



## Sisäilma 2020

Hyvän sisäilman tekijöitä kouluissa ja päiväkodeissa

T Ojanen | T Vesanen | L Kannari | K Piira |  
H Biström | E Nykänen | M Tuomainen |  
H Naumi | T Lumme | M Melender | E Vene |  
P Markkanen | J Åberg | J Mattila

# Sisäilma 2020

## Hyvän sisäilman tekijöitä kouluissa ja päiväkodeissa

---

Tuomo Ojanen, Teemu Vesanen, Lotta Kannari, Kalevi Piira, Henri Biström, Esa Nykänen

VTT

Marianna Tuomainen

Helsingin kaupunki

Heli Naumi, Tiina Lumme, Mikko Melender, Elisa Vene

Espoon kaupunki

Piia Markkanen, Jaana Åberg, Jari Mattila

Vantaan kaupunki

ISBN 978-951-38-8748-3

VTT Technology 388

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)

DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T388

Copyright © VTT 2021

JULKAISIJA – PUBLISHER

VTT

PL 1000

02044 VTT

Puh. 020 722 111

<https://www.vtt.fi>

VTT

P.O. Box 1000

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111

<https://www.vttresearch.com>

## Esipuhe

Espoon kaupunginvaltuusto asetti vuonna 2017 Tilapalvelut-liikelaitokselle valtuustokauden tavoitteeksi Koulut kuntoon -ohjelman. Ohjelmaan sisältyvä vaativin tavoite oli hätäväistöt nolla.

Koulujen ja päiväkotien sisäilmaolosuhteet ja niissä esiintyneet ongelmat ovat olleet lähes kaikissa kaupungeissa ja kunnissa ajankohtainen aihe jo useita vuosia. Ymmärsimme, että ilman hyvää yhteistyötä ja muiden toimijoiden asiantuntemusta ja tukea, emme tule tavoitteista selviämään. Kaupunkien sisäilmaverkosto perustettiinkin pääkaupunkiseudun kaupunkien yhteistyössä vuoden 2017 lopussa kehittämään toimintamalleja ja ratkaisuja sille, miten sisäilmaongelmien määrä saataisiin vähenemään. Kaupunkien yhteistyö onkin ollut aktiivista ja mukaan olemme saaneet merkittäviä kumppaneita kuten esimerkiksi Sisäilmayhdistys ry:n. Koulut kuntoon -ohjelman ensimmäisen valtuustokausi on ohitse mutta ohjelman toteuttaminen jatkuu myös tulevilla valtuustokaudella. Vielä on paljon ratkaistavaa.

Espoo, Helsinki ja Vantaa osallistuvat tähän Sisäilma 2020 hankkeeseen, joka on luonnollinen jatko VTT-yhteistyölle 2019 päättyneen Smart&Clean sisäilmahankkeen jälkeen. Tämä Sisäilma-2020 painottuu käyttäjiltä saatujen palautteiden käsittelyyn. Palautteita verrattiin pilottikohteisiin asetetuista olosuhdemittareista ja automaatiojärjestelmistä saatuihin tuloksiin.

Tilojen loppukäyttäjät ovat tärkein tiedon lähde silloin kun halutaan selvittää tilojen olosuhteita ja vaikutusta toimintaan. Yhteistyö tilojen käyttäjien ja ylläpidon kesken on oltava avointa ja reaaliaikaista. Ennakoivaan kiinteistönhoitoon siirtymisessä tärkeää on myös kohteiden kunnon selvittäminen asiantuntevien tahojen tekemillä kuntoarvioilla. Kuntoarvioiden pohjalta laadittujen korjaussuunnitelmien tavoitteena on ratkaista mahdollisesti nousevat ongelmat jo ennen niiden kriisiytymistä. Tätä kaikkea olemme hyvällä yhteistyöllä yrittäneet edistää.

Kiitän kaikkia hyvästä yhteistyöstä

Maija Lehtinen  
Toimitusjohtaja  
Espoon kaupunki / Tilapalvelut-liikelaitos

# Sisältö

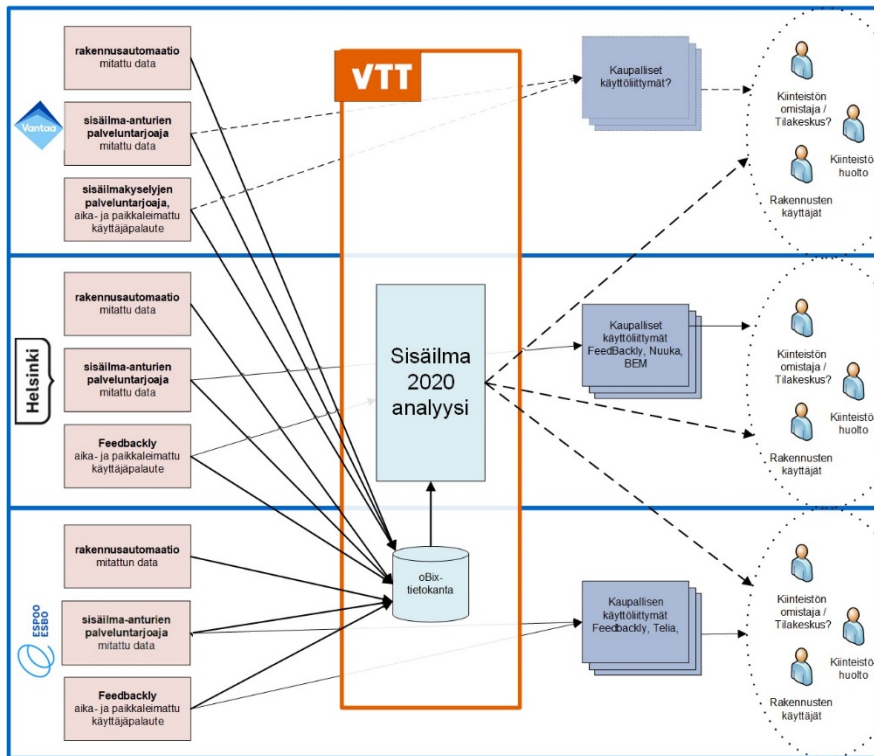
<b>Esipuhe</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Johdanto</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Tausta</b> .....	<b>8</b>
2.1 Sisäilma ja sisäilmaluokitus.....	9
2.2 Sisäilmaprojekteista .....	9
2.3 Projektin tavoitteet.....	9
<b>3. Datan kerääminen, -siirto ja -käsittely</b> .....	<b>11</b>
3.1 Datan kerääminen ja siirto.....	11
3.1.1 Säädata.....	11
3.1.2 Palautelaitteet .....	12
3.1.3 Mittaukset.....	15
3.1.4 Helsinki .....	15
3.1.5 Espoo.....	16
3.2 Datan esikäsittely .....	16
3.2.1 Mittausten ja palautedatan yhdistäminen .....	16
3.2.2 Korrelaatiomatriisien data .....	19
<b>4. Helsingin sisäilmakohteet</b> .....	<b>22</b>
4.1 Kaisaniemen alakoulu .....	23
4.1.1 Mittausjaksot .....	25
4.1.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan .....	26
4.1.3 Ohjeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutus koettuihin olosuhteisiin .	37
4.1.4 Johtopäätöksiä Kaisaniemen alakoulun seurannasta .....	45
4.2 Meritalo .....	46
4.2.1 Mittausjaksot .....	47
4.2.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan .....	48
4.2.3 Johtopäätöksiä Meritalon seurannasta.....	63
<b>5. Espoon sisäilmakohteet</b> .....	<b>65</b>
5.1 Tapiolan koulu ja lukio.....	68
5.1.1 Mittausjaksot .....	69
5.1.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan .....	69
5.1.3 Johtopäätöksiä.....	91
5.2 Vanttilan päiväkoti .....	93
5.2.1 Mittausjaksot .....	94
5.2.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan .....	94
5.2.3 Johtopäätöksiä.....	114
<b>6. Tulosten tarkastelua Helsinki ja Espoo</b> .....	<b>116</b>
6.1 Käyttäjäpalaute .....	116
6.2 Sensoridata .....	119

6.3	Taloautomaatiodata.....	119
6.4	Yleisiä havaintoja .....	119
<b>7.</b>	<b>Vantaan sisäilmakohteet .....</b>	<b>121</b>
7.1	Kohteiden valinta.....	121
7.2	Datan kerääminen .....	121
7.2.1	Mittausdata .....	121
7.2.2	Käyttäjäpalaute .....	122
7.3	Tulokset.....	123
7.3.1	Mittausdata .....	124
7.3.2	Käyttäjäpalaute .....	126
7.4	Johtopäätökset.....	127
7.5	Tulosten hyödynnettävyys ja jatkokehitystarpeet .....	128
<b>8.</b>	<b>Pohdintaa.....</b>	<b>130</b>
	<b>Kirjallisuusviitteet .....</b>	<b>134</b>

# 1. Johdanto

Sisäilman ja yleisemmin sisäolosuhteiden tuottaminen rakennukseen on tekninen haaste, jolle on olemassa kriteerit suunnittelun lähtökohdaksi. Käytännössä eteen tulee haasteita joko toteutuksessa tai ylläpidossa alati muuttuvissa olosuhteissa esimerkiksi käyttäjämäärän vaihdellessa paljon. Tilojen loppukäyttäjä on se osapuoli, jonka vuoksi sisäilmaa tuotetaan. Loppukäyttäjä ja on myös osapuoli, jonka mielenkiinto on ensiarvoisen tärkeä, kun pyritään ylläpitämään hyviä sisäolosuhteita.

Tässä projektissa jatkettiin sitä mikä aloitettiin Smart&Clean sisäilmaprojektissa /<https://www.smartcleansisailma.fi/>. Tavoitteena oli kerätä enemmän dataa ja päästä näin mallintamaan paremmin. Alla olevassa kuvassa on yksinkertaistettuna jo Smart& Clean -hankkeessa esitetty kokonaiskuvan pohjalle kuvattu tämän sisäilma2020 projektin kokonaisuus. Tutkimuksen rahoittajina olivat sekä Helsinki että Espoo VTT omarahoituksen lisäksi. Tämän lisäksi Helsinki, Espoo ja Vantaa osallistuivat projektiin omalla työllä.



Kuva 1. Sisäilma2020 projektin kokonaisuus yksinkertaistettuna.

Käytännössä dataa saatiin tarpeeksi karkeaan mallintamiseen mutta ei kuitenkaan siinä määrin että esimerkiksi vuodenaikojä ja voisi erottaa toisistaan. Kaikki tässä raportissa esitetyt tulokset on luotu koko vuoden mittausjaksolla.

Tutkimus on saatu vietyä läpi poikkeuksellisesta vuodesta huolimatta ja siitä kuuluu kiitos kaikille projektiin osallistuneille. Tutkimukseen oli valittu useampia kohteita, mutta lopulta tähän raporttiin saatiin neljä erityyppistä kohdetta: päiväkotia (Espoo), alakoulu (Helsinki), ammattiopisto (Helsinki) sekä koulu ja lukio (Espoo). Kaikissa kohteissa on identtinen palautejärjestelmä, jossa kysely perustuu sisäilmatuoluokituksen jaotteluun. Näiden kysymysten lisäksi kysyttiin koettua työ- tai oppimiskykyä. Kyselyssä käytettiin pääosin symmetrisiä Likert -asteikkoja, joita verrattiin sekä toisiinsa että mittausdataan samalla ajanhetkellä. Mittausdatana käytettiin joko taloautomaatiojärjestelmän antureiden dataa tai erillisten antureiden dataa.

Vantaan kaupunki teki itsenäistä työtä omissa kohteissaan. Tarkastelun kohteena oli lopuksi yhteensä 11 eri päiväkotia ja koulua, joissa kaikissa mittausjakso oli 1.1.–14.12.2020. Vantaan kohteissa COVID vaikutti luonnollisesti rajoitusten takia oppilasmääriin ja tätä kautta palautemääriin. Vantaan kohteissa käytettiin erillisten antureiden mittausdataa sekä palautekyselyä. Vantaan palautekysely ei ollut identtinen Helsingin ja Espoon palautekyselyn kanssa. Kyselyssä on esimerkiksi vastausvaihtoehtoista "sopiva" ensimmäisenä eikä ole siis verrattavissa perinteiseen Likert asteikkoon. Tästä syystä Vantaan tuloksia ei voi eikä tule verrata Helsingin ja Espoon palautteisiin. Vantaan kaupungin osallistujat ovat kirjoittaneet Vantaan tutkimusosion kappaleessa 7.

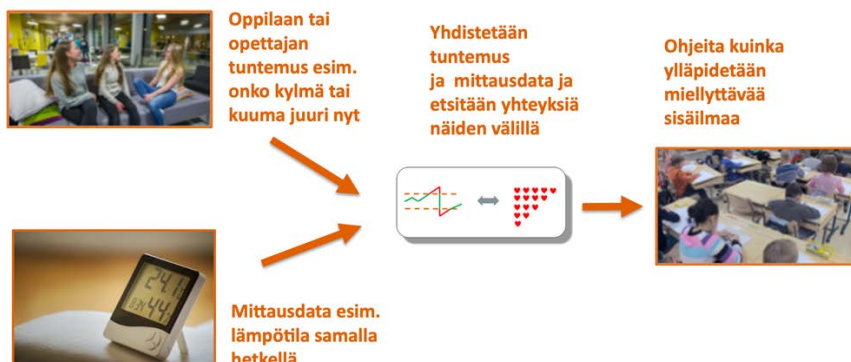


## 2. Tausta

Tässä projektissa jatkettiin työtä, joka aloitettiin Smart & Clean -sisäilmaltaan laadukkaat ja kustannustehokkaat tilat-projektissa. Siinä merkittävä osa ajasta meni hankintaprosessien sekä palauteprosessin kehittämiseen ja sensoridatan perustointojen varmistamiseen.

Projektissa lähtökohtana oli tarve kriteeristölle, joka määrittelee sisäolosuhteet, joissa tilan käyttäjällä on hyvä olla. Palautedatata tarvitaan sekä ajallisesti (kaikki vuodenaajat) että määrällisesti paljon, jotta palautteesta saadaan tehtyä luotettavasti jakaumia, joita voi analysoida.

Käytännössä tarve on ohjata asioita tyytyväisyydellä eli tiedolla siitä, milloin käyttäjillä on hyvä olla. Käyttäjäpalautteesta osa jakaumaa on ns. tyytyväisyyden osuus, jota verrataan mittausdatan fysikaalisiin suureisiin. Tässä siis päästään eteenpäin nykyisestä tavasta, joka pyrkii suunnittelussa esitettyjen olosuhteiden pysyvyyteen.



**Kuva 2.** Käyttäjän tuntemuksen ja mittauksen yhdistäminen.

Tutkimuksen lähtökohtana oli eri järjestelmistä tulevan datan kerääminen yhdistettäväksi analyysiä varten eikä järjestelmien erilaisuus ollut yllätys. Käytännössä kuitenkin datan siirtoon sekä esikäsittelyyn meni vielä enemmän aikaa kuin oli suunniteltu. Lisäksi vuoden aikana tuli monesti esiin, ettei järjestelmissä ole toimivuuden varmistusta kuten esimerkiksi anturin patterin loppuminen ei aiheuta automaattisesti korjaustoimenpiteitä. Mikäli kysymyksessä olisi järjestelmä, jonka säätö olisi riippuvainen anturin datasta voisi tällaisesta seurata virhetilanne ja esimerkiksi virheellinen säätö. Onneksi tässä tapauksessa anturit olivat toiminnan kannalta ylimääräisiä. Vastaavasti taloautomaatioon kytkettyjen antureiden toiminta ja paikka ei ollut aina ilman lisäselvityksiä tiedossa eikä esimerkiksi anturien tarkkuudesta ja kalibroinnista ollut varmaa tietoa. Osin edellä olevista syistä sekä käytössä olevan datan rajallisuuden vuoksi ei eri muuttujien kombinaatioita yritetty laajemmin analysoida vaan tehdyt vertailut ovat suoraviivaisia kahden eri muuttujan vertailuja.

## 2.1 Sisäilma ja sisäilmaluokitus

Sisäilmastoluokitus (Sisäilmastoluokitus 2018) esittää sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Se on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitusta voidaan käyttää uudisrakentamisen lisäksi soveltuvin osin myös korjausrakentamisessa. Luokitus nimensä mukaisesti esittää luokat ja niihin raja-arvoja eri suureille kuten lämpötila, CO<sub>2</sub> tai korvausilmamäärä. Erikoisuunnittelijoiden tehtävänä on suunnitella tekniset ratkaisut, jotka toteuttavat vaaditut arvot.

## 2.2 Sisäilmaprojekteista

Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER, 2017) yhteenvetoraportissa luetellaan laajasti suosituksia ja tutkimustarpeita, jotka liittyvät sisäilmaan (esimerkiksi ennakoiva kiinteistönpitoon, tiedonkeruuseen ja terveyteen liittyviä).

Tällä hetkellä sisäilmaan liittyviä projekteja on AVATER raportin jälkeen käynnissä niin kunnilla, työterveyslaitoksella kuin muillakin suurilla toimijoilla.

Valtioneuvostolla on käynnissä yli hallituskausien ulottuva Terveet Tilat 2028 hanke, josta esimerkiksi tuloksena terveet tilat toimintamalli kunnille esitetty vuonna 2020 jossa esitetään muun muassa se, että käyttäjille olisi annettava säännöllisesti tilaisuus palautteen antoon.

Smart & Clean -sisäilmaltaan laadukkaat ja kustannustehokkaat tilat -projektin loppuraportissa todetaan että "...kiinnostavin asia sekä suurin haaste on käyttäjien palautteen kerääminen ja sen yhdistäminen mittaustietoon "

## 2.3 Projektin tavoitteet

Projektille asetettiin tavoitteita seuraavasti

- Jatkaa mittaus- ja palautetietojen keräämistä sekä saada varmuus mittausdatan luotettavuudelle (esim. kalibrointi, aikaleimat, selitys poikkeamille)
- Yhdistää mittaus- ja palautetietojen, että tuloksia voidaan käsitellä ja mallintaa
- Luoda mallien pohjalta kriteereitä kuvaamaan sisäilman tilaa, jossa ihmisellä on hyvä olla
- Demonstroida yksinkertaista visuaalista käyttöliittymää tutkimuksen tulosten esittämiseksi. (Käyttöliittymän kehittäminen sinänsä on kaupunkikohtainen, eikä kuulu tämän projektin kokonaisuuteen)
- Tuottaa materiaalia viestinnän tueksi eri käyttäjäryhmille

Käytännössä koko projekti toteutettiin COVID19 rajoitusten vallitessa siten, että esimerkiksi kaikki kokoukset VTT, Espoo ja Helsinki välillä olivat etäkokouksia. Kaupunkien osallistajat huolehtivat kaikista tarpeellisista käynneistä kohteissa.

Tässä raportissa on käsitelty VTT:n käsittelemänä Espoon ja Helsingin dataa koska niiden palautejärjestelmä ja kysymykset ovat identtisiä. Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoitus yhdistää eri rakennusten data ja tehdä myös rakennuksista riippumattomia analyyseja, mutta datan rajallisuuden vuoksi tästä luovuttiin kuten eri vuodenaikojenkin analyyseista. Helsingin ja Espoon kohteisiin liittyvä tutkimus on esitetty kappaleissa 3...6.

Vantaan kaupunki toimi projektissa itsenäisesti jatkaen kohdekohtaista seuranta-aikaisemmin hankkimiensa puitesopimusten mukaisilla mittaus- ja palautejärjestelmillä. Tavoitteena oli pystyä reagoimaan sisäilman olosuhdepoikkeamiin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa seurannan antaman tiedon perusteella ja sitä kautta saavuttaa terveydellistä ja taloudellista hyötyä. Mitatun ja koetun olosuhdetiedon korrelaatioita selvitettiin ansiokkaasti erillisessä kandidaattityössä vuoden 2019 aikana Vantaan kohteista kerätystä datasta (Harinen, 2020). Vantaan kaupungin kokonaisuutta käsitellään kappaleessa 7.

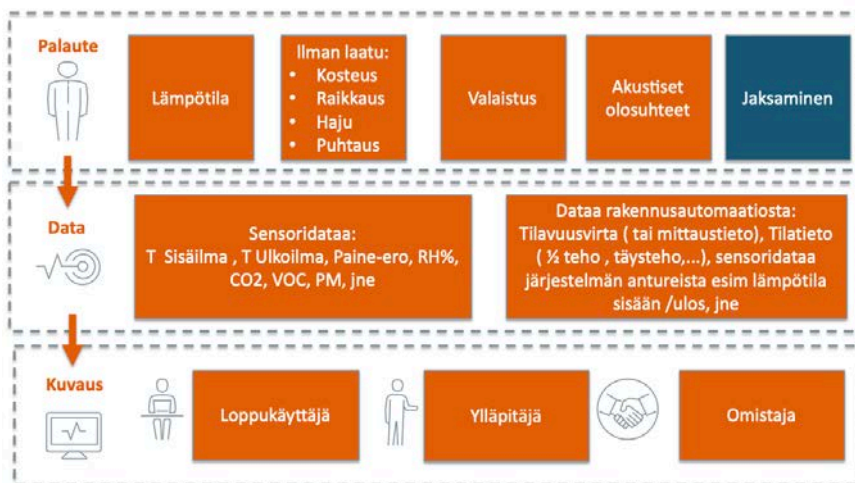
### 3. Datan kerääminen, -siirto ja -käsittely

Datan kerääminen ja siirto on periaatteessa suoraviivainen prosessi. Tässä tapauksessa haluttiin kuitenkin varmistua jokaisesta sensorista ja mittauksen oikeellisuudesta. Käytännössä löydettiin esimerkiksi taloautomaatiosta virheellisiä kytkentöjä ja esimerkiksi lisäantureista pattereita oli loppu.

Datoja tulkittaessa luotettavuus on ensiarvoisen tärkeää, jotta ei tehdä johtopäätöksiä väärin perustein.

#### 3.1 Datan kerääminen ja siirto

Dataa kerättiin tiloittain sekä palautelaitteesta, sensoreista että taloautomaatiojärjestelmästä. Käytännön tavoite on saada jatkossa eri käyttäjäryhmille sopiva näkymä tilanteesta. Esimerkiksi tilan loppukäyttäjille, kuten opettajille, tarvitaan erilainen näkymä kuin kiinteistönhoidolle.



**Kuva 3.** Datan kerääminen palautelaitteista, sensoreista ja taloautomaatiojärjestelmästä eri näkymiin.

##### 3.1.1 Säädata

Säähavaintojen osalta hyödynnettiin ilmatieteen laitoksen avoimen datan verkkopalvelusta haettuja mittauksia (lämpötila, kosteus, haja- ja suorasäteily). Mittaukset eivät ole suoraan oikeista kaupunginosista, mutta valittiin lähimmäksi osuva paikka.

