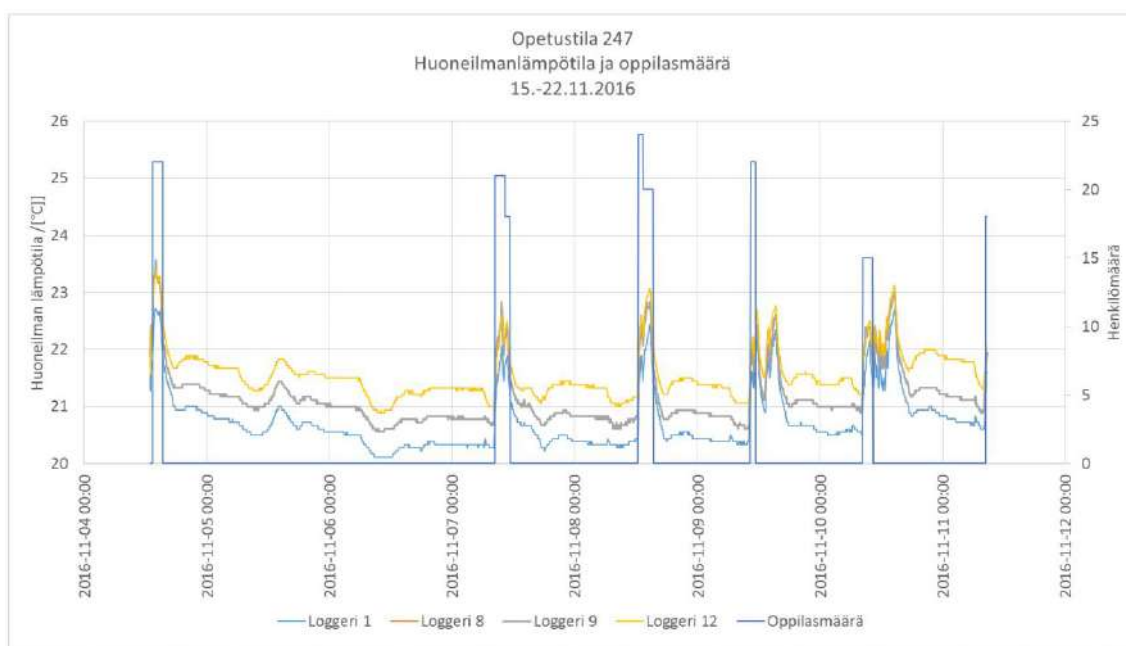
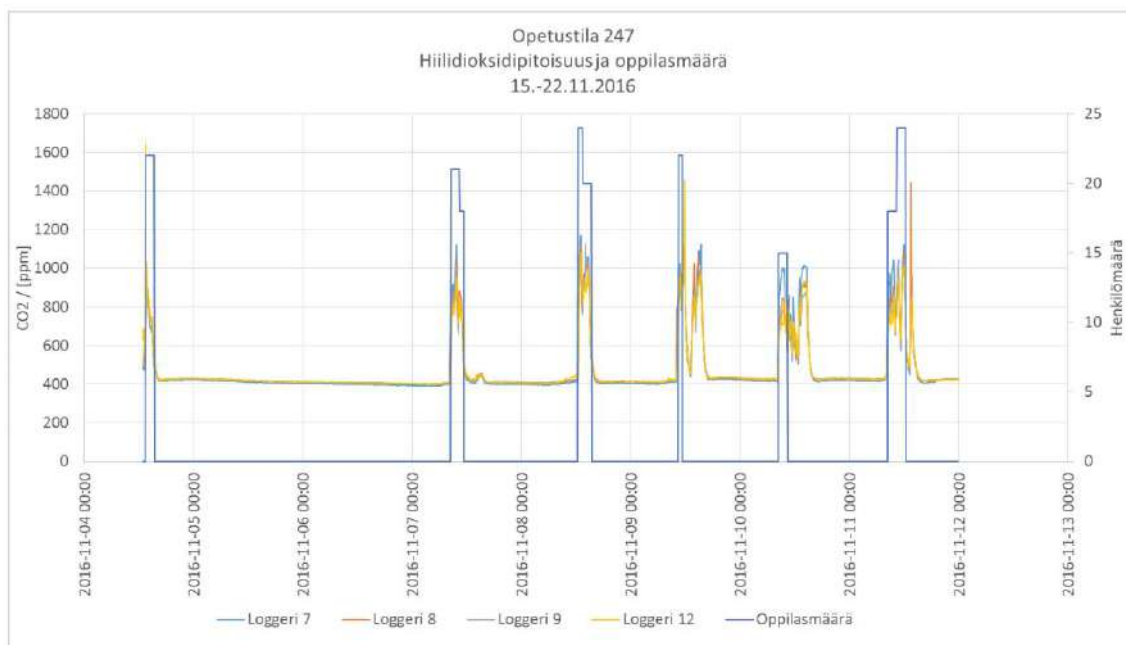
Liite 11