### 3.1.2 Palautelaitteet

Tutkittaviin kohteisiin oli sijoitettu joko palautelaite-tabletti tai QR-koodi, jonka avulla vastaaminen kyselyyn onnistui omalla puhelimella.



**Kuva 4.** Palautelaite.

Käyttäjäpalautte on yleinen tapa kerätä ihmisten kokemaa tai tuntemaa asiaa tai esimerkiksi mielipidettä. Tässä tapauksessa kerätään käyttäjien kokemuksia aikaleimattuna tietylle hetkelle, jolloin se voidaan yhdistää vastaavan anturidataan samassa tilassa samalla hetkellä. Käyttäjäpalautteessa kysytään jonkin esimerkiksi lämpötilan tuntemusta ns. Likert -asteikolla. Tällöin vastausvaihtoehdot ovat symmetrisesti neutraalin vastauksen ympärillä siten että vastaus "kuuma" on yksi ääripää ja "kylmä" on toinen.

Käyttäjäpalautte kerätään samanlaisella jaottelulla kuin sisäilmastoluokitus. Lisäksi viimeisenä kysytään työ- tai oppimiskykyä.

Kysymykset ovat seuraavat:

1. Minkälaiseksi koet opetustilan lämpötilan?
2. Minkälaiseksi koet sisäilman raikkauden?
3. Minkälaiseksi koet sisäilman kosteuden?
4. Minkälaiseksi koet sisäilman hajun?
5. Minkälaiseksi koet sisäilman puhtauden?
6. Minkälainen on huoneen valaistus?
7. Minkälaiseksi koet huoneen äänimaailman eli akustiikan?
8. Minkälaiseksi koet työ- tai oppimiskykyäni opetustilassa?

Alla olevissa taulukoissa esitetään, miten sanalliset vaihtoehdot muutetaan numeraarvoiksi Likert asteikolla.

**Taulukko 1.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilman koetun lämpötilan eri tasoille ja niitä vastaavat numeroarvot.

Määritelmä	Numeroarvo
Kuuma	3
Lämmin	2
Hieman lämmin	1
Sopiva	0
Hieman viileä	-1
Viileä	-2
Kylmä	-3

**Taulukko 2.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilman koetun raikkauden eri tasoille ja niitä vastaavat numeroarvot.

Määritelmä	Numeroarvo
Raikas	2
Melko raikas	1
Ei raikas eikä tunkkainen	0
Melko tunkkainen	-1
Tunkkainen	-2

**Taulukko 3.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilman koetun kosteuden eri tasoille ja niitä vastaavat numeroarvot.

Määritelmä	Numeroarvo
Kuiva	-2
Melko kuiva	-1
Ei kuiva eikä kostea	0
Melko kostea	1
Kostea	2

**Taulukko 4.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilmassa hajusta. Hajun arvioinnissa oli liukuva asteikko, josta oli määritetty vain ääripäät

Määritelmä	Númeroarvo
Ei hajua	0
Voimakas haju	10

**Taulukko 5.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilmassa puhtaudesta. Puh-  
touden arvioinnissa oli liukuva asteikko, josta oli määritetty vain ääripäät

Määritelmä	Númeroarvo
Ei hiukkasia / pölyisyyttä	0
Paljon hiukkasia / pölyisyyttä	10

**Taulukko 6.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilmassa valaistuksesta eri tasoille ja niitä vastaavat numeroarvot.

Määritelmä	Númeroarvo
Hyvä	2
Melko hyvä	1
Ei hyvä eikä huono	0
Melko huono	-1
Huono	-2

**Taulukko 7.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä sisäilmassa koetusta äänimaa-  
ilmasta eli akustiikasta eri tasoille ja niitä vastaavat numeroarvot.

Määritelmä	Númeroarvo
Hyvä	2
Melko hyvä	1
Ei hyvä eikä huono	0
Melko huono	-1
Huono	-2

**Taulukko 8.** Palautekyselyssä käytetty määritelmä koetusta työ- ja oppimiskyvystä opetustilassa eri tasoille ja niitä vastaavat numeroarvot.

<b>Määritelmä</b>	<b>Numeroarvo</b>
Hyvä	2
Melko hyvä	1
Ei hyvä eikä huono	0
Melko huono	-1
Huono	-2

### **3.1.3 Mittaukset**

#### **3.1.3.1 Telian anturit (Espoo)**

Kohteisiin sijoitetut Telian anturit keräävät mittauksia sisäilman lämpötilasta, kosteudesta, ilmanpaineesta, hiilidioksidipitoisuudesta, VOC:eista, sekä äänenpainetastosta.

#### **3.1.3.2 Nuuka (Helsinki)**

Helsingin mittausdata oli saatavilla Nuukan kautta. Tiloista löytyi vaihtelevasti ainakin seuraavia mittauksia (RAU = rakennusautomaatiosta):

- RAU huoneilman lämpötila
- RAU huoneilman hiilidioksidi
- RAU poistoilmamäärä
- RAU tuloilmamäärä
- lämpötila
- ilmankosteus
- paine-ero vaipan yli
- hiilidioksidipitoisuus
- pienhiukkaspitoisuus PM1.0
- pienhiukkaspitoisuus PM10
- pienhiukkaspitoisuus PM2.5
- tVOC-pitoisuus

### **3.1.4 Helsinki**

Helsingin kohteissa tutkittiin kohteita seuraavasti:

Kaisaniemen alakoulu:

- Tilat numero 124, 136, 215, 217, 318, 319, 404, 408, 506, 509, Nuukan kautta palaute, lisäanturit ja RAU-mittaukset.



Stadin ammattiopisto, Meritalo:

- Tilat numero 144, 235, 241, 328, 338, 434, 540, 544, 628, 0042.  
Nuukan kautta palaute, lisäanturit ja RAU-mittaukset.

### 3.1.5 Espoo

Tapiolan koulun ja lukion tiloissa oli 6 palautelaitetta. Tiloissa: auditorio, liikuntasali, C3, C4, D8 ja D1170. Mittauksia oli tehty Telian antureilla tiloista A5, A7, auditorio, B2, B3, C3, C4, D8, D1170, käytävä ja liikuntasali. Lisäksi palautelaitteellisista tiloista C3, C4 ja D8 löytyi suoraan automaatiojärjestelmistä tallennettuina IV tehosuspeltien säätöviesti, hiilidioksidimittaus, sekä huonelämpötilamittaus.

Vanttilan päiväkotiin oli sijoitettu neljä palautelaitetta. Nämä sijaitsivat tarkkailujakson aikana tiloissa 102, 113, 119 ja 212. Telian antureita oli sijoitettu tiloihin 101, 113, 121, 202, 204, 212, 220 ja 222. Mittaukset ja palautelaitteet eivät kaikilta osin sijainneet samoissa huoneissa, joten vain kahden tilan dataa pystyttiin hyödyntämään.

## 3.2 Datan esikäsittely

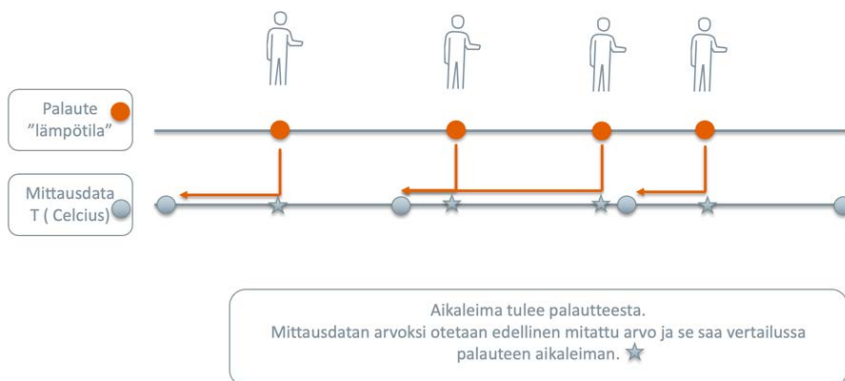
### 3.2.1 Mittausten ja palautetietojen yhdistäminen

Mittausten data kerättiin ohjelmallisesti VTT:n obix tutkimusalustalle (Vesänen et al. 2021). Tietokannasta valittiin haluttuihin tiloihin liittyvistä datapisteistä ja näitä vastaavista palautelaitteiden id:stä ("touchpointId") json muotoon.

```
"start time": "2020-01-20T00:00:00Z",  
"end time": "2020-02-01T00:00:00Z",  
  
"max interval": "PT30M",  
  
"obix lobby": "https://ba.vtt.fi/obixStore/",  
  
"buildings": {  
  "Meritalo": {  
    "Luokka 144": {  
      "touchpointId": "5bd0729216dccbd0e24f832b",  
      "measurements": {  
        "kumpula ulkoilman lämpötila": "store/FMI/101004/t2m/",  
        "kumpula ulkoilman kosteus": "store/FMI/101004/rh/",  
        "kumpula hajasäteily": "store/FMI/101004/DIFF_1MIN/",  
        "kumpula suora säteily": "store/FMI/101004/DIR_1MIN/",  
      }  
    }  
  }  
}
```

**Kuva 5.** Esimerkki datapisteiden määrittelyyn käytetyn json-tiedoston rakenteesta.

Palautteiden ja näitä vastaavien mittauspisteiden yhdistämiseksi tehtiin ohjelma, joka lukee json tiedostoista halutut pisteet ja näitä vastaavat palautteet. Palautelaitteiden data haetaan ohjelmallisesti feedbacklyn api:n kautta, ja vastaavasti mittausdata VTT-tutkimusalueelta (obix). Eri lähteistä tuleva data yhdistetään siten, että jokaiselle palautteelle saadaan mittaukset mahdollisimman läheltä olevalta edeltävältä aikaleimalta (kuva 6 alla). Samalla sanalliset palautteet muutettiin analyysejä varten numeeriseen muotoon alla olevan taulukon mukaisesti. Huomattavaa on, että muutoksen ohjelmointi ei sisältänyt tietoa siitä kuinka pitkällä ennen palauteaikaa sensorin aikaleima oli ennen tätä siirtoa. Tutkimuksessa käytetyt sensorit ja niiden data tarkistettiin kuitenkin huolellisesti, jolla varmistuttiin, että aikaleiman muutos on pienempi kuin mittausväli, joka on tyypillisesti 10 minuuttia jolloin keskiarvo siirrolle on 5 minuuttia.



**Kuva 6.** Periaatekuva datapisteen aikaleiman siirrosta.

**Taulukko 9.** Olosuhdepalautteen muunto numeroarvoiksi.

Vastaus	Kysymykset	Analysissä käytetty arvo
Säädä 0–10	haju, puhtaus	0–10
kylmä	lämpötila	-3
huono	valaistus, akustiikka, työkyky	-2
viileä	lämpötila	-2
kostea	kosteus	-2
tunkkainen	raikkaus	-2
melko huono	valaistus, akustiikka, työkyky	-1
hieman viileä	lämpötila	-1
melko kostea	kosteus	-1
melko tunkkainen	raikkaus	-1
ei hyvä eikä huono	valaistus, akustiikka, työkyky	0
sopiva	lämpötila	0
ei kuiva eikä kostea	kosteus	0
ei raikas eikä tunkkainen	raikkaus	0
melko hyvä	valaistus, akustiikka, työkyky	1
hieman lämmin	lämpötila	1
melko kuiva	kosteus	1
melko raikas	raikkaus	1
melko hyvä	valaistus, akustiikka, työkyky	1
hyvä	valaistus, akustiikka, työkyky	2
lämmin	lämpötila	2
kuiva	kosteus	2
raikas	raikkaus	2
kuuma	lämpötila	3

Ohjelma muodostaa yhdistelemästään datasta excel-tiedoston, joka on perustana projektin analyyseille. Kuvassa 7 tiedostosta on suodatettu esiin rivit, jotka sisältävät palautedataa.

Timestamp (UTC)	Space	Question	Answer	Kaisaniemi ulkoilman lämpötila
25.2.2019 11:07	Luokka	Minkälaiseksi koet opetustilan lämpötilan?	0	7.6
25.2.2019 11:08	Luokka	Minkälaiseksi koet sisäilman raikkauden?	1	7.6
25.2.2019 11:08	Luokka	Minkälaiseksi koet sisäilman kosteuden?	0	7.6
25.2.2019 11:08	Luokka	Minkälaiseksi koet sisäilman hajun?	2	7.6
25.2.2019 11:08	Luokka	Minkälaiseksi koet sisäilman puhtauden?	1	7.6
25.2.2019 11:08	Luokka	Minkäläinen on huoneen valaistus?	2	7.6
25.2.2019 11:09	Luokka	Minkälaiseksi koet huoneen äänimaailman eli	2	7.6
25.2.2019 11:09	Luokka	Minkälaiseksi koet työ- tai oppimiskysyi opet	2	7.6
25.2.2019 11:09	Luokka	Minkälaiseksi koet opetustilan lämpötilan?	0	7.6
25.2.2019 11:09	Luokka	Minkälaiseksi koet sisäilman raikkauden?	-2	7.6
25.2.2019 11:09	Luokka	Minkälaiseksi koet sisäilman kosteuden?	2	7.6

Kuva 7. Palautedata Excelissä.

Kuvassa 7 sanalliset vastaukset on jo muunnettu numeerisiksi taulukon 1 mukaisesti. Sarakkeessa "Answer" olevien palautevastausten oikealla puolella taulukko jatkuu rakennuksesta saatavilla olevien sisäilmamittausten sarakkeilla, joista kuvassa on näkyvillä ulkoilman lämpötila.

### 3.2.2 Korrelaatiomatriisien data

Korrelaatiomatriisien muodostamista varten palautedata piti erottaa vertailtaviksi dataseteiksi. Lähtötilanne oli, että kaikkien palautekysymysten kysymykset olivat yhdessä sarakkeessa ja vastaukset toisessa. Jokaisella kysymysvastausparilla on oma aikaleimansa.

Kuvassa 8 eri kysymykset on erotettu omiksi sarakkeikseen ja alkuperäisen aikaleiman rinnalle on lisätty 10 minuutin tarkkuuteen pyöristetty aika. Uudet sarakkeet on merkitty keltaisella.

Timestamp (UTC)	Pyöristetty aika	Space	Question	Answer	Minkälais eksi koet opetustila n lämpötila	Minkälais eksi koet sisäilman raikkaude	Minkä eksi kr sisäiln koste
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	-1	-1		
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	-1		-1	
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	1			
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	6			
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälainen on hi	2			
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	0			
3.2.2020 13:40	3.2.2020 13:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	-1			
4.2.2020 6:47	4.2.2020 6:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	-2	-2		
4.2.2020 6:47	4.2.2020 6:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	-1		-1	
4.2.2020 6:47	4.2.2020 6:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	1			
4.2.2020 6:47	4.2.2020 6:40	Luokka	Minkälaiseksi koe	4			

Kuva 8. Palautedata Excelissä, uudet sarakkeet keltaisella.

Pyöristettyä aikaa hyödyntämällä eri riveillä olevat eri kysymysten vastaukset saadaan yhdistettyä samalla riville ja eri sarakkeissa olevien datasettien tilastollinen vertailu tulee mahdolliseksi. Teknisesti tämä yhdistäminen on tehty pivot-taulukko toiminnolla, kuva 9. Yhdistämisessä on myös huomioitava, että samalla riville saataisi olla tarjolla useampia arvoja. Jos esimerkiksi lämpötilasta on annettu kaksi palautetta 10 minuutin sisällä, samaan soluun olisi tulossa kaksi arvoa. Tilanteen ratkaisemiseksi tässä käytettiin maksimifunktiota eli vain suurin soluun tulossa olevista arvoista huomioitiin.

Palautearvojen lisäksi taulukossa näkyy myös joitakin mitattujen muuttujien arvoja, joihin palautedataa verrattiin.



## 4. Helsingin sisäilmakohteet

Helsingin sisäilmakohteiksi valittiin kaksi opetusrakennusta, joiden ilmanvaihtojärjestelmä on muuttuvilmavirtainen. Molemmissa rakennuksissa muuttuvilmavirtainen järjestelmä oli toteutettu peruskorjauksessa 2010-luvun puolivälissä. Muuttuvilmavirtaista järjestelmää ohjataan tarpeenmukaisesti opetustilojen lämpötila- ja hiilidioksidipitoisuusmittausten perusteella.

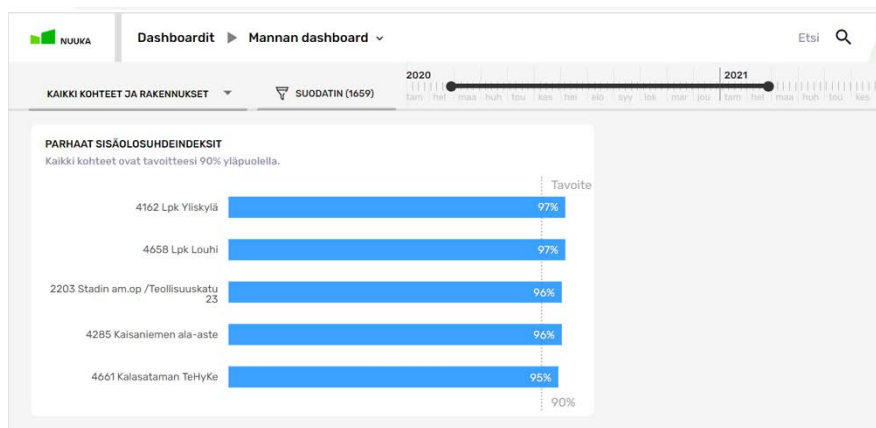
Helsingin kaupunkiympäristön toimialalle on tärkeää saada tietoa siitä, miten hyvin tarpeenmukaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä saavutetaan asetetut sisäilmastotavoitteet sekä miten rakennusten loppukäyttäjät kokevat ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan sekä sisäilmasto-olosuhteet.

Loppukäyttäjät saivat antaa palautetta sisäilmasto-olosuhteista Feedbacklyn palautejärjestelmän kautta. Feedbacklyn palautejärjestelmä otettiin käyttöön, koska Helsingin kaupungin palvelukeskus oli kilpailuttanut asiakaskokemuksen keräämispalvelut vuonna 2018 ja Feedbackly oli voittanut hankinnan. Feedbacklyn järjestelmässä palautetta voidaan antaa jalustalle asennetun tabletin tai mobiilisti älypuhelimella QR-koodin avulla.



**Kuva 10.** Sisäilmasto-olosuhteista annettavaa palautetta varten luotiin kahdeksan-kohtainen kysely, jossa väittämiin vastattiin joko valitsemalla yksi vaihtoehto 5-portaiselta (lämpötilaa koskien 7-portaiselta) asteikolta tai liuku-asteikolla. Kuvassa näkyviä hymynaamoja ei käytetty.

Helsingin kaupunkiympäristön toimialalla on käytössään palvelurakennusten energiankulutus- ja olosuhdeseurantaan Nuuka Solutionsin järjestelmä. Helsingin kahden sisäilmakohteen rakennusautomaatiojärjestelmän datapisteeet liitettiin Nuuka-järjestelmään REST API -tiedonsiirtopalvelun kautta keväällä 2019. Samoin REST API -rajapinnan kautta liitettiin Nuuka-järjestelmään molempiin rakennuksiin asennettujen sisäilmasto-olosuhteita jatkuvatoimisesti mittaavien IoT-antureiden langattomasti siirtyvä mittausdata. Näiden IoT-antureiden tarjoaja on Smartwatcher Oy, joka voitti sisäilmasto-olosuhdeantureiden hankintakilpailun joulukuussa 2018.



Kuva 11. Nuuka-järjestelmän kojetaulu Parhaat sisäolosuhteet.

#### 4.1 Kaisaniemen alakoulu

Kaisaniemen ala-asteen rakentaminen valmistui vuonna 1924. Koulun suunnittelivat arkkitehdit R. Eklund ja E. Flinckenberg. Rakennus edustaa 1920-luvun klassismia. L-muotoinen rakennus sijaitsee osoitteessa Puutarhakatu 1. Opetustiloja on viidessä kerroksessa. Koulun huoneistoala on 3815 m<sup>2</sup>.

Ennen vuosina 2016 ja 2017 toteutettua perusparannusta opetustilojen ilmanvaihto oli painovoimainen. Perusparannuksessa ilmanvaihtokonehuone rakennettiin ullakolle, jossa on kolme opetustiloja palvelevaa tulo- ja poistoilmakonetta sekä keittiötä, ruokalaa, liikuntasalia, teknisen työn tiloja, käytäviä ja WC-tiloja palvelevat ilmanvaihtokoneet, yhteensä 9 ilmanvaihtokonetta. Ilmanjako opetustiloissa on toteutettu sekoittavana pitkillä suutinkanavilla. Opetustilojen ilmavirtojen suuruutta säättävät ilmamääräsäätimet sijaitsevat ullakolla pystykanavissa. Näin niiden huoltavuus on helppo.

Muuttuvilmavirtainen ilmanvaihto (tarpeenmukainen ilmanvaihto) oli suunniteltu siten, että tyypillisen opetustilan ilmanvaihdon suuruus, kun kaikki luokan oppilaat olivat opetustilassa, oli 240 l/s. Kun opetustilassa oli vähemmän oppilaita, ilmanvaihdon määrä saattoi olla 140 l/s. Oppituntien jälkeen oppilaiden ollessa välitunnilla

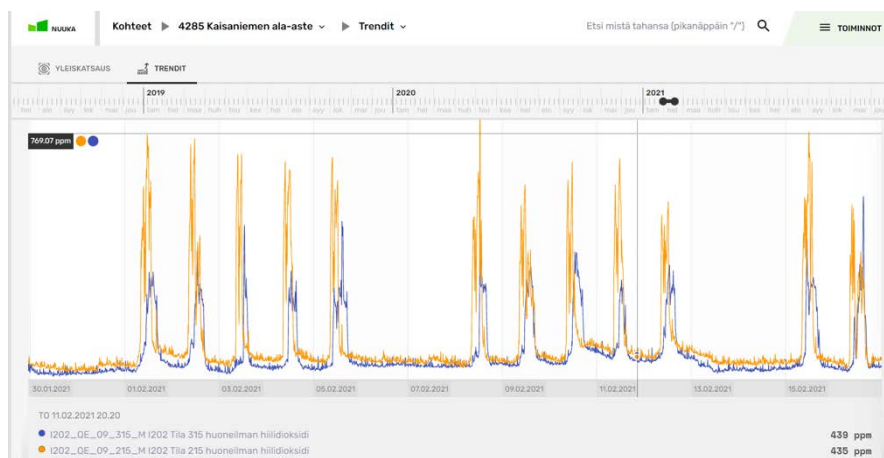


tai lähdettyä kotiin ja esimerkiksi opettajan jäätyä valmistelemaan seuraavan päivän oppitunteja ilmanvaihdon määrä pieneni lämpöolosuhteiden salliessa 80 l/s:aan.

Kuitenkin lämpimänä vuodenaikana huonelämpötilan ollessa yli 22 °C, ilmastäätimet pysyivät auki vaihtaen huoneen ilmaa maksimi-ilmavirralla tai lähes maksimi-ilmavirralla henkilömääristä riippumatta.

Perusparannuksessa opetustilojen välipohjien täytöt koostuen turpeesta, purusta ja hiekasta sekä välipohjien pintarakenteet uusittiin. Tällä varmistettiin, ettei ilmanvaihdon aiheuttamassa mahdollisessa alipainetilanteessa välipohjista kulkeudu epäpuhtauksia sisäilmaan.

Kaisaniemen ala-aste on 1.–6. luokkalaisten koulu, jossa oppilaita on noin 390. Kolmannelta luokka-asteelta lähtien koulussa on musiikin ja nykytanssin painotusluokat.



**Kuva 12.** Kaisaniemen ala-asteen opetustilojen 215 ja 315 hiilidioksidipitoisuudet 1.–16.2.2021.



**Kuva 13.** Kaisaniemen ala-asteen opetustila 319.

#### **4.1.1 Mittausjaksot**

Analysoitavaksi saatiin vuoden 2019 mittaukset ja palautteet. Mittaustietoina voitiin käyttää rakennuksen ilmanvaihdon automaatiojärjestelmän tuottamaa ja seurattaviin tiloihin erikseen asennettujen huoneantureiden antamaa tietoa.

Kaisaniemen alakoulun tilojen käyttäjien vastausaktiivisuus oli erittäin hyvä.

Alla olevassa kuvassa on esitetty 2019 palautekysymysten korrelaatio toisiin palautekysymyksiin. Kuvaa varten vuoden palautetta on käsitelty luvussa 3.2.2 esite-

tyllä tavalla. Kuvassa sinisellä merkitty positiivista korrelaatiota ja vastaavasti punaisella negatiivista korrelaatiota. Kuvassa on näkyvissä karkealla tasolla korrelaatioita, joita käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Max of Minkäläiseksi koet opetustilan lämpötilan?	1,00	0,19	0,29	0,23	0,18	0,17	0,15	0,06	0,15	0,02	0,12	-0,01	-0,02	0,04	0,01
Max of Minkäläiseksi koet sisällmän raikkauuden?	0,19	1,00	0,35	0,10	0,10	0,39	0,41	0,01	0,40	-0,01	0,06	-0,03	-0,07	0,02	0,02
Max of Minkäläiseksi koet sisällmän kosteuden?	0,29	0,35	1,00	0,24	0,23	0,27	0,27	-0,01	0,30	-0,04	0,03	-0,05	-0,09	0,03	-0,01
Max of Minkäläiseksi koet sisällmän hajan?	0,23	0,10	0,24	1,00	0,68	0,14	0,13	0,00	0,15	-0,01	0,08	-0,02	-0,08	0,03	0,00
Max of Minkäläiseksi koet sisällmän puhtauden?	0,18	0,10	0,23	0,68	1,00	0,23	0,20	0,02	0,20	0,02	0,05	-0,03	-0,07	0,02	-0,02
Max of Minkäläiseksi koet työ- tai oppimisyksiyksien valaistus?	0,17	0,39	0,27	0,14	0,23	1,00	0,68	0,00	0,72	-0,01	-0,02	-0,03	-0,10	0,05	0,01
Max of Minkäläiseksi koet huoneen äänimaailman eli akustiikan?	0,15	0,41	0,27	0,13	0,20	0,68	1,00	0,00	0,76	0,00	0,02	-0,04	-0,09	0,04	-0,02
Max of IV huoneilämpötilan mittaus?	0,06	0,01	-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	1,00	0,00	0,48	0,25	0,12	0,48	-0,01	-0,10
Max of Hiilidioksidipitoisuus?	0,15	0,40	0,30	0,15	0,20	0,72	0,76	0,00	1,00	-0,02	0,00	-0,05	-0,10	0,03	-0,01
Max of Pienhiukkaspitoisuus PM2,5?	0,02	-0,01	-0,04	-0,01	0,02	-0,01	0,00	0,48	-0,02	1,00	0,20	0,22	0,60	0,00	-0,19
Max of TVOC-pitoisuus?	0,12	0,06	0,03	0,08	0,05	-0,02	0,02	0,25	0,00	0,20	1,00	-0,01	-0,06	0,15	-0,04
Max of kaisaniemi ulkoilmaston lämpötila?	-0,01	-0,03	-0,05	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04	0,12	-0,05	0,22	-0,01	1,00	0,27	0,00	0,09
Max of kaisaniemi ulkoilmaston kosteus?	-0,02	-0,07	-0,09	-0,08	-0,07	-0,10	-0,09	0,48	-0,10	0,60	-0,06	0,27	1,00	-0,06	-0,14
Max of kaisaniemi ulkoilmaston raikkauten?	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	-0,01	0,03	0,00	0,15	0,00	-0,06	1,00	0,08
Max of kaisaniemi ulkoilmaston lämpötilan?	0,01	0,02	-0,01	0,00	-0,02	0,01	-0,02	-0,10	-0,01	-0,19	-0,04	0,09	-0,14	0,08	1,00

**Kuva 14.** Kaisaniemen alakoulun koko vuoden 2019 palautekysymysten korrelaatiot toisiinsa.

#### 4.1.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan

Seuraavassa esitetään monitoroiduista tiloista vuoden 2019 aikana saatujen palautteiden ja mittausdatan vertailu.

Vertailussa esitetään eri sisäilmatekijöille annettujen palautteiden mukaiset jakaumat eri viihtyisyysluokkiin ja viihtyisyysluokkia vastaavat, palautteen kanssa samaan aikaan tai sitä ennen mitattujen sisällmän olosuhteiden keskiarvot. Esimerkiksi huoneilamittausten lukuväli oli 10 minuuttia, joten keskimääräinen aikaero palautteen annon ja tätä vastaavan mittauksen välillä oli viisi minuuttia. Siten palautteet ja mittausarvot vastaavat riittäväällä tarkkuudella samaa ajanhetkeä.

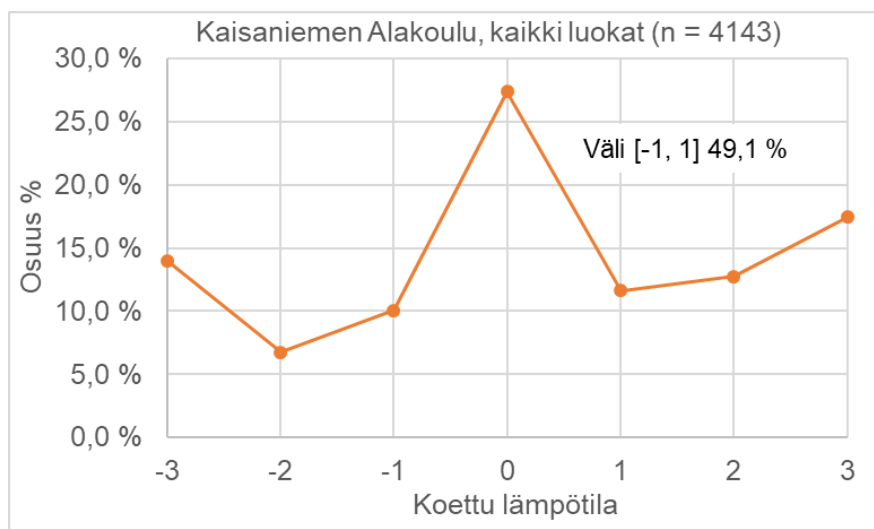
#### Koettu lämpötila

Lämpötila on yksi selkeimmistä sisäympäristön kokemukseen liittyvistä tekijöistä. Lisäksi sen mittaus on suhteellisen helppoa ja mittausulos on yksiselitteinen. Lämpötilakokemukseen vaikuttaa vahvasti vastaajan fysiologiset ominaisuudet ja aktiivisuuden tila. Mittausulos vaikuttaa mittauspaikka ja miten hyvin se vastaa kunkin palautteenantajan olosuhteita. Luokkatilassa lämpötila voi jakautua epätasaisesti riippuen ilmanvaihdesta ja ilman sekoittumisesta, lämmönlähteiden sijainnista, pintojen lämpösäteilystä, jne. Mitattu lämpötila ei myöskään anna kuvaa ilman liikkeestä ja sen mahdollisesti aiheuttamasta vedon tunteesta, mikä kuitenkin ilmenee lämpövihtyisyyden kokemuksena.

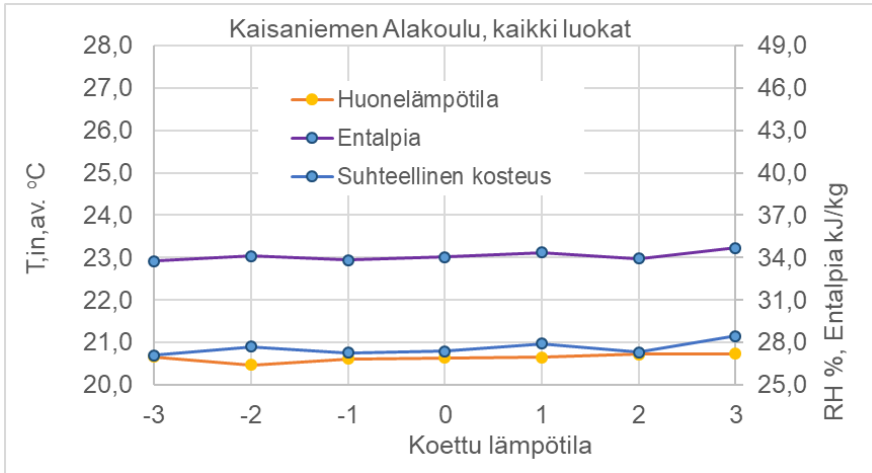
Vuoden 2019 aikana lämpöolosuhteisiin saatiin yli 4000 palautetta. Palautetta antaneista 49 % koki tilojen olevan lämpötiloiltaan viihtyisyysalueella: hieman viileä, sopiva, hieman lämmin [-1, 1] (kuva 15).

Koska lämpötila - ja sisäilman kosteusolot olivat keskimäärin jokseenkin vakiot, ei näiden perusteella voitu muodostaa riippuvuutta koettujen lämpöolojen ja mitattujen olosuhteiden välille (kuva 16). Keskimääräinen tilojen lämpötila oli eri koke-  
mustasoilla lähes vakio, 20,4 °C ja 20,8 °C välillä, samoin suhteellinen kosteus pysyi keskimäärin alhaisena. Näistä laskettu sisäilman entalpia oli myös jokseenkin vakio eri palautetasoilla. Mittaustulokset osoittavat mm. sen, että tilojen ilmanvaihto toimii tehokkaasti.

Myöskään muiden tekijöiden (CO<sub>2</sub>, TVOC, jne.) kanssa koetulla lämpötilalla ei ollut riippuvuuksia, eikä näitä siten esitetä.



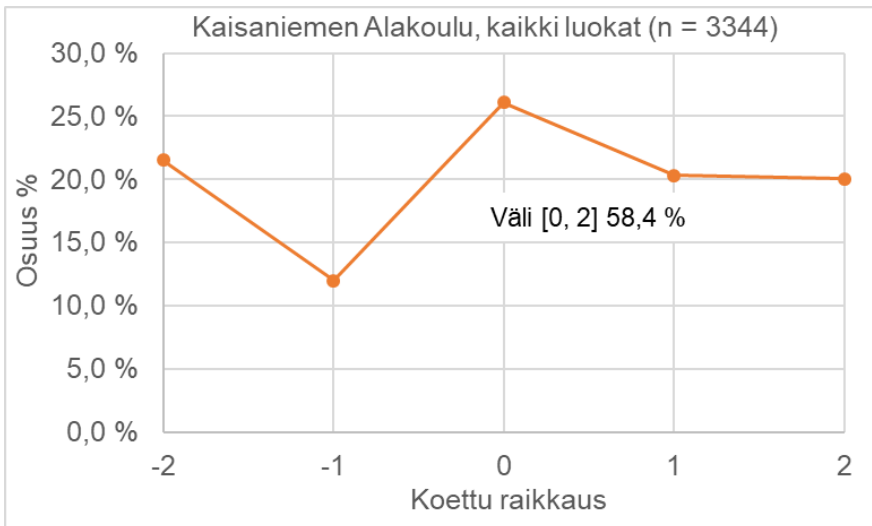
**Kuva 15.** Koettu lämpötilan jakauma Kaisaniemen alakoulussa vuonna 2019.



**Kuva 16.** Koetun lämpötilan riippuvuus keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta Kaisaniemen alakoulussa vuonna 2019.

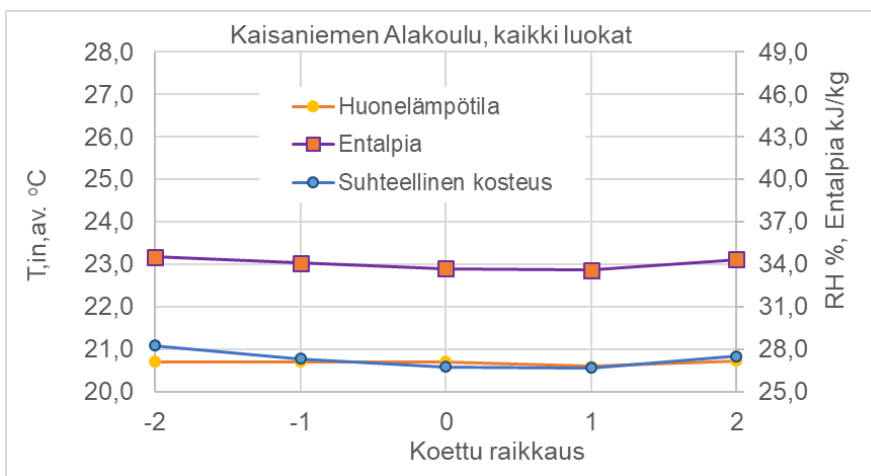
#### Koettu sisäilman raikkaus

Sisäilman koko riittävän raikkaaksi noin 58 % palautetta antaneista (kuva 17).

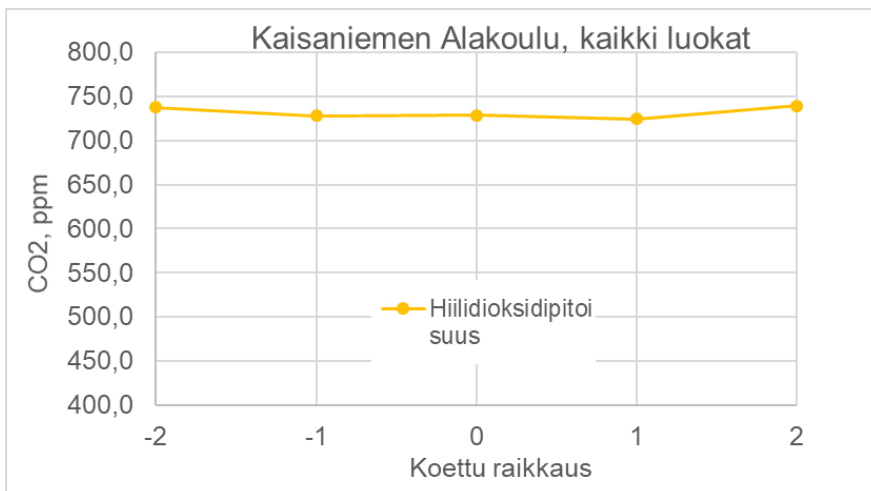


**Kuva 17.** Koettu sisäilman raikkauden jakauma Kaisaniemen alakoulussa vuonna 2019.

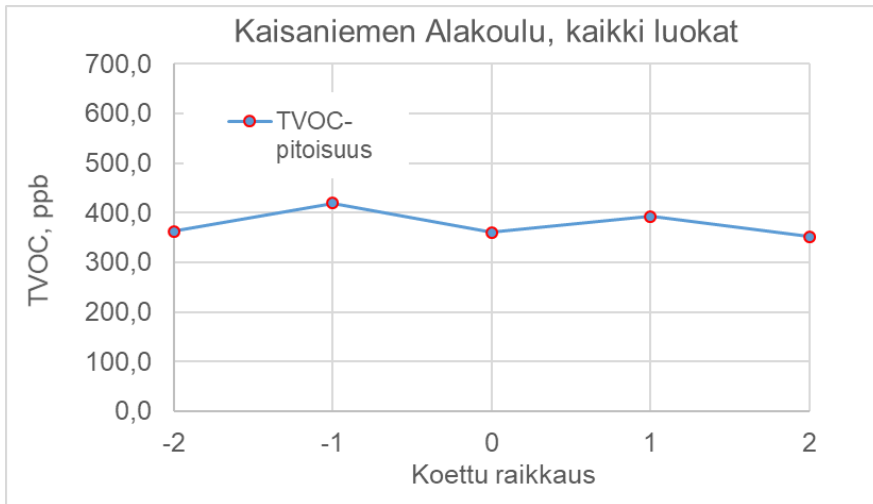
Kuva 18 esittää koetun raikkauksen riippuvuuden keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta. Kuva 19 esittää vastaavasti riippuvuuden mitatusta hiilidioksidipitoisuudesta ja kuva 20 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaispitoisuudesta. Riippuvuuksia ei löydetty. Lämpötilan säätö ylläpiti keskimäärin tiloissa jokseenkin vakioämpötilaa. Suhteellisen kosteuden ja pitoisuuksien tasaisuus osoitti ilmanvaihdon olevan riittävä.



**Kuva 18.** Koetun raikkauksen riippuvuus keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta Kaisaniemen alakoulussa vuonna 2019.



**Kuva 19.** Koetun raikkauksen riippuvuus keskimääräisestä mitatusta sisäilman hiilidioksidipitoisuudesta Kaisaniemen alakoulussa vuonna 2019.

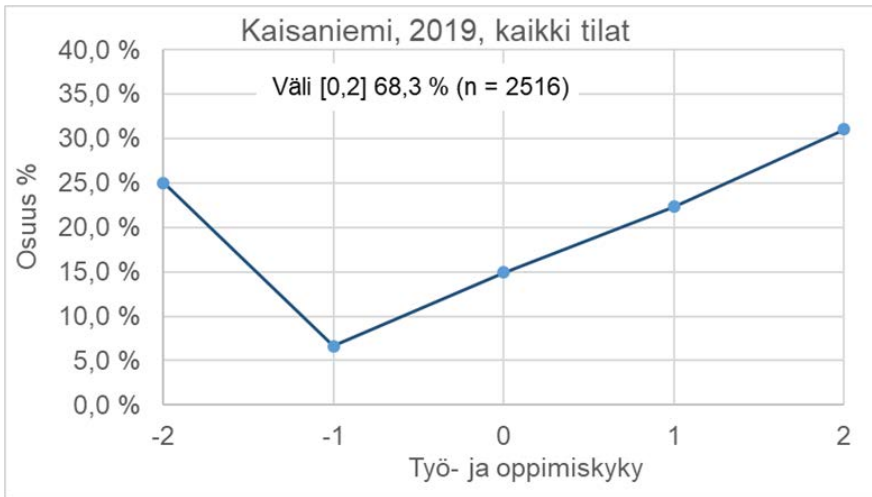


**Kuva 20.** Koetun raikkauden riippuvuus keskimääräisestä mitatusta sisäilman TVOC -tasosta Kaisaniemen alakoulussa vuonna 2019.

### Työ- ja oppimiskyky

Työ- ja oppimiskyky kuvaa palautteessa kysytyistä asioista parhaiten sitä, mihin hyvällä sisäympäristöllä pyritään. Kaisaniemen alakoulun vastanneista noin 2/3 piti työ- ja oppimiskykyään tiloissa riittävänä tai hyvänä (kuva 21).

Sisäilman koetun raikkauden riippuvuuksia lämpötilasta (kuva 22), hiilidioksidipitoisuudesta (kuva 23) tai haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaispitoisuudesta (kuva 24) ei löydetty.



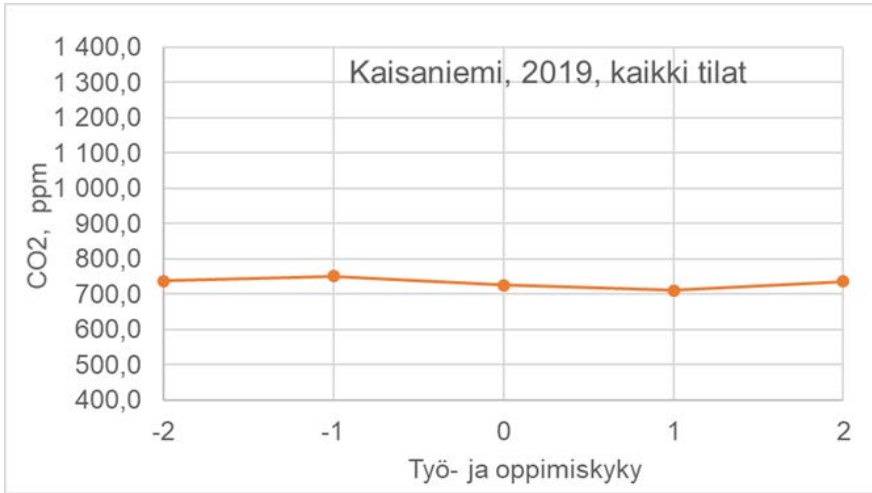
**Kuva 21.** Kaisaniemen alakoulun seurantatiloissa vuonna 2019 koetun työ- ja oppimiskyvyn vastausten jakaumat.

Ei riippuvuutta lämpötilasta, keskimäärin sama lämpötilataso eri koetuissa oloissa.



**Kuva 22.** Kaisaniemen alakoulun seurantatiloissa vuonna 2019 koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus mitatuista tilojen keskilämpötiloista.





**Kuva 23.** Kaisaniemen alakoulun seurantatiloissa vuonna 2019 koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus mitatuista tilojen hiilidioksidipitoisuuksista.