Kohteen 1 opetustilan 242 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta



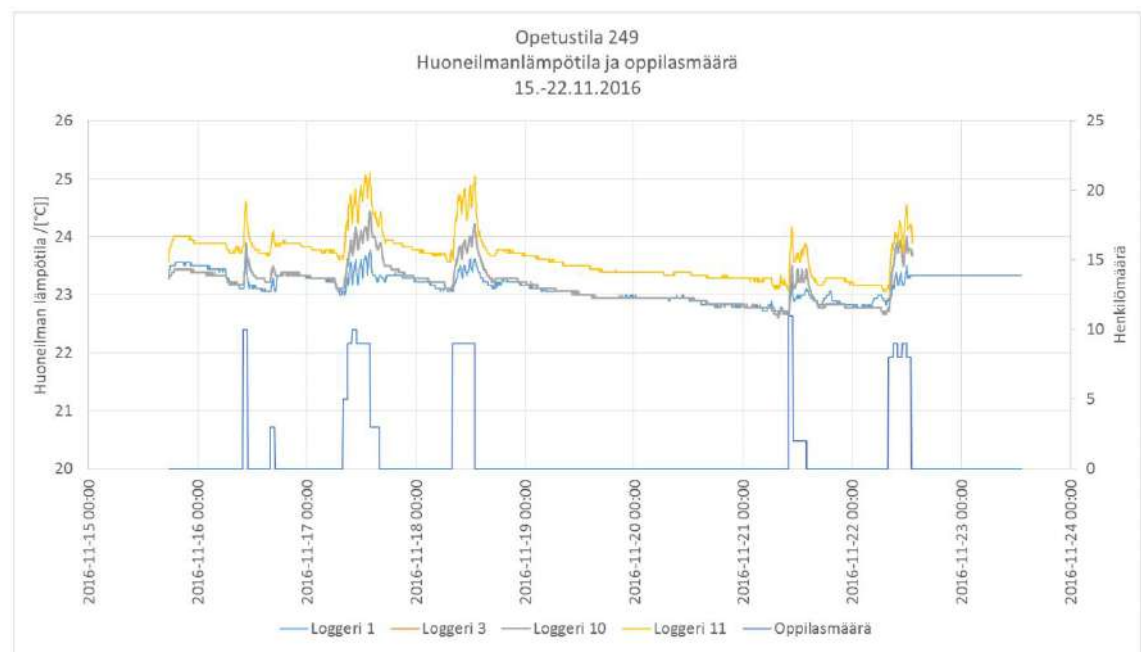
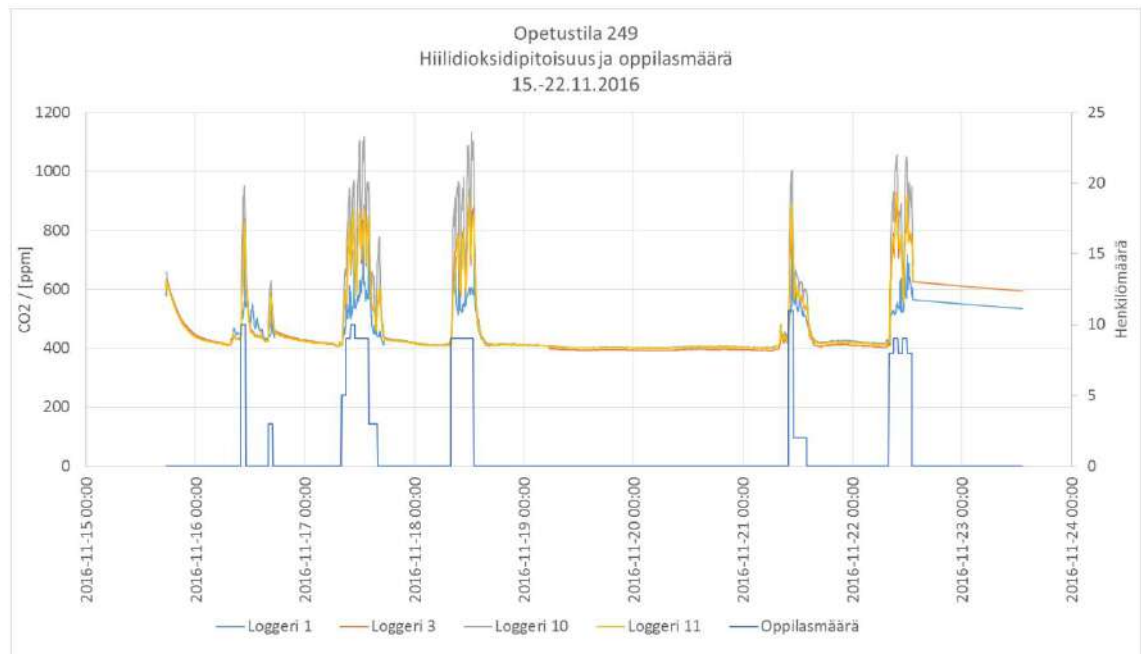
Liite 12