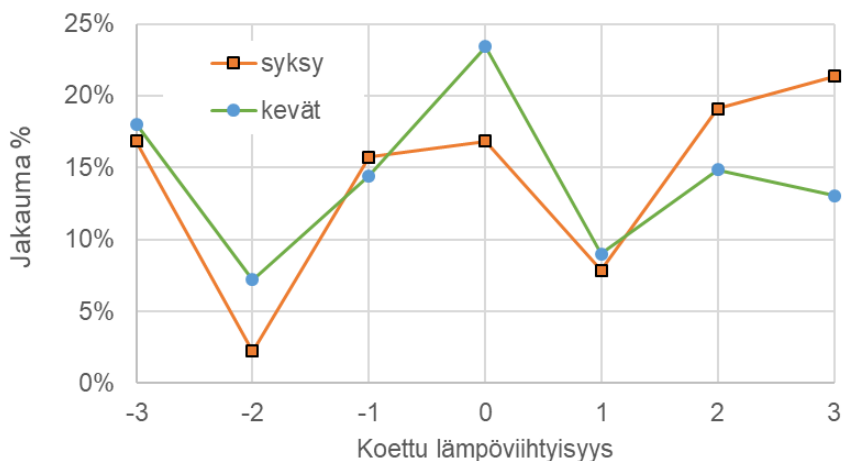
**Kuva 24.** Kaisaniemen alakoulun seurantatiloissa vuonna 2019 koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus mitatuista tilojen TVOC-tasosta.

Kaisaniemen alakoulun tarkasteltujen tilojen olosuhteet olivat mittausten perusteella varsin hyvin hallinnassa ja vaihtelualue oli varsin rajallinen. Siten riippuvuuk-  
sia koetun sisäympäristön ja mitattujen olosuhteiden välillä ei juuri voida löytää. Tä-  
män takia pyrittiin löytämään mahdollisia poikkeamia keskiarvoista rajaamalla tar-  
kasteltavia tiloja ja tarkasteluajankohtaa.

## Lämpöviihtyisyys valituissa tiloissa elo-syyskuussa 2019

Syyslukukauden alussa 2019 jotkin opetustilat oli ajoittain koettu lämpimiksi. Tar- kasteluun valittiin kolme kolmen ylimmän kerroksen luokkahuonetta (Luokat 318, 408 ja 509), joiden ikkunat ovat etelään. Näiden palautteita ja mittausdataa verrattiin alkusyksyn (elo–syyskuu 2019) ja loppukevään (huhti–toukokuu 2019) välillä.

Kuva 25 esittää koettuja lämpötilan jakaumia Kaisaniemen alakoulun kolmessa valitussa luokassa syksyllä (elo–syyskuu) ja keväällä (huhti–toukokuu). Syksyllä lämpimäksi tai kuumaksi tilat koki 40,5 % vastanneista kun vastaava luku kevätkau- della oli 28 %.



**Kuva 25.** Koettu lämpötilan jakauma Kaisaniemen alakoulun kolmessa valitussa luokassa syksyllä (elo–syyskuu) ja keväällä (huhti–toukokuu) vuonna 2019.

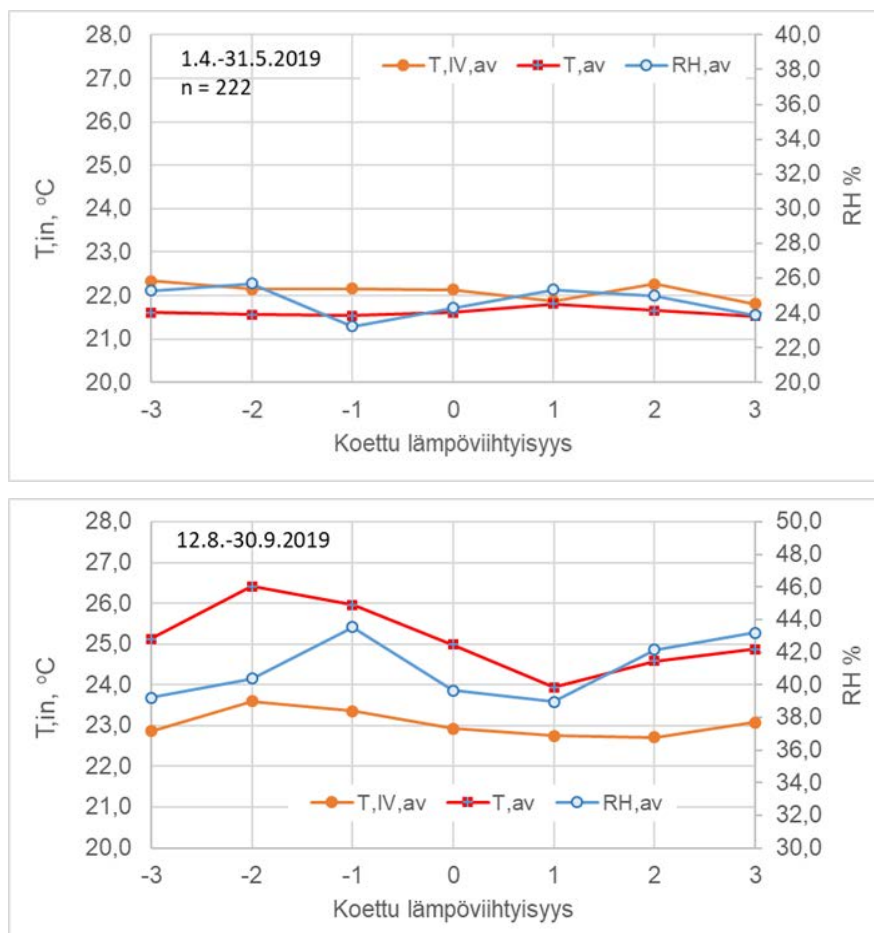
Kuva 26 esittää kolmen valitun luokan koettua lämpöviihtyisyyttä syys- ja kevätkau- den aikana ja sen riippuvuutta mitatuista tilojen keskilämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta. T,IV,av kuvaa ilmanvaihdon automaatiojärjestelmän huonetilamit- tausta, T,av ja RH,av huonetilojen oleskeluvyöhykkeellä tehtyä mittausta.

Kevätkausi vastaa koko vuoden keskimääräistä tilannetta, jolloin riippuvuuksia ei voitu muodostaa. Syyskaudella mittaustuloksissa oli selvästi hajontaa, mutta ne oli- vat osin ristiriitaisia lämpötilakokemusten kanssa. Esimerkiksi melko viileäksi koe- tussa tilassa mitattu keskimääräinen lämpötila oli korkein. Mitään riippuvuutta koe- tun olosuhteen ja mitattujen arvojen välille ei tämän perusteella voitu muodostaa.

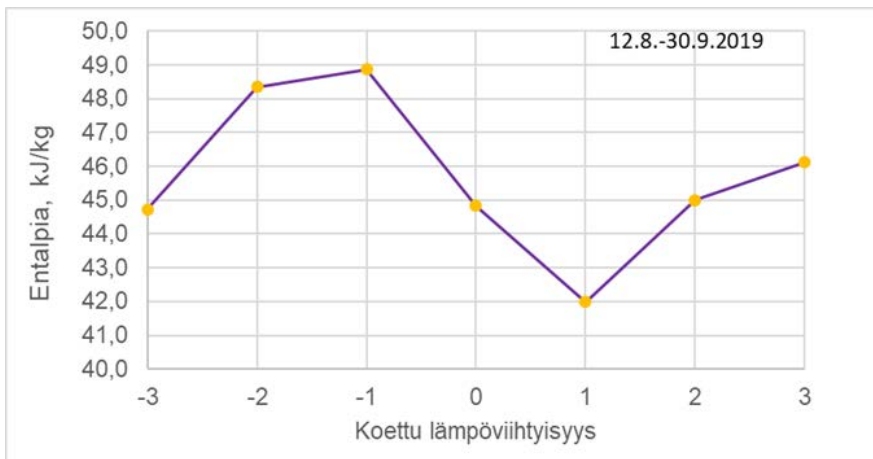
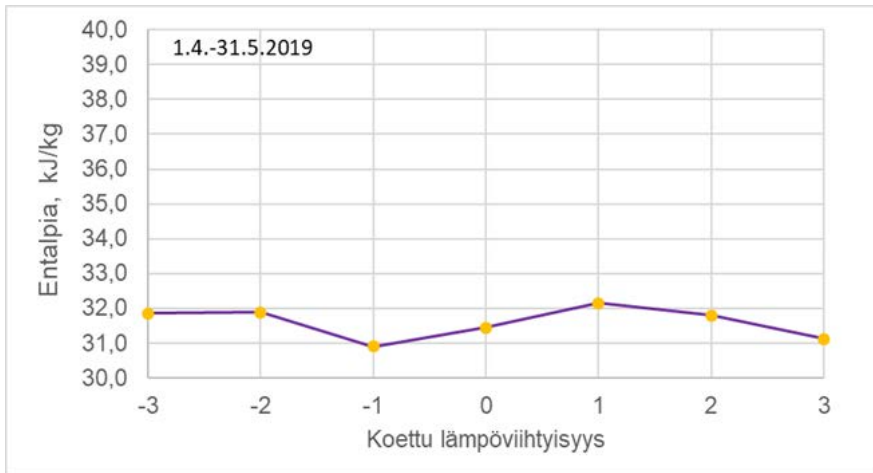
Sama tilanne on koetun lämpötilan ja sisäilman entalpioiden (kuva 27) osalta. Mitatun hajasäteilyn (kuva 28) kanssa oli kevätkaudella lievä korrelaatio siten, että säteilymäärän kasvaessa tila koettiin lämpimämmäksi. Riippuvuus oli varsin lievä, eikä sitä tunnistettu koko vuoden keskimääräistä jaksoista.

Eräänä oletuksena oli, että sisäilman voisi tuntua lämpimämmältä myöhemmin päivällä, ainakin syyskaudella. Kuva 29 esittää koettujen lämpötilojen riippuvuutta

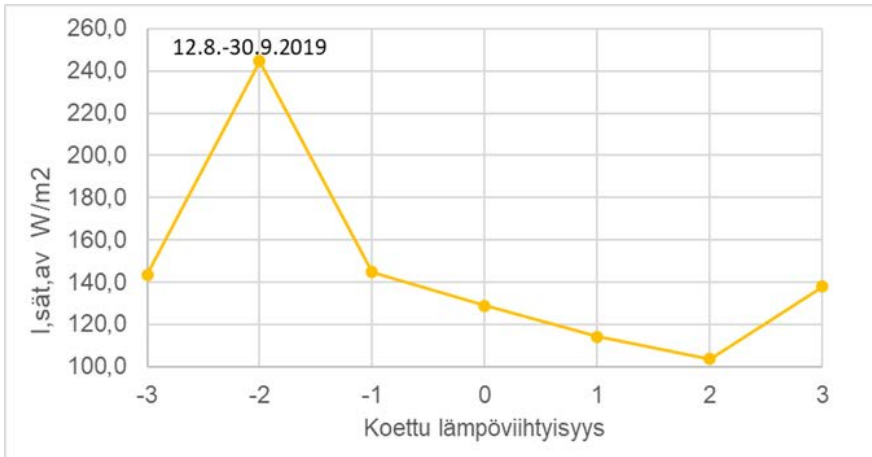
kellonajasta (esitetty mittausdatan UTC -aikoina). Kevätkaudella lämpimin kokemus oli aikaisimmin aamusta, ja kokemus siirtyi viileämpään hieman myöhempinä aikoina. Syyskaudelle mitään selkeää riippuvuutta ei löydetty.



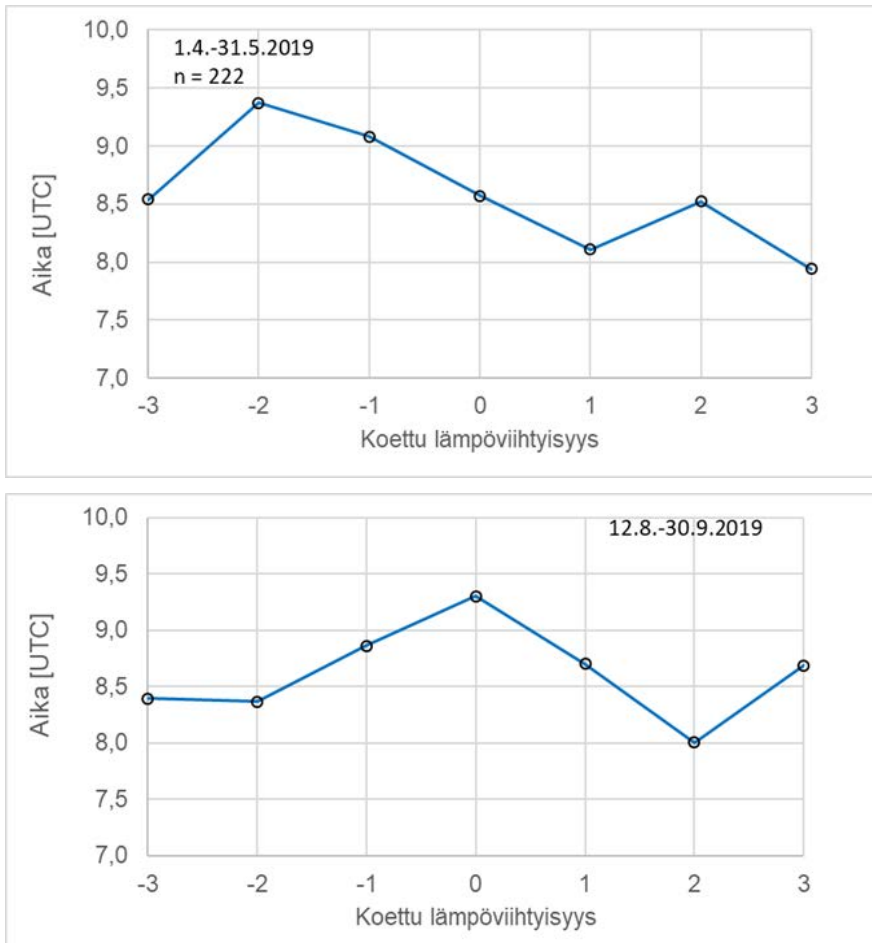
**Kuva 26.** Kaisaniemen alakoulun kolmen valitun luokan koettu lämpöviihtyisyys kahden kuukauden aikana huhti–toukokuussa (yllä) ja elo–syyskuussa 2019 (alla) ja sen riippuvuus mitatuista tilojen keskilämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta. T,IV,av kuvaa ilmanvaihdon automaatiojärjestelmän huonetilamittausta, T,av ja RH,av huonetilojen oleskeluvyöhykkeellä tehtyä mittausta.



**Kuva 27.** Kaisaniemen alakoulun kolmen valitun luokan koettu lämpöviihtyisyys kahden kuukauden aikana huhti–toukokuussa (yllä) ja elo–syyskuussa 2019 (alla) ja sen riippuvuus lasketuista keskimääräisistä ilman entalpioista.



**Kuva 28.** Kaisaniemen alakoulun kolmen valitun luokan koettu lämpöviihtyisyys kahden kuukauden aikana huhti–toukokuussa (yllä) ja elo–syyskuussa 2019 (alla) ja sen riippuvuus keskimääräisestä mitatusta hajasäteilystä.



**Kuva 29.** Kaisaniemen alakoulun kolmen valitun luokan koettu lämpöviihtyisyys kahden kuukauden aikana huhti–toukokuussa (yllä) ja elo–syyskuussa 2019 (alla) ja sen riippuvuus kellonajasta.

#### 4.1.3 Ohjeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutus koettuihin olosuhteisiin

Kouluille annettujen ilmanvaihdon ohjeiden / Sisäilmayhdistys 2019/ mukaan ilmanvaihto tulee käyttöaikojen ulkopuolella olla poissa päältä ja käyttää mitoitusteholla kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista ja 1 – 2 tuntia rakennuksen käyttöajan päättymisen jälkeen. Tällä ohjeistuksella pyritään varmistamaan ilmanvaihdon energiatehokas käyttö siten, että tilojen painesuhteet pysyvät hallittuina ilman merkittäviä vuotoilmavirtauksia rakenteiden tai rakennusosien kautta sisäilmaan ja että saavutetaan riittävä ilman sekoittuminen ja ilmanvaihdon toteutuminen tiloissa myös käyttöajan ulkopuolella.

Kiinnostava kysymys on vaikuttaako näiden ohjeiden mukainen ilmanvaihto koettuun sisäilman laatuun. Tämän selvittämiseksi tilojen käyttäjien palaute tulisi saada samoista tiloista ja ainakin jokseenkin samoilta tilojen käyttäjiltä erilaisten ilmanvaihtokäytäntöjen aikana. Olennaista on, että tilojen käyttäjät eivät tiedä mikä ilmanvaihtotapa on käytössä palautetta annettaessa, jottei ennakoasenne vaikuta palautteeseen.

Kasaniemen ala-asteen peruskorjaus valmistui joulukuussa 2017 ja ilmanvaihto kävi jatkuvana tästä ajankohdasta toukokuun 2019 loppuun. Kesäkuun 1. päivänä 2019 ilmanvaihdon käynti siirrettiin aikaohjelmille siten, että ilmanvaihto on yöt poissa päältä ja käynnistyy arkiamuisin kaksi tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista. Syyslukukaudella 2019 ilmanvaihto oli (vahingossa) asetettu jatkuvasti käynnissä olevaksi noin kahden viikon ajalle. Tätä tilan käyttäjät eivät tieneet. Tilan käyttäjiltä kerättiin palautetta sisäympäristöstä koko lukukauden ajan ja ilmanvaihdon jatkuvan käytön poikkeamatilannetta voitiin verrata normaaliin tilanteeseen, jossa käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihto on poissa päältä.

Vertailussa oli vain kaksi sisäilman kannalta hyväksi tunnettua/arvioitua tapaa. Vertailu aiemmin yleiseen, käyttöajan ulkopuolella osateholla käytetyn ilmanvaihdon tapaukseen puuttuu. Tämän aiheuttamista sisäilmahaitoista on kuitenkin riittävästi esimerkkejä.

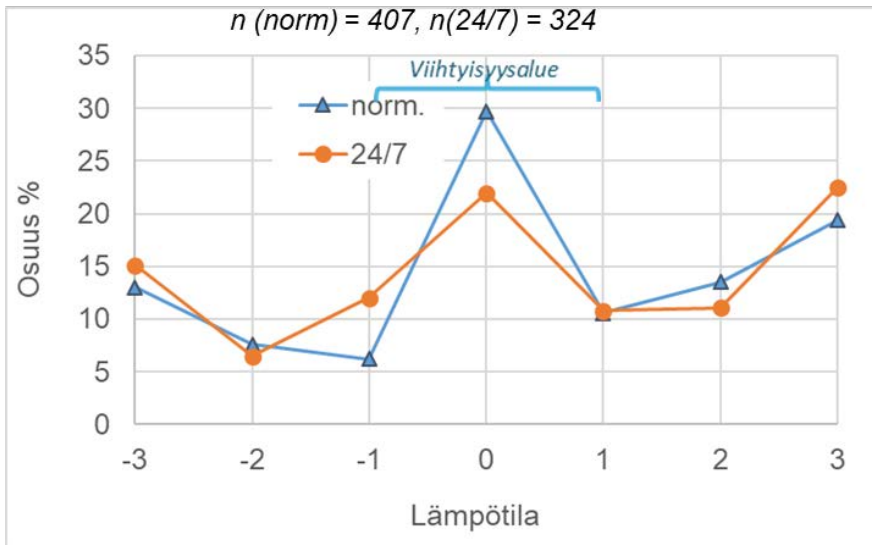
Seuraavassa esitetään käyttäjäpalautetiedot ja niiden vertailut normaalitilanteen ja jatkuvan käytön (24/7 -merkintä) ajanjaksoilta elo- ja syyskuun ajalta sekä näiden vertailua eri sisäilmaston tekijöiden avulla. Jatkuvan käytön jakson 27.8.–12.9.2019 aikana ilmanvaihto kävi ympäri vuorokauden. Vertailukaudella (6.–26.8. ja 13.–30.9.) ilmanvaihto oli yöaikaan poissa päältä, se käynnistettiin kaksi tuntia ennen koulupäivän alkua ja pysäytettiin tilojen käyttöajan jälkeen. Vertailukausi rajattiin elo- ja syyskuuhun, jotta vertailtavien kausien sääolot olisivat mahdollisimman samankaltaiset. Tilojen käyttäjien palautteista pyrittiin selvittämään mahdolliset havaitut erot koetussa sisäilman laadussa eri käyttötapauksissa.

Palautteen antajia olivat pääosin alakoulun oppilaat ja opettajat.

### **Koettu lämpötila**

Tilojen lämpötilan kokemus esitetään kahdessa eri tapauksessa (kuva 30). Tavoitetilaan [-1, 1] (-1: hieman viileä, 0: hyvä, 1: hieman lämmin) sijoittui normaalitilassa 46,4 % (407 vastausta) ja jatkuvan ilmanvaihdon (24/7) tapauksessa 44,8 % (324 vastausta) vastanneista. Lisäksi normaalitilanteessa lämpötilan koki hyväksi (taso 0) lähes 8 %-yksikköä suurempi osus kuin 24/7 -tilanteessa.

Tulosten perusteella normaali ilmanvaihtotapa tuottaa vähintään yhtä hyvät lämpötilaolot kuin ilmanvaihdon jatkuvan käytön tilanne.



**Kuva 30.** Koettujen lämpöolojen jakauma Kaisaniemen alakoulussa ilmanvaihdon jatkuvan käytön (24/7) ja normaalikäytön (norm.) tilanteissa.

### Koettu raikkaus

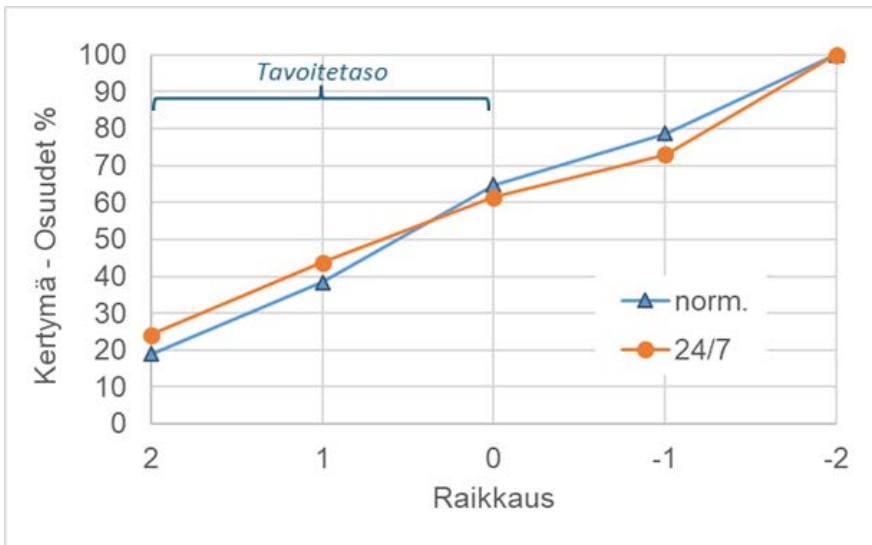
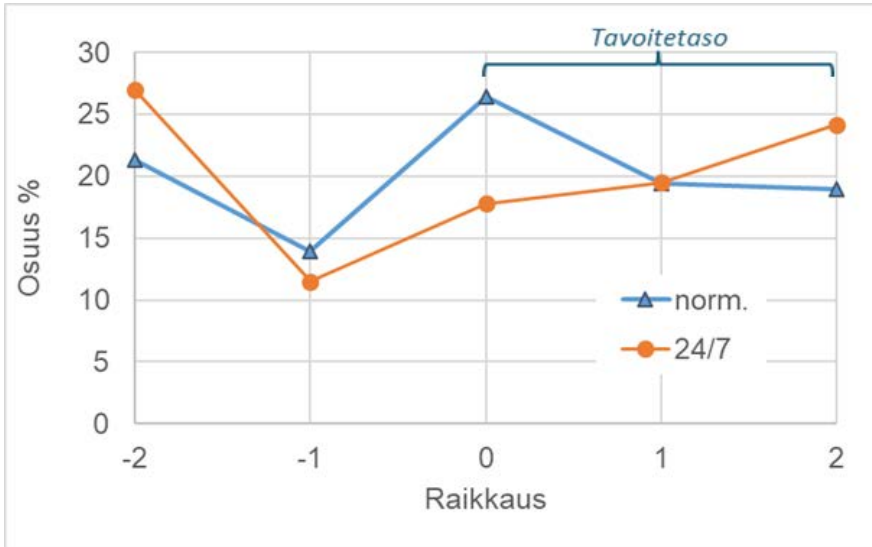
Tilojen koettuun ilman raikkauteen saatiin tarkastelujakson aikana ilmanvaihdon normaalitilanteessa (norm.) 315 ja 24/7 -tilanteessa 252 vastausta.

Kuva 31 esittää vastausten jakaumat raikkauden asteikolla [-2, 2] (tunkkaisuudesta -2, kohtalaisen 0 kautta raikkaaseen 2). Kuvassa esitetään vastausten jakaumat ja sen lisäksi vastausten kertymät parhaasta kokemuksesta alkaen.

Parhaan raikkauden kokemus oli 24/7 -tilanteessa 5 %-yksiköllä suurempi kuin normaalitilanteessa, mutta pyrittäessä hyväksyttävään tasoon, nähdään kertymäkuvasta tavoitetilan hyvän ja kohtalaisen raikkauden [2, 0] vastausten jakaumat: Normaalitilanne 64,8 % ja 24/7 -tilanne 61,5 %.

Tulosten perusteella normaali ilmanvaihtotapa tuottaa hyväksyttävän sisäilman raikkauden vähintään yhtä hyvin kuin ilmanvaihdon jatkuvan käytön tilanne.





**Kuva 31.** Sisäilman koettu raikkaus. Vastausten jakaumat Kaisaniemen alakou-  
lussa ilmanvaihdon jatkuvan käytön (24/7) ja normaalikäytön (norm.) tilanteissa  
(ylempi kuva) ja osuuksien kertymä parhaasta kokemuksesta alkaen (alempi kuva).

### Työ- ja oppimiskyky

Tilojen koettuun työ- ja oppimiskykyyn saatiin tarkastelujakson aikana ilmanvaihdon normaalityötilanteessa (norm.) 220 ja 24/7 -tilanteessa 173 vastausta.

Kuva 32 esittää vastausten jakaumat asteikolla [-2, 2] (huonosta -2, kohtalaisen 0 kautta hyvään 2). Kuvassa esitetään vastausten jakaumat ja sen lisäksi vastausten kertymät parhaasta kokemuksesta alkaen.

Parhaan työ- ja oppimiskyvyn kokemus oli 24/7 -tilanteessa lähes 7 %-yksiköllä suurempi kuin normaalitilanteessa. Pyrittäessä hyväksyttävään tasoon, nähdään kertymäkuvasta tavoitetilan hyvän ja kohtalaisen tason [2, 0] vastausten jakaumat: Normaalitilanne 62,7 % ja 24/7 -tilanne 64,7 %. Ero on otosmäärä huomioiden merkityksetön.

Tulosten perusteella ilmanvaihdon normaali tai jatkuva käyttö ei eroa hyväksyttävän tasoisen työ- ja oppimiskyvyn tuottamisessa.

### **Koettu sisäilman puhtaus**

Tilojen koettuun sisäilman puhtauteen saatiin tarkastelujakson aikana ilmanvaihdon normaalitilanteessa (norm.) 135 ja 24/7 -tilanteessa 112 vastausta.

Kuva 33 esittää vastausten jakaumat asteikolla [0, 10] (hyvästä 0 erittäin epäpuhtaaseen 10). Kuvassa esitetään vastausten jakaumat ja sen lisäksi vastausten kertymät parhaasta kokemuksesta alkaen. Huomattavaa on vastausten painottuminen erittäin epäpuhdasta tilannetta vastaavaan arvoon 10.

Esimerkiksi tasojen [0, 4] vastausten määrä olivat normaalitilanteessa runsaat 15 % -yksikköä korkeammat kuin 24/7 -tilanteessa. Ero voisi olla merkittävä, jos muut havainnot ilman raikkaudesta ja hajusta tukisivat tätä. Otosmäärä on pieni, joten yksittäisenä tekijänä koettua sisäilman puhtautta ei voida pitää merkittävänä, varsinkaan kun vastaukset olivat voimakkaasti painottuneet ääriarvoon 10.

Tulosten perusteella ilmanvaihdon normaalitilanne tuottaa puhtauden osalta tilojen käyttäjille ainakin saman tasoisen kokemuksen kuin ilmanvaihdon jatkuva käyttö.

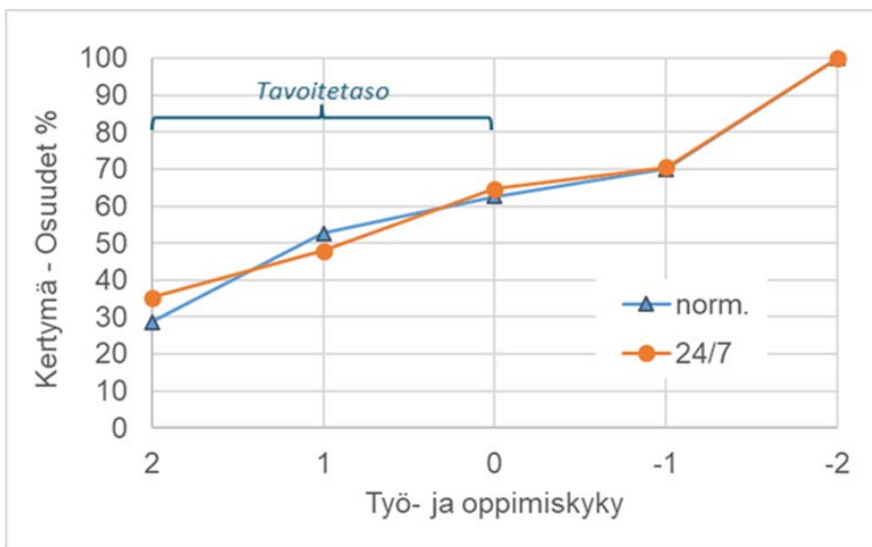
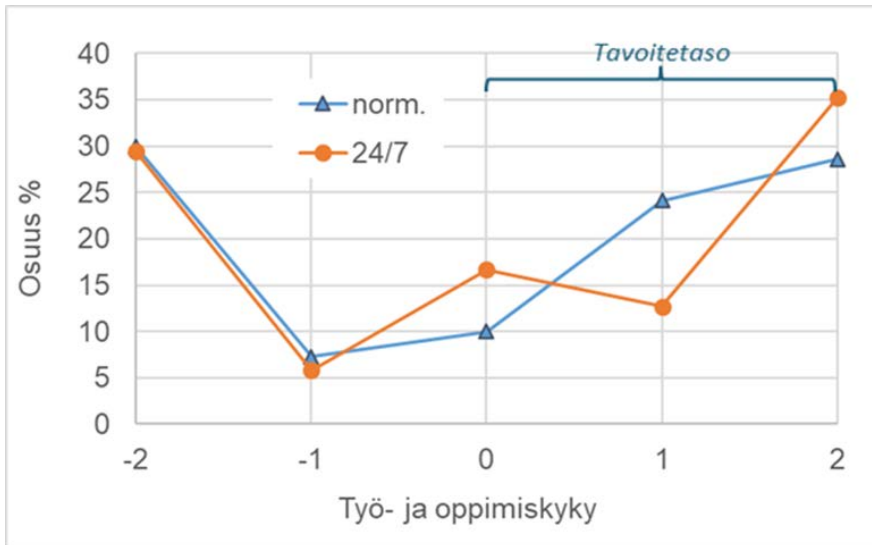
### **Sisäilmassa koetut hajut**

Tilojen koettuun sisäilman hajuihin saatiin tarkastelujakson aikana ilmanvaihdon normaalitilanteessa (norm.) 159 ja 24/7 -tilanteessa 150 vastausta.

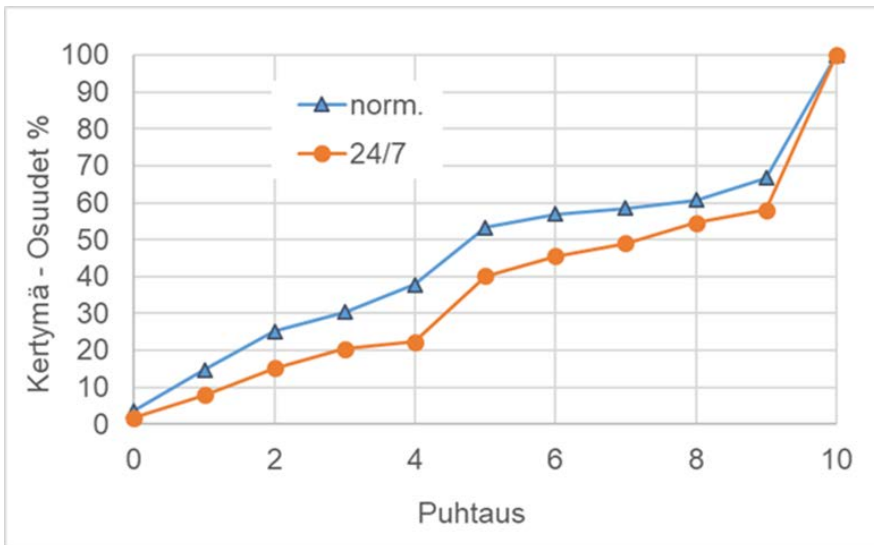
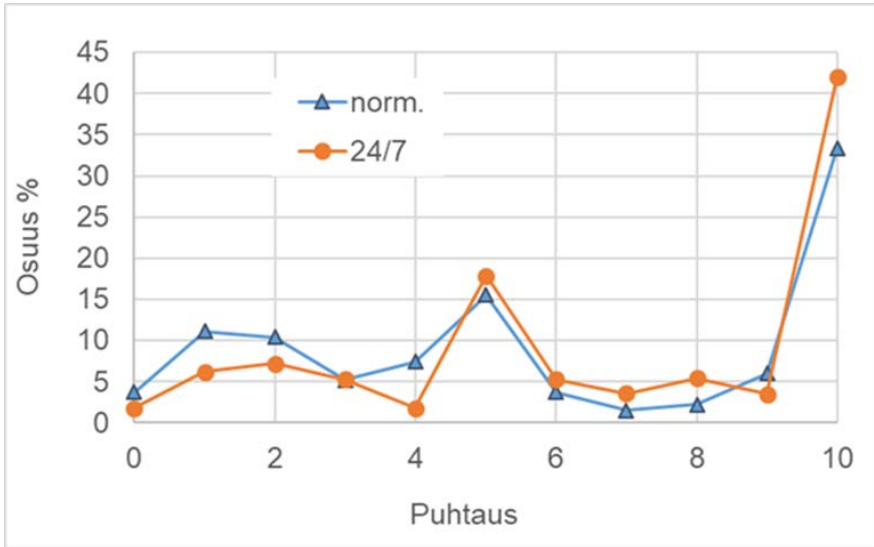
Kuva 34 esittää vastausten jakaumat asteikolla [0, 10] (0 -tasosta ei hajuja pahanhajuiseen 10 -tasoon). Kuvassa esitetään vastausten jakaumat ja sen lisäksi vastausten kertymät parhaasta kokemuksesta alkaen. Kuten sisäilman puhtauskyselyssä, myös tässä vastaukset painoutuivat ääriarvoon 10.

Täysin hajuttomaksi tilan koko ilmanvaihdon jatkuvan käytön tapauksessa runsaat 9 % -yksikköä suurempi osa (n=31) kuin normaalikäytön tapauksessa (n=18). Esimerkiksi tasojen [0, 4] vastausten määrät olivat jokseenkin samat, normaalitilanteessa 43,4 % ja 24/7 -tilanteessa 45,3 %. Sisäilman koetut hajut eivät tue ilman puhtauteen liittyviä havaintoja. Otosmäärän kokoon suhteutettuna ero eri käyttötilanteiden välillä ei ole merkittävä.

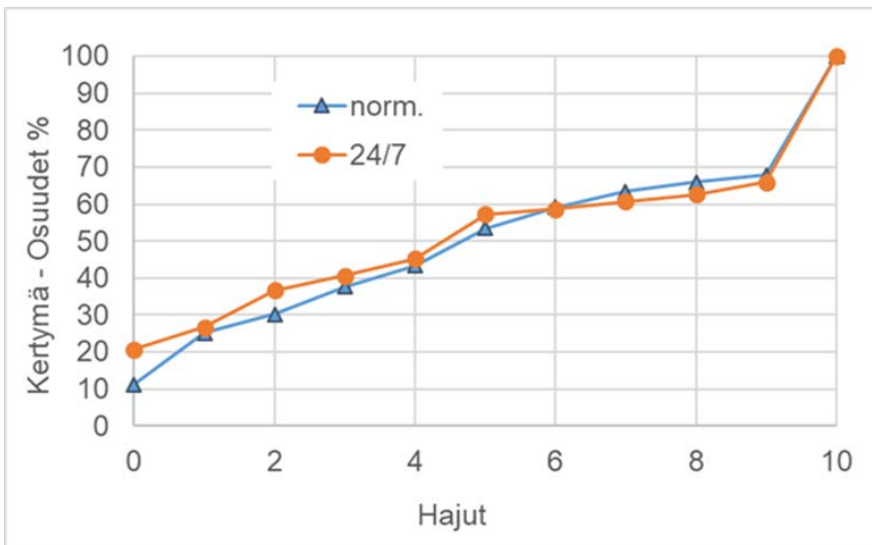
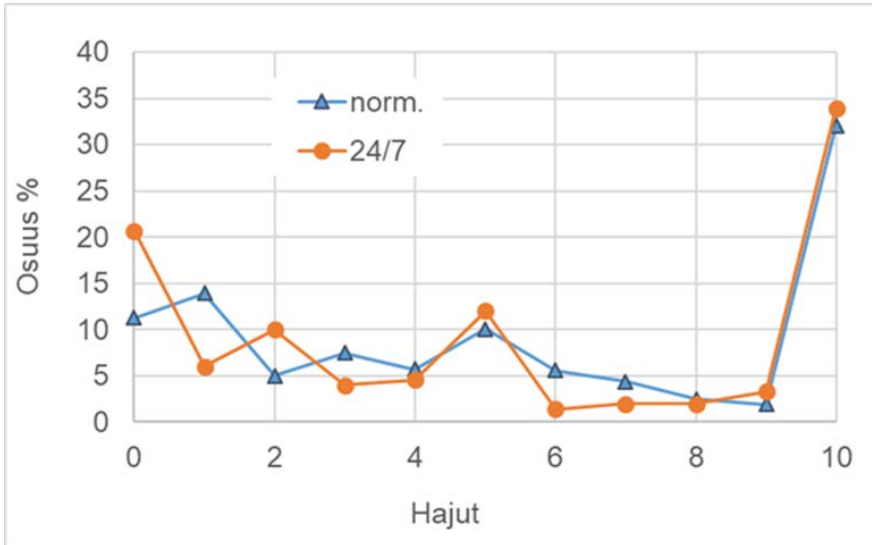
Tulosten perusteella ilmanvaihdon normaalitilanne tuottaa koettujen hajujen osalta tilojen käyttäjille jokseenkin saman tasoisen kokemuksen kuin ilmanvaihdon jatkuva käyttö.



**Kuva 32.** Tiloissa koettu työ- ja oppimiskyky. Vastausten jakaumat Kaisaniemen alakoulussa ilmanvaihdon jatkuvan käytön (24/7) ja normaalikäytön (norm.) tilanteissa (ylempi kuva) ja osuuksien kertymä parhaasta kokemuksesta alkaen (alempi kuva).



**Kuva 33.** Tilojen koettu sisäilman puhtaus. Vastausten jakaumat Kaisaniemen alakoulussa ilmanvaihdon jatkuvan käytön (24/7) ja normaalikäytön (norm.) tilanteissa (ylempi kuva) ja osuuksien kertymä parhaasta kokemuksesta alkaen (alempi kuva).



**Kuva 34.** Tilojen sisäilman koettu haju. Vastausten jakaumat Kaisaniemen alakou- lussa ilmanvaihdon jatkuvan käytön (24/7) ja normaalikäytön (norm.) tilanteissa (ylempi kuva) ja osuuksien kertymä parhaasta kokemuksesta alkaen (alempi kuva).

#### Yhteenvetoa ilmanvaihdon käyttötapojen vaikutuksesta

Kahden viikon ilmanvaihdon jatkuvan käytön tilanne on suhteellisen lyhyt jakso poikkeamien havainnointiin. Kertynyt palautemäärä jäi molempien käyttötapojen osalta suhteellisen pieneksi, joten luotettavaksi arvioidut poikkeamat olisivat edellyttäneet selkeitä eroja vastauksissa. Nyt sellaisia eroja ei havaittu.

Eniten palautetta tuli koettuihin lämpötiloihin. Näiden perusteella normaali ilmanvaihtotapa tuottaa vähintään yhtä hyvät lämpötilaolot kuin ilmanvaihdon jatkuvan käytön tilanne.

Hyväksyttävän tasoisen työ- ja oppimiskyvyn tuottamisessa ilmanvaihdon vertailuilla käyttötavoilla ei ollut havaittavaa eroa.

Suurin poikkeama oli koetussa sisäilman puhtaudessa, jossa normaalitilanne antoi jopa 15 %-yksikköä korkeamman hyväksytyjen osuuden (tasot 0–4) kuin 24/7 -tilanne. Otosmäärä oli tässäkin suhteellisen pieni ja vastauksissa oli painottunut ääriarvo 10. Myöskään sisäilman raikkaus tai siinä koetut hajut eivät tukeneet tulosta, joten havaittu poikkeama ei anna luotettavaa kuvaa erosta tapausten välillä.

Yhteenvetona voidaan todeta, että normaali ilmanvaihdon käyttö ja sen katkaisu yöajaksi ei näiden tulosten perusteella vaikuta koettuihin sisäilman oloihin, kun vertailukohtana on jatkuvasti mitoitusteholla toimiva oleva ilmanvaihto.

#### **4.1.4 Johtopäätöksiä Kaisaniemen alakoulun seurannasta**

Kaisaniemen alakoulun tilojen käyttäjien vastausaktiivisuus oli erittäin hyvä, vastauksia koettuihin olosuhteisiin saatiin paljon.

Kaisaniemen alakoulun tarkasteltujen tilojen palautteiden ja mittauksen perusteella ei saatu esiin mitään loogista riippuvuutta koettujen sisäilman olosuhteiden ja mittaustiedon välille.

Merkittävin tekijä korrelaation heikkouteen oli siinä, että tilojen olosuhteet olivat käyttöaikana hyvin hallinnassa – Lämpötilatasot pysyivät keskimäärin erittäin tarkasti asetuissa rajoissa ja ilmanvaihto toimi hyvin, mikä näkyi alhaisina CO<sub>2</sub>- ja TVOC -tasoina. Epätoivotut, huomattavat poikkeamat viihtyisyyalueelta olisivat luultavasti tuottaneet selkeämpiä riippuvuuksia. Nyt sellaisia ei ollut, eikä korjaavia toimia näiden tulosten perusteella tarvinnut tehdä.

Toinen tekijä on koetun olosuhteen riippuvuus henkilöstä ja tilanteesta enemmän kuin mittauksin todetuista olosuhteista. Ilmeisen suuri osa vastaajista oli oletetusti alakouluikäisiä lapsia ja vastausten hajonta oli suuri. Esimerkiksi 11 -portaiseen arviointiluokkaan [0, 10] perustuvista sisäilman puhtauteen ja hajuihin liittyvistä palautteista merkittävä osa painottui ääriarvoon 10. Tällaisen luokituksen eri tasojen hahmottaminen on vaikeaa, mikä voi osaltaan selittää näiden vastauksen painottumista. Lisäksi sisäilman puhtauden, raikkauden ja hajujen erottaminen kokemuksesta toisistaan voi olla haastavaa, myös alakouluikäiselle.

Kohteessa voitiin lisäksi määrittää käyttäjäkokemusten ero normaalissa käyttötilanteessa, jossa ilmanvaihto oli käyttöajan ulkopuolella ohjeiden (kuntien sisäilma-verkoston ilmanvaihdon käytön ohje 2019) mukaisesti pysäytetty ja tästä poikkeavassa tilanteessa, jossa ilmanvaihto oli jatkuvasti (24/7) käynnissä mitoitusteholla. Tilojen käyttäjät eivät tienneet tästä vahingossa kahden viikon ajalle osuneesta jatkuvasti käyvästä ilmanvaihdosta. Palautteiden perusteella tilojen käyttäjät eivät huomanneet eroa tilojen sisäilman viihtyisyyteen liittyvissä tekijöissä normaalin, käytönajan ulkopuolella ohjeiden mukaisesti katkaistun ja jatkuvan ilmanvaihdon välillä.

## 4.2 Meritalo

Meritalo osoitteessa Haapaniemenkatu 7–9 A oli kaupungin omistuksessa oleva toimistotalo ennen perusparannusta vuosina 2013 ja 2014, jolloin se muunnettiin ammattiopetuksen käyttöön. Meritalossa toimii Stadin ammatti- ja aikuisopiston vaateusalan ja kauneudenhoitoalojen ammattiopetus. Opiskelijat ovat yli 15-vuotiaita.

Rakennus on valmistunut vuonna 1974 toimistotaloksi ja sen alkuperäinen käyttäjä oli Helsingin verovirasto.

Rakennuksessa on seitsemän kerrosta pihakannen yläpuolella ja kaksi pihakannen, mutta ei maanpinnan, alapuolella. Rakennuksen huoneistoala on 13 931 m<sup>2</sup>.