Kohteen 1 opetustilan 247 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta



Liite 13

Kohteen 1 opetustilan 249 olosuhdeseurantajakson mittaustulokset viikon ajalta



Liite 15

Kohteen 2 ilmavirtojen mittauspöytäkirjat

Projekti: IVA-kuntaliikenne		Mittauskeskus: Heikki Kurmi ja Mari Hyödynen				Mittauskeskus: Heikki Kurmi ja Mari Hyödynen				Mittauskeskus: Heikki Kurmi ja Mari Hyödynen						
Kohde: Porilainen peruskoulu		Mittausohjelmien tekijä: Kaisu Mäkeläinen				Mittausohjelmien tekijä: Kaisu Mäkeläinen				Mittausohjelmien tekijä: Kaisu Mäkeläinen						
Ohje: Rahoitusvuosi 2, Helsinki		Tilastointi				Tilastointi				Tilastointi						
Tila	Huonenumero	IV-kone	Tuuletin	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suuntaisuus	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suuntaisuus			
OT	2016	202TK	Zxib6140	Ø=200	4,4	118	263	240	10%	202TK	2xKGGP-200	Ø=200	Ø=200	106	240	7%
OT	2001	216TK	Zxib6140	Ø=200		235	240	-2%	10%	216TK				256	240	7%
OT	2003	216TK	Zxib6140	Ø=200		246	240	3%	216TK					261	240	9%
OT	3001	216TK	Zxib6140	Ø=250	5	240	240	0%	216TK					260	240	8%
OT	3003	216TK	Zxib6140	Ø=250	6,7	240	240	-5%	216TK					248	240	3%
OT	2004	217TK	Zxib6140	Ø=200		250	240	4%	217TK					263	240	10%
OT	2006	217TK	Zxib6140	Ø=200		259	240	8%	217TK					254	240	6%
OT	3004	217TK	Zxib6140	Ø=200		269	240	12%	217TK					265	240	10%
OT	3006	217TK	Zxib6140	Ø=200		262	240	9%	217TK					257	240	7%

Projekti: IVA-kuntaliikenne		Mittauskeskus: Heikki Kurmi ja Mari Hyödynen				Mittauskeskus: Heikki Kurmi ja Mari Hyödynen				Mittauskeskus: Heikki Kurmi ja Mari Hyödynen					
Kohde: Porilainen peruskoulu		Mittausohjelmien tekijä: Kaisu Mäkeläinen				Mittausohjelmien tekijä: Kaisu Mäkeläinen				Mittausohjelmien tekijä: Kaisu Mäkeläinen					
Ohje: Rahoitusvuosi 2, Helsinki		Tilastointi				Tilastointi				Tilastointi					
Tila	Huonenumero	IV-kone	Tuuletin	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suuntaisuus	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suuntaisuus		
OT	2016	202TK	Zxib6140	Ø=200	2,7	84	132	18%	202TK	2xKGGP-200	Ø=200	Ø=200	82	132	16%
OT	2003	216TK	Zxib6140	Ø=200		156	132	18%	216TK				154	132	16%
OT	3001	216TK	Zxib6140	Ø=250	3,1	155	132	17%	216TK				150	132	14%
OT	2006	217TK	Zxib6140	Ø=200		146	132	11%	217TK				149	132	13%
OT	3004	217TK	Zxib6140	Ø=200		148	132	12%	217TK				153	132	16%
OT	3006	217TK	Zxib6140	Ø=200		157	132	15%	217TK				143	132	8%