Rakennuksessa oli toteutettu laaja perusparannus ulkoseinissä vuonna 2005, jossa julkisivujen verhoukset lämmöneristeineen sekä ikkunat uusittiin. Julkisivupinnan muodostaa alumiinipeltikasetti.

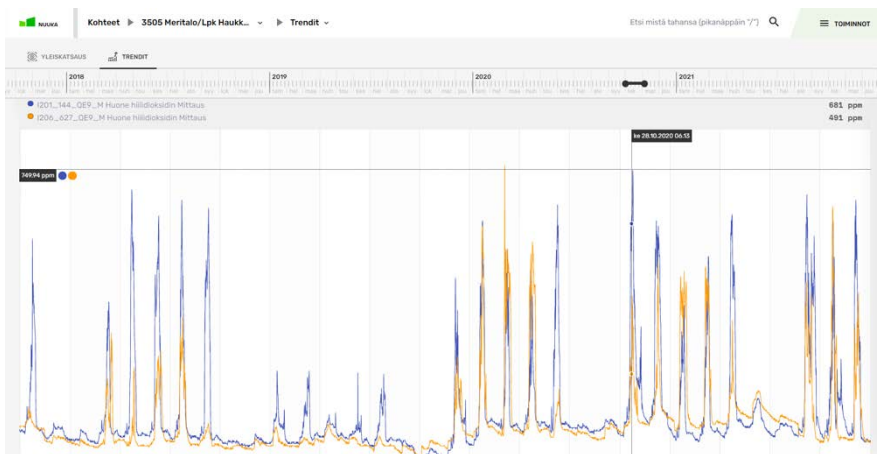
Perusparannuksessa vuosina 2013–2014 rakennukseen asennettiin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Ilmanvaihtokoneet on sijoitettu kattokerroksen ilmanvaihtokonehuoneeseen sekä kellarikerroksen K1 uuteen IV-konehuoneeseen. Ilmanvaihtojärjestelmä on ryhmitelty kerroskohtaisesti siten, että kutakin kerrosta palvelee yksi ilmanvaihtokone (lukuun ottamatta toista ja kolmatta kerrosta, joiden itäpäätyä palvelee yksi ilmanvaihtokone ja länsipäätyä toinen ilmanvaihtokone). Rakennuksessa on myös jäähdytysjärjestelmä, johon jäähdytysenergia tuotetaan kaukokylmällä. Opetustiloja palvelevissa ilmanvaihtokoneissa on jäähdytyspatterit, joiden avulla tuloilmaa voidaan touko- ja syyskuun välisenä aikana tarpeenmukaisesti viilentää. Suurimman kuormituksen tiloissa on myös jäähdytyskonvektorit.

Ilmanjako opetustiloissa on toteutettu sekoittavana keskeisesti sijaitsevilla lukuisilla tuloilmahajottajilla. Ilmamääräsäätimet sijaitsevat kussakin opetustilassa alakaton yläpuolella tulo- ja poistoilmakanavissa helposti saavutettavissa alakattopaneelia sivuun siirtämällä.

Meritalon opetustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa on huomioitu tiloissa opetustilanteissa sisäilmaan vapautuvat kemialliset yhdisteet mm. kampaamo- ja ihonhoitotuotteista. Tyypillisen opetustilan ilmanvaihdon maksimi-ilmavirrat ovat 400 l/s. Kun opetustilassa on vähemmän henkilöitä, ilmanvaihdon määrä tällaisessa opetustilassa on noin 250 l/s.



**Kuva 35.** Stadin ammattiopisto Meritalon perusparannuksessa vuosina 2013–2014 asennettu ilmanvaihdonkone.



**Kuva 36.** Opetustilojen 144 ja 627 hiilidioksidipitoisuudet 2.10.–4.11.2020.

#### 4.2.1 Mittausjaksot

Tarkastelussa oli vuosi 2019 ja vuoden 2020 syyslukukausi. Yleisesti tilojen olosuhteet ovat pääosin pysyneet hyviksi oletettuina, eikä selviä korrelaatioita ollut helposti muodostettavissa.

Alla olevassa kuvassa on esitetty 2019 palautekysymysten korrelaatio toisiin palautekysymyksiin. Kuvaa varten vuoden palautetta on käsitelty luvussa 3.2.2 esite-



tyllä tavalla. Kuvassa sinisellä merkitty positiivista korrelaatiota ja vastaavasti punaisella negatiivista korrelaatiota. Kuvassa on näkyvissä karkealla tasolla korrelaatioita, joita käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

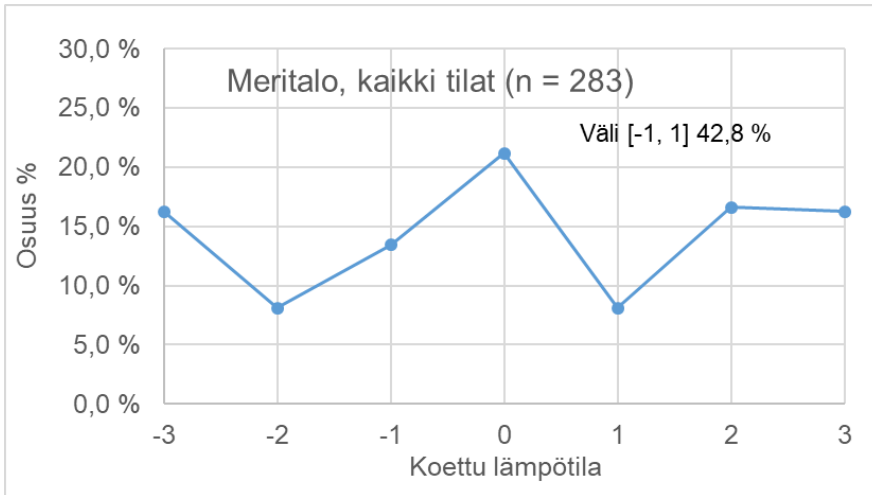
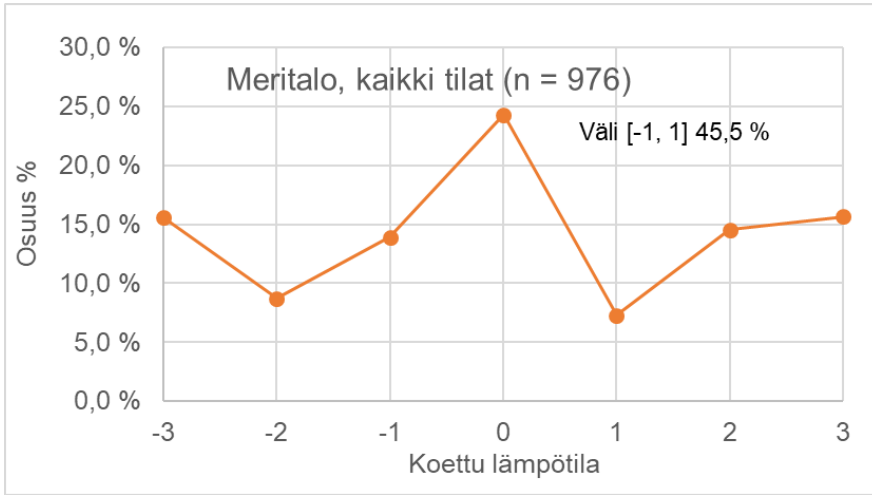
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Max of Minkäläiseksi koet opetustilan lämpötilan?	1	1,00	-0,16	0,10	0,14	0,11	0,01	-0,01	0,01	0,11	-0,03	0,06
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman raikkauten?	2	-0,16	1,00	-0,11	-0,24	-0,28	0,13	0,14	0,29	-0,02	0,13	0,11
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman kosteuden?	3	0,10	-0,11	1,00	0,23	0,32	0,07	0,11	0,04	0,17	-0,21	-0,01
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman hajun?	4	0,14	-0,24	0,23	1,00	0,69	0,13	0,09	0,01	0,10	-0,14	0,00
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman puhtauden?	5	0,11	-0,28	0,32	0,69	1,00	0,20	0,15	0,04	0,11	-0,18	-0,01
Max of Minkäläinen on huoneen valaistus?	6	0,01	0,13	0,07	0,13	0,20	1,00	0,54	0,52	0,03	0,03	0,02
Max of Minkäläiseksi koet huoneen äänimaailman eli akustiikan?	7	-0,01	0,14	0,11	0,09	0,15	0,54	1,00	0,59	0,00	0,02	0,00
Max of Minkäläiseksi koet työ- tai oppimisympäristön opetustilassa?	8	0,01	0,29	0,04	0,01	0,04	0,52	0,59	1,00	0,01	0,06	0,04
Max of Huonelämpötila	9	0,11	-0,02	0,17	0,10	0,11	0,03	0,00	0,01	1,00	-0,33	0,05
Max of Suhteellinen kosteus	10	-0,03	0,13	-0,21	-0,14	-0,18	0,03	0,02	0,06	-0,33	1,00	0,14
Max of Hiiliidioksidipitoisuus	11	0,06	0,11	-0,01	0,00	-0,01	0,02	0,00	0,04	0,05	0,14	1,00

**Kuva 37.** Meritalon koko vuoden 2019 palautekysymysten korrelaatiot toisiinsa.

#### 4.2.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan

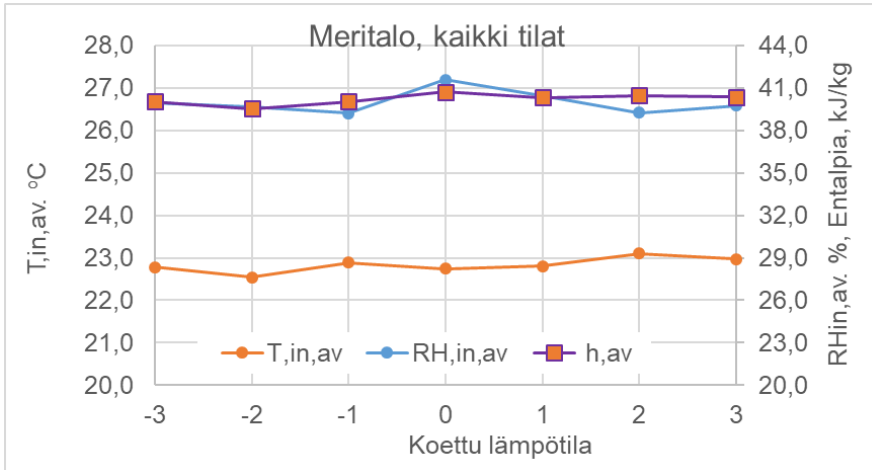
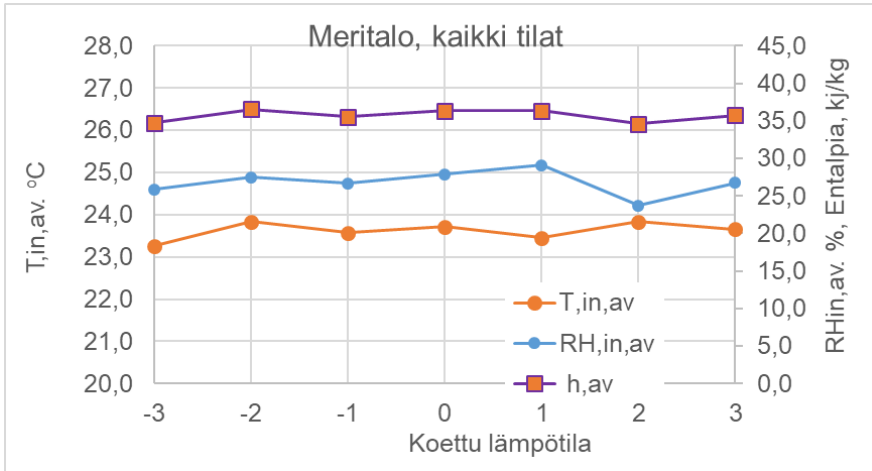
Seuraavassa esitetään valitusti kuvaavimpia ja kiinnostavimpia löydöksiä tuloksista. Koettujen olosuhteiden ja mittausten väliset riippuvuudet jäivät tässäkin kohteessa heikoiksi. Tuloksissa esitetään joitain valittuja tekijöitä, joiden välille on löydetty ainakin heikkoja riippuvuuksia ja lisäksi esiin nostetaan joitain odotusten vastaisia tuloksia.

Kuva 38 esittää koettua lämpöolojen jakaamaa Meritalossa koko vuoden 2019 ja vuoden syyslukukauden 2020 aikana. Vastanneista 43–46 % koki lämpötilan sopivan viihtyisänä (-1, 1).



**Kuva 38.** Koetun lämpötilan jakauma Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

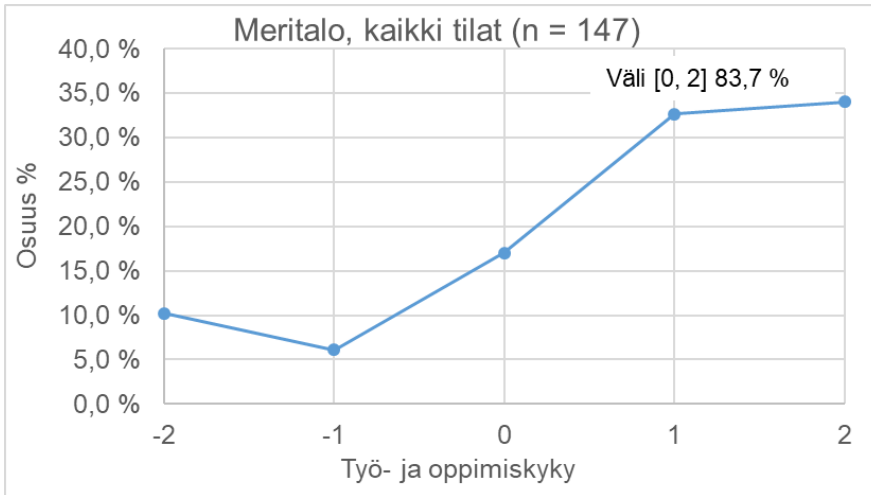
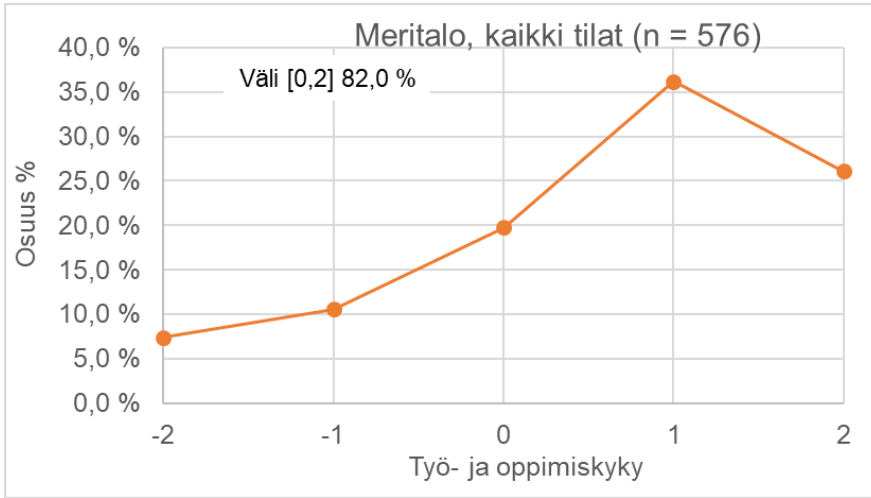
Kuva 39 esittää, että koetun lämpötilan ja sisäilman mitatun lämpötilan, suhteellisen kosteuden tai niistä lasketun entalpiain välillä ei näissä keskimääräisissä olosuhteissa ollut merkittävää riippuvuutta.



**Kuva 39.** Koetun lämpötilan riippuvuus keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

### Työ- ja oppimiskyky

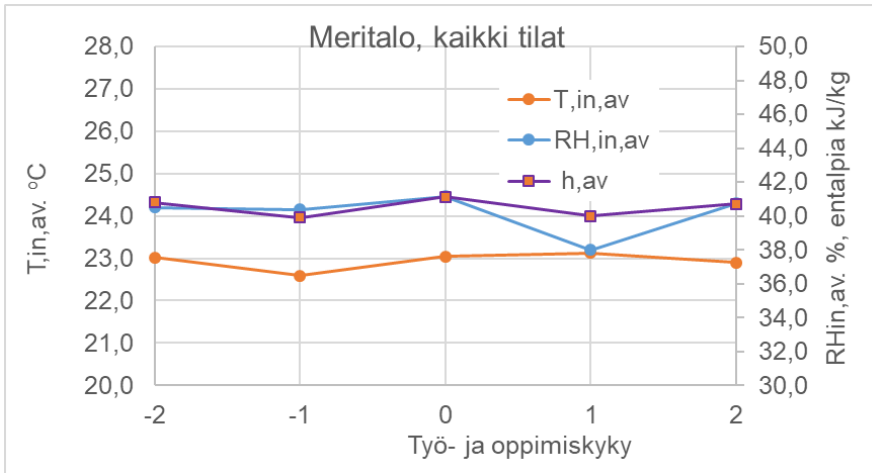
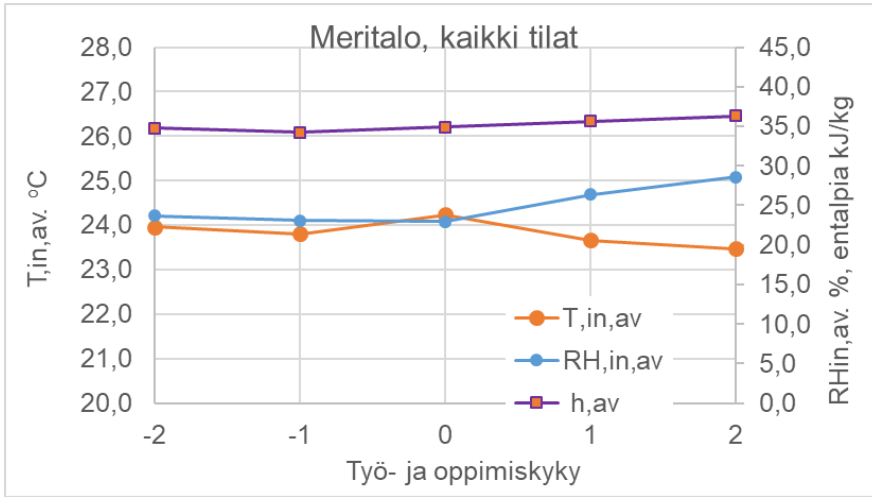
Kuva 40 esittää koetun työ- ja oppimiskyvyn jakaumaa Meritalossa koko vuoden 2019 ja vuoden syyslukukauden 2020 aikana. Vastanneista 82–84 % koki työ- ja oppimiskyvyn melko hyvänä tai hyvänä [0, 2].



**Kuva 40.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn jakauma Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

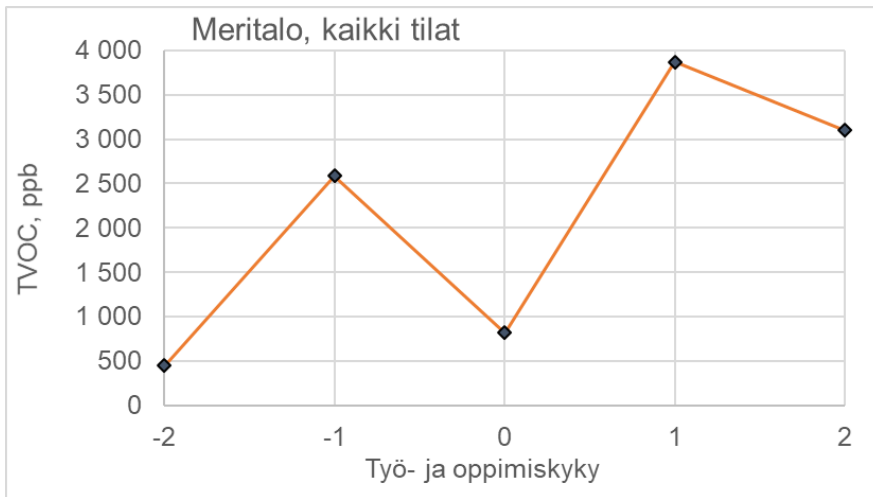
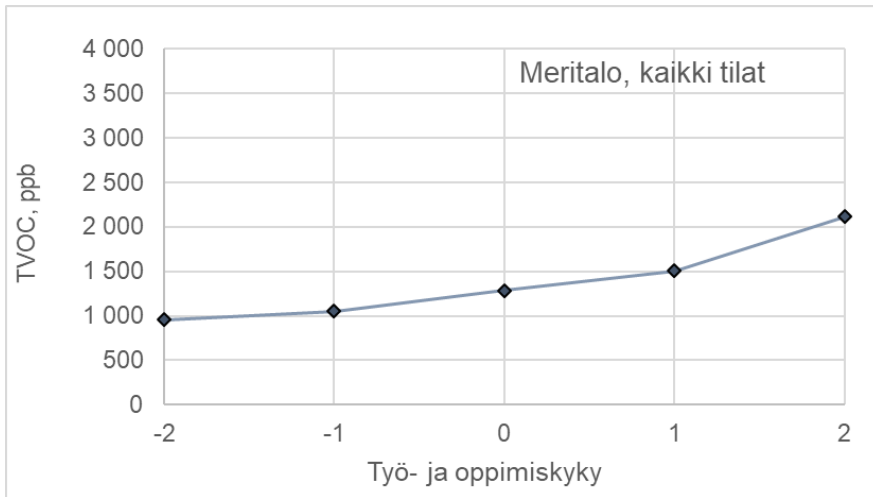
Vuoden 2019 huonelämpötilat olivat keskimäärin korkeammat kuin 2020 syyslukukauden. Paras työ- ja oppimiskyky saavutettiin tällöin matalimmalla keskilämpötilalla. Koko vuoden 2019 jaksolla työ- ja oppimiskyky oli heikoin hyvin matalan suhteellisen kosteuden tasoilla (noin 23 % RH) ja kokemus parani, kun suhteellisen kosteuden taso oli korkeampi. Suurin keskimääräinen suhteellinen kosteus, noin 28 % RH, vastasi parasta työ- ja oppimiskykyä (kuva 41).

Vuoden 2020 syyskaudella vastaavia lieviä riippuvuuksia sisäilman oloista ei nähdä. Syyskaudella suhteellisen kosteuden taso oli selvästi koko vuoden tasoa korkeampi ja lämpötilat keskimäärin matalammat.



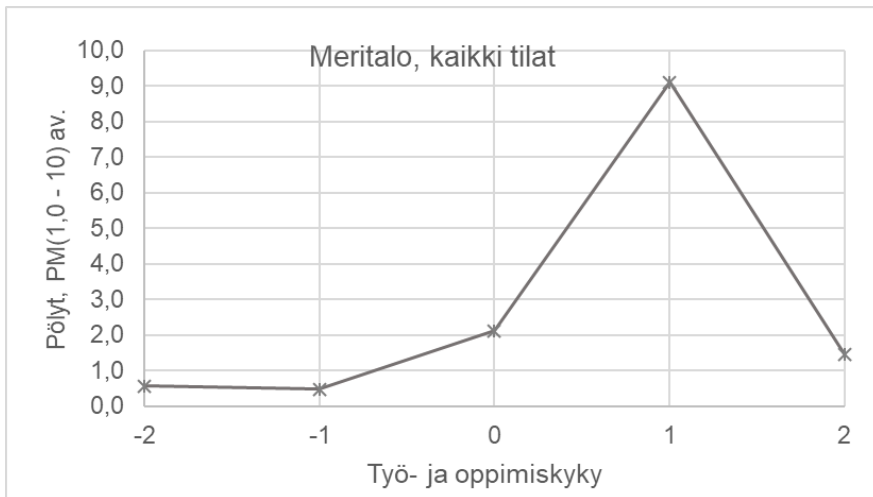
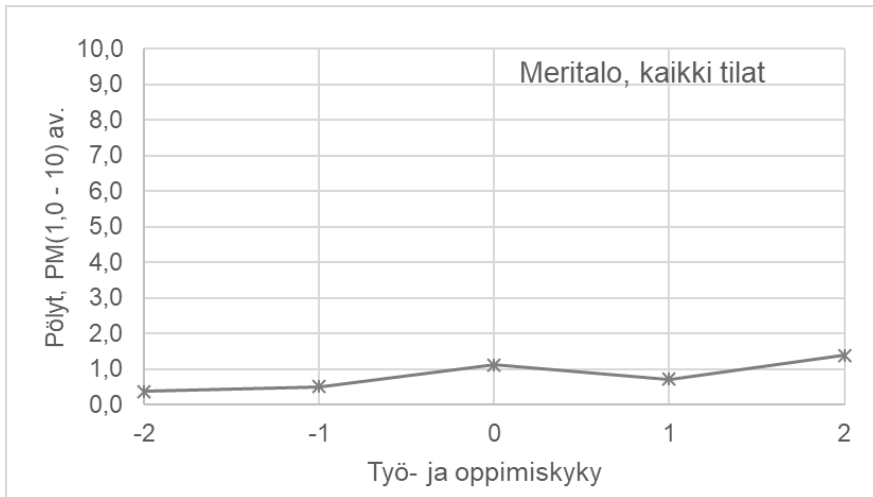
**Kuva 41.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

Kuva 42 esittää koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuutta keskimääräisestä mitatusta ilman TVOC -tasosta. Riippuvuus on odotusten vastainen: Koettu työ- ja oppimiskyky parani, kun haihtuvien epäorgaanisten yhdisteiden kokonaistaso kasvoi. Tulos viittaisi siihen, että tiloissa korkeita TVOC-tasoja aiheuttavat yhdisteet eivät ole häiritseviä vaan ne enimmäkseen koetaan opetukseen kuuluvina ja ehkä jopa positiivisina.



**Kuva 42.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman TVOC -tasosta Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

Keskimääräisen ilman pölypitoisuuden (eri jaokkeisten partikkelien pitoisuuksien keskiarvo) ja työ- ja oppimiskyvyn välinen korrelaatio oli osittain käänteinen odotuksiin nähden (kuva 43). On mahdollista, että mitatut pölytasot eivät ole häiritseviä ja oppimiskokemukseen vaikuttavat muut tekijät.



**Kuva 43.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman pölypitoisuudesta (keskiarvoina PM 1,0, 2,5 ja 10 tasoille) Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

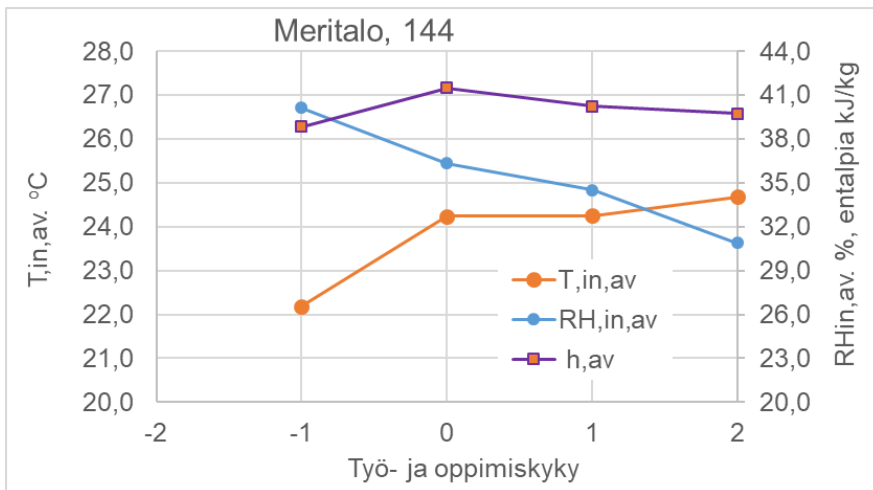
#### **Tila, jossa oli hyvä työ- ja oppimiskyky**

Koska keskimäärin tilojen olosuhteet vaikuttivat hyviltä, eikä selkeitä korrelaatioita voitu muodostaa koettujen olojen ja mittausten välille, etsittiin keskimääräisestä poikkeavia tiloja. Tarkastelussa oli opetustila 144, joka on hiustyösali ja jossa 50 vastauksesta (v. 2019) 96 % piti työ- ja oppimiskykyä tilassa vähintään kohtuullisena [0, 2]. Vastaava keskimääräinen arvo Meritalon tiloille oli 82 %.

Kuva 44 esittää koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuuden keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta tilassa 144.

Tässä tilassa työ- ja oppimiskyvyn ja sisäilman suhteellisen kosteuden välillä oli käänteinen riippuvuus. Noin 40 % RH tilassa koettiin heikentynyt työ- ja oppimiskyky ja se oli paras kun keskimääräinen suhteellinen kosteus oli noin 30 % RH tasolla.

Sisäilman lämpötilan alin taso vastasi heikentynyttä työ- ja oppimiskykyä. Tilassa koetaan miellyttäväksi melko korkea lämpötilataso, jolloin korkeammat suhteellisen kosteuden arvot heikentävät koettua oppimiskykyä. Optimi tällaisessa lämpimässä työskentelytilassa olisi ilmeisesti viihtyisyysalueen alarajoilla, ts. noin 30 % RH tasolla.

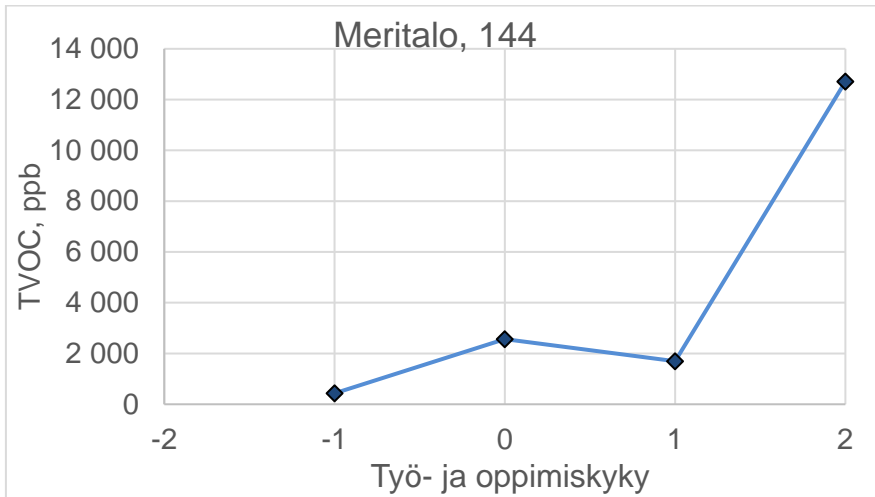


**Kuva 44.** Meritalon luokassa 144 koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus keskimääräisestä mitatusta lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja ilman entalpiasta vuonna 2019.

Kuva 45 esittää luokassa 144 koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuuden keskimääräisestä mitatusta ilman TVOC -tasosta. Tässä tapauksessa korostui se, mitä löydettiin kaikkien tilojen keskimääräisten arvojen perusteella. Paras koettu työ- ja oppimiskyky vastasi korkeinta TVOC -tasoa, joka tässä luokassa oli huomattavan korkea. Ilmeisesti luokassa käsiteltävät, hiustyösalin opetukseen kuuluvat kemikaalit koetaan miellyttävinä ja siten vahvasti hyvään oppimistilanteeseen kuuluvina.

Kokonais VOC -taso ei siten kaikissa oloissa välttämättä heikennä työ- ja oppimiskykyä. Ainakin tässä tilassa, ja myös Meritalossa keskimäärin, se korreloi positiivisesti koetun oppimiskyvyn kanssa.



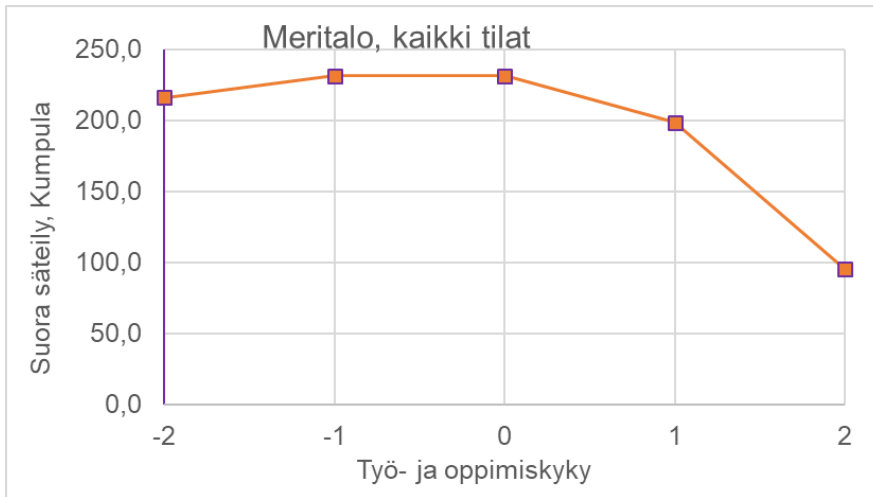


**Kuva 45.** Meritalon luokassa 144 koetun sisäilman työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman TVOC -tasosta vuonna 2019.

#### **Poimintoja havaituista riippuvuuksista**

Seuraavassa esitetään joitain löydettyjä riippuvuuksia koettujen sisäilman olosuhteiden ja mitatun tilan välillä.

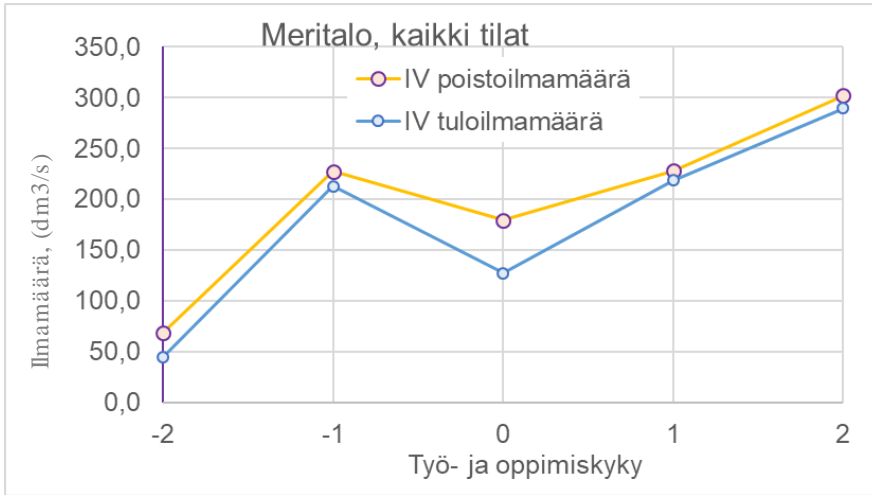
Kuva 46 esittää Meritalon kaikkien tarkasteltujen tilojen työ- ja oppimiskyvyn riippuvuuden Kumpulan säähavaintoasemalla mitatusta suorasta auringon säteilystä. tässä ei ole eritelty tilojen ikkunoiden suuntaista vaan kaikki tilat on käsitelty yhtenä ryhmänä. Syyslukukauden 2020 aikaisten palautteiden perusteella paras työ- ja oppimiskyky oli tilanteessa, jossa suoran säteilyn määrä oli keskimäärin pienin. On mahdollista, että suora auringon säteily vaikuttaa oppimiskykyyn esimerkiksi häikäisyn tai muun tekijän välityksellä.



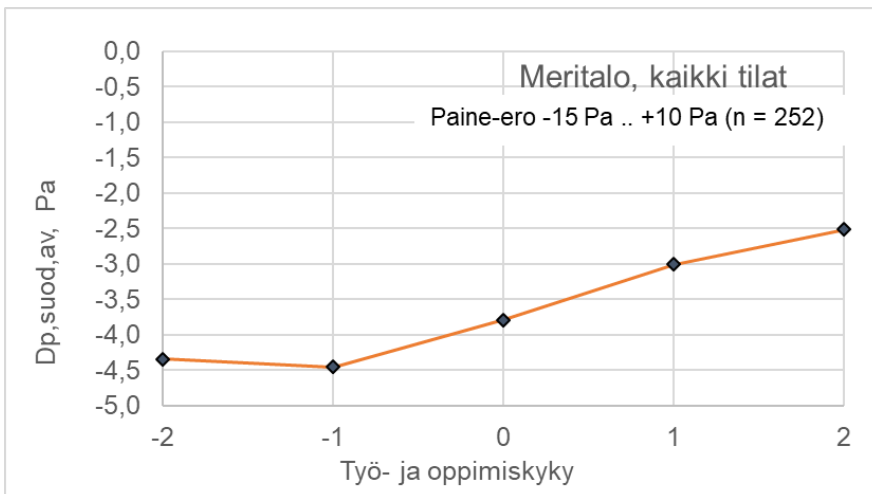
**Kuva 46.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus suorasta säteilystä Meritalossa vuoden 2020 syyslukukaudella.

Kiinteistöautomaation kautta saatiin tulo- ja poistoilmamäärät tiloille. Työ- ja oppimiskyky riippuu keskimääräisistä ilmamääristä tiloissa (kuva 47). Tässä ilmanvaihtomäärää ei ole suhteutettu tilan koon tai henkilömäärän mukaan vaan arvot ovat absoluuttisia ilmamääriä. Siten ne eivät suoraan kuvaa ilmanvaihdon tehokkuutta. Suuri ilmamäärä voi korreloida tilan tilavuuden kanssa. Tulosten perusteella suuri ilmamäärä (ilmanvaihdon tehokkuus, tilan koko) korreloi parhaan työ- ja oppimiskyvyn kanssa.

Paine-eromittaukset rakennuksen sisä- ja ulkoilman välillä eivät antaneet kovinkaan luotettavalta vaikuttavia tuloksia. Vuoden 2019 mittauksissa paine-ero saattoi vaihdella välillä -124 Pa ... +123 Pa ja syyskaudella 2020 vastaavasti välillä -95 Pa .. + 78 Pa. Nämä ääriarvot ovat käytännössä jokseenkin mahdottomia, jos ilmanvaihto on viritetty toimimaan edes kohtuullisen oikein. Lisäksi suuret paine-erot huomattaisiin nopeasti mm. ovien avautumisongelmina ja voimakkaana vetona tilojen välillä. On ilmeistä, että paine-eromittauksissa on joko laitteen tai mittausyhteen aiheuttamaa virhettä. Osittainkin tukkeutunut mittausletku voi aiheuttaa merkittävää virhettä mittauksiin. Epäluotettavista mittausarvoista huolimatta niitä pyrittiin hyödyntämään. Tämä tehtiin suodattamalla mitatuista arvoista käyttöön vain välillä [-15 Pa, +10 Pa] olevat arvot. Tämä ei tietenkään takaa lukemien oikeellisuutta, mutta poistaa ainakin pahimmat virhearvot. Näin suodatettujen paine-eroarvojen ja työ- ja oppimiskyvyn välille saatiin riippuvuus (kuva 48). Tämän perusteella paras työ- ja oppimiskyky saavutettaisiin suhteellisen pienen alipaineen tilanteessa, mikä tukisi tavoitetta ilmanvaihdon tasapainoisesta toteutumisesta ja vähäisistä vuotoilmavirtauksista. Tulos vaatisi vahvistusta muita kohteista ja ennen kaikkea luotettavaa paine-erodataa käsittelyn pohjaksi.



**Kuva 47.** Koetun työ- ja oppiskyvyn riippuvuus tilojen keskimääräisistä tulo- ja poistoilmamääristä Meritalossa vuoden 2020 syyslukukaudella.

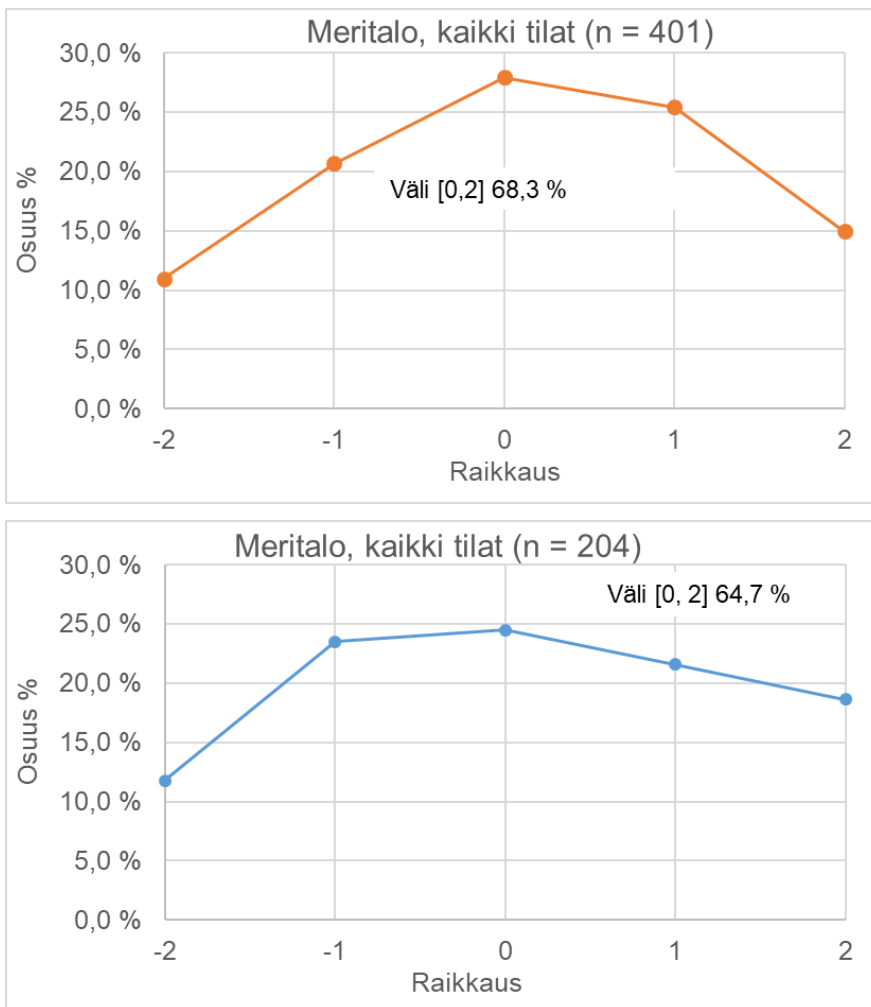


**Kuva 48.** Koetun työ- ja oppiskyvyn riippuvuus tilojen ja ulkoilman välisestä keskimääräisestä paine-erosta Meritalossa vuoden 2019 aikana. Mittausdatasta on suodatettu pois paine-eroalueen -15 Pa - +10 Pa ulkopuoliset arvot, mutta tämänkin mittausdatan luotettavuus on heikko.

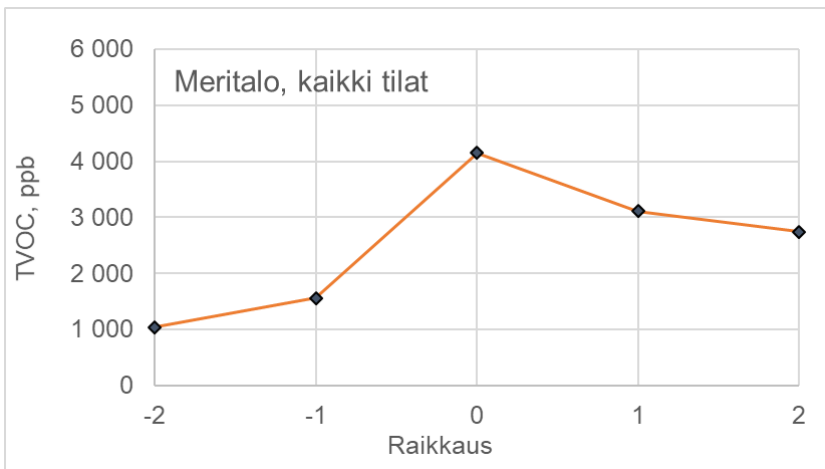
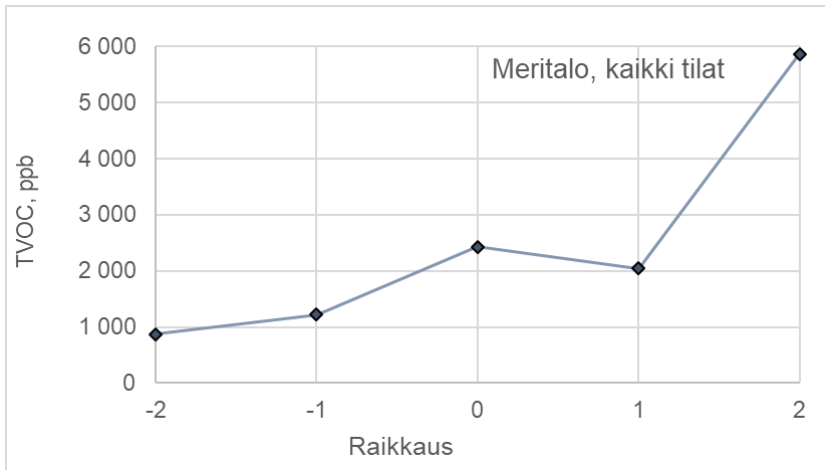
#### Koettu sisäilman raikkaus

Meritalon kaikkien tarkasteltujen tilojen sisäilma koettiin riittävän raikkaaksi [0, 2] noin 2/3 vastauksista (kuva 49). Riippuvuuksia lämpötilasta, suhteellisesta kosteute-

desta, entalpiasta tai CO<sub>2</sub> -tasoista ei löytynyt. Riippuvuuksia mitatuista oloista löytyi vain TVOC -tasojen kanssa. Tulos oli saman suuntainen työ- ja oppimiskyvyn riippuvuuden kanssa, hyväksyttävä raikkaus koettiin suurimmilla keskimääräisillä TVOC -tasoilla (kuva 50).