Liite 15

Kohteen 2 ilmavirtojen mittauspöytäkirjat

Projekti: Kohde: Osoite:	Tila-kuntauutuksena Perustuksen peruskatola Ruhosuoretie 2, Helsinki			Mittausten suorittajat: Mittauspöytäkirjan tekijät:			Mittaus: Acubalance E180			Päi Päi				
	Yritys	Tuotteenmalli	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suositeltuna dm ³ /s	Mittaus / suoritettiin	Yritys	Postinumero	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suositeltuna dm ³ /s	Mittaus / suoritettiin
P R O J E K T I : K O H D E: O S O I T E:	Tila													
	OT	2007	218TK		253	240	5%	218TK				259	240	8%
	OT	2009	218TK		251	240	5%	218TK				248	240	3%
	OT	3007	218TK	4,6	224	240	-7%	218TK	4-250		4,6	226	240	-6%
	OT	3009	218TK	5,6	280	240	17%	218TK	4-250		5,2	254	240	6%
	OT	2010	218TK		246	240	-2%	218TK				270	240	13%
	OT	2012	218TK		255	240	6%	218TK				244	240	2%
OT	3010	218TK	4,7	231	240	-4%	218TK	4-250		5,4	265	240	10%	
OT	3012	218TK	4,2	211	240	-13%	218TK	4-250		6	293	240	22%	
Projekti: Kohde: Osoite:	Tila-kuntauutuksena Perustuksen peruskatola Ruhosuoretie 2, Helsinki			Mittausten suorittajat: Mittauspöytäkirjan tekijät:			Mittaus: Acubalance E180			Päi Päi				
Yritys	Tuotteenmalli	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suositeltuna dm ³ /s	Mittaus / suoritettiin	Yritys	Postinumero	Kanavakoko	Ilman nopeus, m/s	Ilmavirta mitattu dm ³ /s	Ilmavirta suositeltuna dm ³ /s	Mittaus / suoritettiin	
P R O J E K T I : K O H D E: O S O I T E:	Tila													
	OT	2009	218TK		145	132	10%	218TK				160	132	21%
	OT	3007	218TK	3,3	162	132	23%	218TK	4-250		3,2	158	132	20%
	OT	2012	218TK		153	132	14%	218TK				153	132	16%
	OT	3010	218TK	3	145	132	10%	218TK	4-250		3,2	158	132	20%
OT	3012	218TK	2,9	144	132	9%	218TK	4-250		3,3	161	132	22%	

Liite 15

Kohteen 2 ilmavirtojen mittauspöytäkirjat

Projektin kuvaus		Mittauksen suorittaja		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
RVA-kuntotutkimus		Kaisa Mäkeläinen ja Olli Laakkonen		Kaisa Mäkeläinen		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Pöytäalustan peruskatolu		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Rohsuvoimien 2, Helsinki		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Tilanne		Tilanne		Tilanne		Tilanne		Tilanne		Tilanne		Tilanne	
Tila	Huonenumero	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suunniteltu	Mittaus / suunniteltu
Ulkuntuuli	1120	220TK	220TK	296	250	16 %	220TK	250	243	250	250	-3 %	
Käytävä	2041	220TK	220TK	337	120	81 %	220TK	120	209	120	120	114 %	
OT	2049	220TK	220TK	258	260	1 %	220TK	260	282	260	260	8 %	
OT	2050	220TK	220TK	277	260	7 %	220TK	260	274	260	260	5 %	
OT	2051	220TK	220TK	158	260	24 %	220TK	260	243	260	260	-7 %	
OT/Pienvyöry	2052	220TK	220TK	118	120	-3 %	220TK	120	129	120	120	8 %	
100 %													
Projektin kuvaus		Mittauksen suorittaja		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
RVA-kuntotutkimus		Kaisa Mäkeläinen ja Olli Laakkonen		Kaisa Mäkeläinen		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Pöytäalustan peruskatolu		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Rohsuvoimien 2, Helsinki		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Tila	Huonenumero	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suunniteltu	Mittaus / suunniteltu
Ulkuntuuli	1120	220TK	220TK	159	148	7 %	220TK	148	182	148	148	23 %	
Käytävä	2041	220TK	220TK	191	200	-5 %	220TK	200	131	200	200	-15 %	
OT	2049	220TK	220TK	149	152	-2 %	220TK	152	230	152	152	51 %	
OT	2050	220TK	220TK	108	152	30 %	220TK	152	181	152	152	6 %	
OT	2051	220TK	220TK	113	152	28 %	220TK	152	173	152	152	14 %	
OT/Pienvyöry	2052	220TK	220TK	94	84	12 %	220TK	84	87	84	84	4 %	
80 %													
Projektin kuvaus		Mittauksen suorittaja		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
RVA-kuntotutkimus		Kaisa Mäkeläinen ja Olli Laakkonen		Kaisa Mäkeläinen		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Pöytäalustan peruskatolu		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Rohsuvoimien 2, Helsinki		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittauspöytäkirjan tekijä		Mittarit		Accubalance E880		Pa		Pa	
Tila	Huonenumero	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Ilman nopeus, m/s	Mittaus / suunniteltu	Mittaus / suunniteltu
Ulkuntuuli	218TK	220TK	220TK	548,0	528,0	1000	8 %	1076	492	1000	1000	1 %	
217TK	8,4	220TK	220TK	1047	1000	5 %	220TK	1000	244	1000	1000	11 %	
218TK	4,0	220TK	220TK	564	566	1000	6 %	1064	703	1000	1000	11 %	
219TK	3,5	220TK	220TK	450	435	1000	-10 %	905	604	1000	1000	6 %	
220TK	4,9	220TK	220TK	1484	1600	1600	8 %	1380	1600	1600	1600	-14 %	
Käytävä ja Olli Laakkonen													