**Kuva 49.** Koetun sisäilman raikkauden jakauma Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

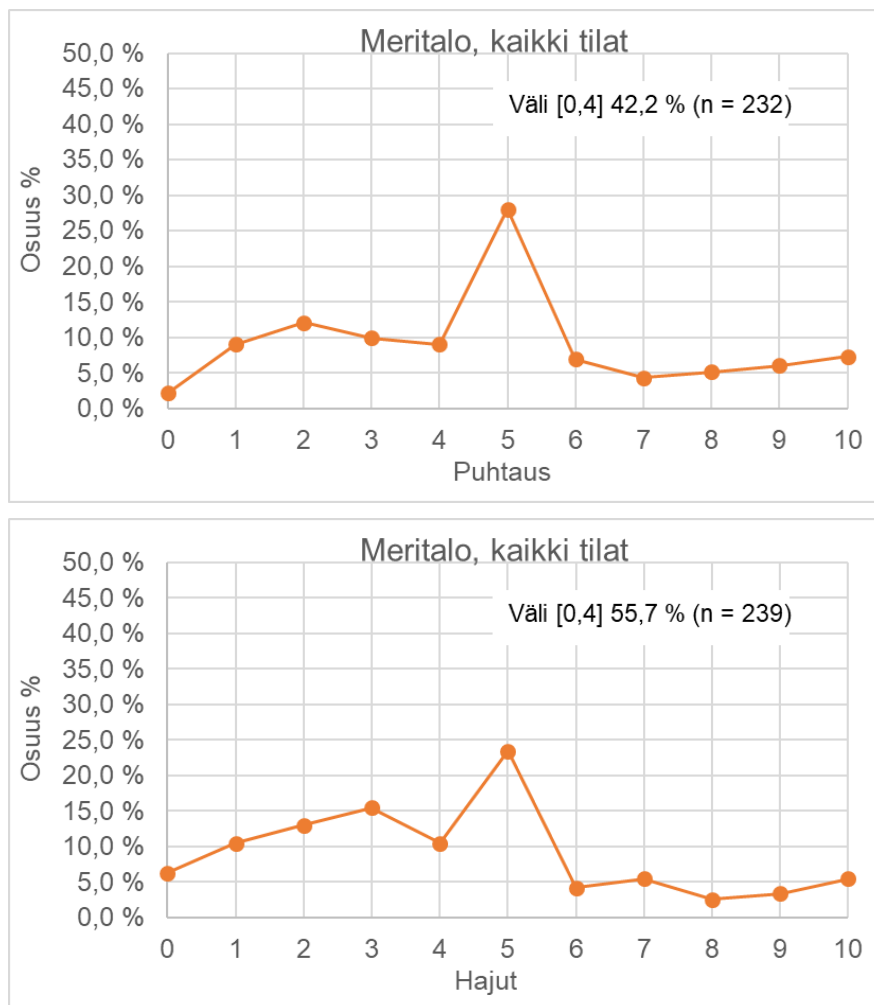


**Kuva 50.** Koetun sisäilman raikkauden riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman TVOC -tasosta Meritalossa vuonna 2019 (ylempi) ja 2020 syyslukukaudella (alempi).

Eräs havainto oli koetun raikkauden riippuvuus ilmanvaihdosta. Yhdessä luokkahuoneessa (255) oli ilmanvaihto ilmeisesti jostain syystä ainakin vahvasti poikkeava tai jopa poissa päältä yhtenä päivänä. RAU-datan mukaan ilmanvaihto oli poissa päältä, mutta poikkeamaa kuvattiin datakatkona. Tilasta syyskauden 2020 aikana annetuista 11:stä raikkautta koskevasta palautteesta kahdeksan oli kyseisen päivän ajalta ja näistä viisi kuvasi tilaa raikkaudeltaan hyvin huonoksi (-2) ja yksi huonoksi (-1). Tilojen käyttäjät aistivat herkästi puutteet ilmanvaihdossa.

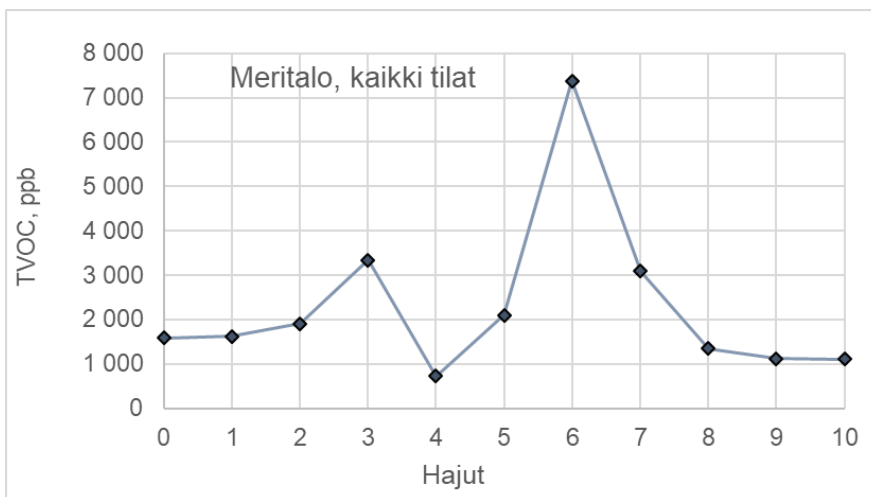
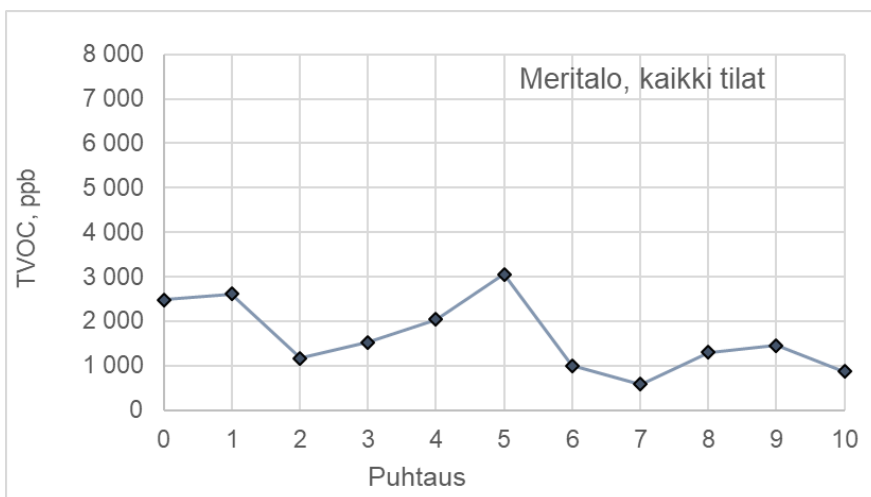
## Puhtaus ja hajut

Sisäilman puhtauden ja koettujen hajujen jakauma ja riippuvuus olivat samankaltaiset, joten ne esitetään yhdessä. Kuva 51 esittää jakaumia vuoden 2019 aikana. Huippu oli molemmissa tasolla 5, joka kuvaa jonkin verran huonoa puhtauden tunnetta ja häiritsevää hajua. Muuten jakauma oli suhteellisen tasainen painottuen puhtaan ja vähähajuisen alueen arvoihin [0,4]. Erona Kaisaniemen alakoulun vastauksiin oli, että heikoin ääriarvo 10 ei Meritalossa ollut painottunut vastauksissa.



**Kuva 51.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja siinä koettujen hajujen (alla) jakaumat Meritalossa vuonna 2019.

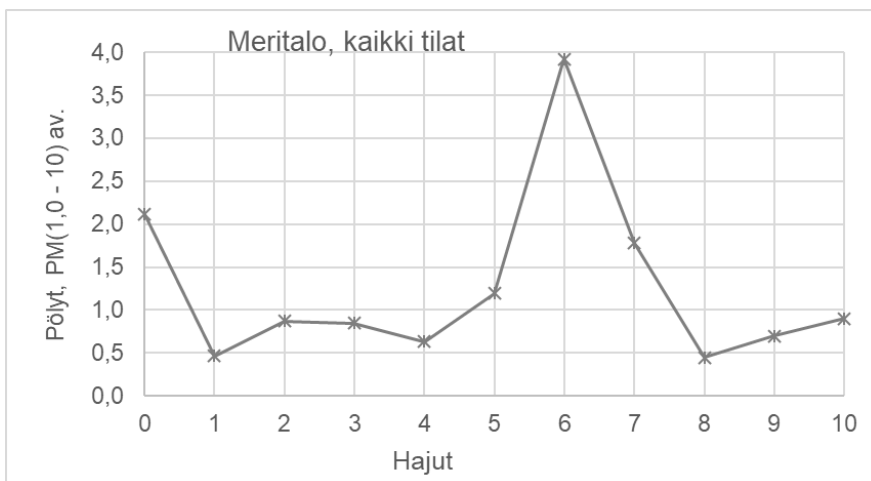
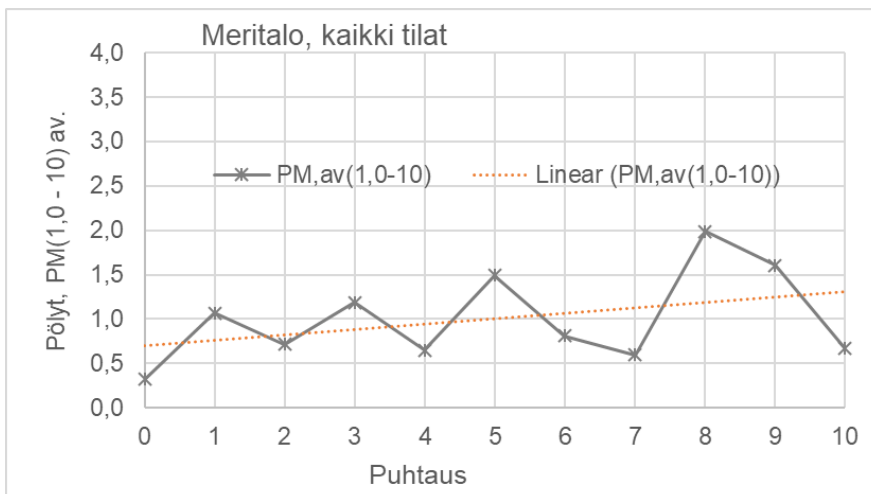
Koetun sisäilman puhtauden ja hajujen riippuvuus TVOC -tasosta oli loogisempaa kuin työ- ja oppimiskyvyllä (kuva 52). Suurin keskimääräinen TVOC -taso vastasi koettua puhtaustasoa 5 ja hajutasoa 6, jotka kuvaavat selvästi heikentynyttä sisäilman laatua. Suuret TVOC -tasot koetaan hajuina, muttei välttämättä äärimmäisen häiritsevinä kaikissa tilanteissa. Selvää korrelaatiota eri kokemustasojen ja mittaus-ten välille ei kuitenkaan ollut.



**Kuva 52.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman TVOC -tasosta Meritalossa vuonna 2019.

Kuva 53 esittää sisäilman koetun puhtauden ja hajujen riippuvuuden keskimääräisestä pölypitoisuudesta. Puhtauden kokemuksen ja pölypitoisuuden välillä oli suhteellisen lievä riippuvuus koko alueella. Hajujen taso 6 koettiin tilanteessa, jossa

keskimääräinen pölypitoisuus oli korkein. Pölypitoisuudella on jonkinlainen vaikutus koettuun sisäilman puhtauteen ja osittain myös hajuihin.



**Kuva 53.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman pölypitoisuudesta Meritalossa vuonna 2019.

#### 4.2.3 Johtopäätöksiä Meritalon seurannasta

Selkeitä riippuvuuksia koettujen sisäilman olosuhteiden ja mittaustulosten välille ei tässä tapauksessa voitu muodostaa. Joitain suuntia antavia riippuvuuksia saatiin esille:



- Vaikka sisäilman kosteutta ei suoraan aistita, on sillä merkitystä koetun työ- ja oppimiskyvyn kannalta. Liian alhainen suhteellinen kosteus tai korkeahko sisäilman lämpötila yhdistettynä lievästikin korkeisiin suhteellisen kosteuden arvoihin korreloi huonon työ- ja oppimiskyvyn kanssa. Sopiva suhteellisen kosteuden alue on näiden palautteiden ja mittausten perusteella välillä noin 30–35 % RH.
- Alhainen auringon suora säteily, hyvä ilmanvaihto ja tasapainoinen ilmanvaihto ilman suuria paine-eroja rakennusvaipan yli voivat edistää hyvän työ- ja oppimiskyvyn kokemusta
- Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrällä sisäilmassa (TVOC) oli positiivinen korrelaatio työ- ja oppimiskyvyn kanssa ja viitteitä osittaisesta positiivisesta korrelaatiosta koetun raikkauden kanssa. Tämä voi selittyä korkeat TVOC -tasot aiheuttavista, opetukseen kuuluvista kemikaaleista, jotka mielletään positiivisina.
- Koettu sisäilman puhtaus ei riippunut sisäilma TVOC -tasosta, mutta sillä oli lievä riippuvuus pölypitoisuudesta siten, että koettu epäpuhtaus kasvoi pölypitoisuuden kasvaessa
- Koetuilla hajuilla ei ollut selvää riippuvuutta, mutta suurin TVOC ja pölytaso sijoittuivat selvästi hajuhaittaa kuvaavalle tasolle [6]

Tässä esitetyt tulokset pätevät tarkastellulle kohteelle, jossa on mm. kauneudenhoitoalan ammattikoulutusta. Tällaisten tilojen käyttäjät ovat opiskeluympäristössään tottuneet mm. erilaisiin kosmeettisten aineiden tuoksuihin, ja niitä pidetään asiaankuuluvina tässä yhteydessä. On selvä, että tässä esitetyt tulokset TVOC -tasojen kokemisen osalta eivät suoraan päde esimerkiksi tavanomaisessa toimistoympäristössä. Lisäksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja niiden aiheuttamien hajujen välillä on paljon eroja.

## 5. Espoon sisäilmakohteet

### Kohteiden valinta

Smart & Clean -sisäilmaltaan laadukkaat ja kustannustehokkaat tilat -hankkeessa selvitetiin hyvän sisäilman tekijöitä reaaliaikaisin mittauksin ja käyttäjäpalauttein. Jatkohankkeena kehittyi tämä Sisäilma 2020-tutkimushanke. Tässä hankkeessa oli mukana samoja kohteita kuin Smart & Clean -hankkeessa: Kirkkojärven koulu, Tapiolan koulu ja lukio, Mainingin päiväkoti, Niittykummun päiväkoti ja Vanttilan päiväkoti. Tutkimuskohteiksi valikoitui samoja uusia ja peruskorjattuja rakennuksia. Tarkemman tarkastelun ja analysoinnin kohteeksi valikoituivat Tapiolan koulu ja lukio sekä Vanttilan päiväkoti, joissa kummassakin on nykyaikaiset Talotekniset järjestelmät ja mittaushistoriaa on kerättävissä pitemmältä ajalta rakennusautomaatiojärjestelmästä.

Anturidatan lisäksi kohteissa kerättiin käyttäjäkokemusta Feedbacklyn palaute-laitteilla. Vanttilan päiväkodissa palautelaitteita on 4 kappaletta ja Tapiolan koulussa ja lukiossa vastaavasti 6 kappaletta. Kerätyn datan avulla saadaan tietoa käyttäjien kokemasta sisäilmasto-olosuhteista ja vertailla käyttäjien kokemusta olosuhdemittausten tuottamiin tuloksiin.

### Taloautomaatio

Tapiolan koulussa ja Vanttilan päiväkodissa on kummassakin Fidelix-rakennusautomaatiojärjestelmä. Tapiolan koulun ja lukion Fidelix-rakennusautomaatiojärjestelmän valvomo liitettiin etävalvottavaksi ja monitoroitavaksi VTT:n tutkimuskäyttöön. Vanttilan päiväkodista RAU-järjestelmän historiamittaustietoa kerättiin muistitikulle. Tapiolan koulun ja lukion rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen rakennuksen pohjakuvien kautta ilmanvaihtokoneiden palvelualueiden eri mittauspisteet paikallistuvat, ja rakennusautomaation kautta olosuhdemittaustietojen historiaa oli myös kerättävissä laajemmalla repertuaarilla IoT-anturidatan lisäksi. Mittaustietojen vertailu ja laajempi hyödyntäminen mahdollistui myös tätä kautta. Kiinteistön energiankulutusta ja sen korrelaatiota mittaus- ja palautekyselyihin on myös mahdollista kehittää jatkossa, kun tiedonsiirtoyhteys energiamittausten keskitimeltä VTT:lle on avattu.

### Mittalaitteet

Rakennuksissa mitattiin lämpötiloja, hiilidioksidipitoisuuksia, suhteellista kosteutta, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), äänenpainetta sekä paine-eroja ulkoilman ja sisäilman välillä.



**Kuva 54.** Telian Yanzi- tukiasema sekä Comfort-sensorit ovat käytössä sisäilman laatua mitattaessa.



**Kuva 55.** Telian Cloudgate-tukiasemat ja Monnit Alta -paine-erosensorit ovat käytössä paine-erojen mittauksessa kohteissa.

### **Hankkeen palautejärjestelmä**

Hankkeen tavoitteiden mukaisesti oli tarkoitus kerätä mittarointijärjestelmän lisäksi dataa Feedbacklyn käyttäjäpalautteen avulla. Käyttäjäpalautetta oli tarkoitus kerätä kohteen eri käyttäjiltä, joita olivat oppilaat sekä koulun ja päiväkodin henkilökunta. Palautelaitteet sijoitettiin niihin tiloihin, joissa oli paine-eroa ja sisäilmaolosuhteita mittaavia antureita. Palautetta oli mahdollista antaa tablettitietokoneeseen asenne-

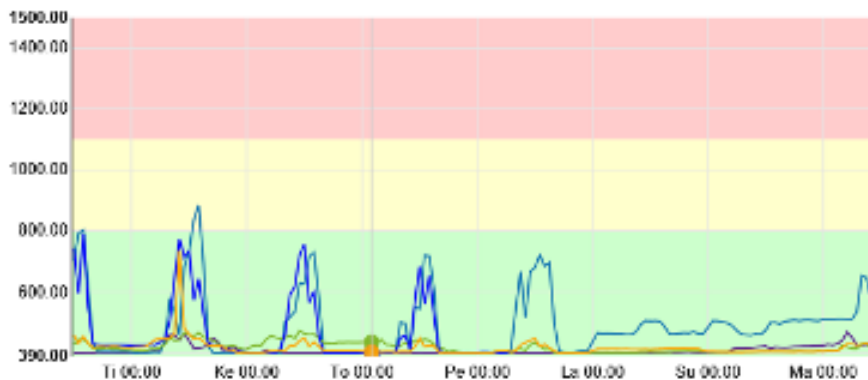
tulla kyselyllä. Tapiolan koulussa ja lukiossa oleviin tabletteihin asennettiin QR-koodit hygieenisyyden takia (Covid-19) tammikuussa 2021, mutta nämä palautteet eivät ole tässä raportissa datana. Kysymyspatteristo esitetty luvussa 3.1.2

### Yhteistyö tilojen käyttäjien ja Espoon tilapalvelujen välillä

Asiakkaiden, tässä tapauksessa koulujen rehtorit ja opettajat, kanssa on käsitelty anturigraafeja Teamsin välityksellä reaaliaikaisesti. Asiakkaat ovat olleet tyytyväisiä saamaansa tietoon kiinteistönsä vallitsevista sisäilmasto-olosuhteista. Reaaliaikaisen datan avulla saadaan ajankohtaista tietoa sisäilmasto-olosuhteista, jota hyödynnetään kiinteistönhoidossa, viestinnässä, kohteiden sisäilmatutkimuksissa ja muissa palveluliiketoiminnoissa. Analysoimalla antureiden tuottamaa dataa, pystytään reagoimaan ja vaikuttamaan nopealla aikataululla poikkeavaan mittaustulokseen ja selvittämään sen syitä.

Haasteena on ollut paine-eroantureiden letkujen toimimattomuus. Paine-eroantureiden mittausletkujen toisen pään asentaminen ikkunan ulkopuolelle hallitusti, ja toimiminen on tuottanut toisinaan haastetta mittaustiedon oikeellisuuden varmistamisessa.

Tukiasemien ja antureiden irtoaminen verkkoliitännästä koulun käyttötiloissa on toisinaan aiheuttanut väliaikaisia ongelmia anturidatan luenta.



**Kuva 56.** CO<sub>2</sub>-mittausgraafi Vanttilan päiväkodista 2.–8.2.2021.

## 5.1 Tapiolan koulu ja lukio



Tapiolan yläkoulun ja lukion rakennus osoitteessa Opintie 1 saatiin ensimmäisen kerran valmiiksi 1961 ja se peruskorjattiin sekä laajennettiin vuonna 2016. Toimipisteessä on kolme kerrosta, jossa opetusta on yläkoululle sekä lukiolle, yhteensä lähes tuhannelle oppilaalle. Neliöitä on 9831 m<sup>2</sup>.

Rakennuksen Talotekniikka uusittiin rakennuksen uudelleen rakentamisen yhteydessä nykyvaatimusten mukaisesti, ja siellä on alueittain ilmanvaihdon erilaisia jakomenetelmiä. IMS-laitteita, tehostuspellein varustettuja tiloja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon takaamiseksi, joissa tehostus tapahtuu avaamalla rinnakkaisen kanavan on-off -peltiratkaisua lämpötila- tai hiilidioksidikriteerien toteutuessa. Myös vakioilmavirtasäätöjä on joissakin tiloissa käytössä. Tuloilmakanavapaineen stabiilius on joissakin käyttötilanteissa ollut ongelmallinen, johtuen ilmeisesti alkuperäisten rakenteiden tuottamista haasteista ja kanaviston epäsymmetrisyydestä.

Tapiolan koulussa ja lukiossa rakennusautomaatiojärjestelmän mittauspisteiden lisäksi paine-eroantureita on 6 kpl ja muita sisäilmasto-olosuhteita mittaavia antureita on 35 kpl. Paine-eroanturit on sijoitettu tiloihin C3, C4, D1170, fysiikan ja kemian luokkaan, kuvaamataidon sekä kotitalouden luokkiin.

Lisäksi sisäilmasto-olosuhteita mittaavia antureita on tiloissa A5, A7, B2, B3, C3, C4, D8, D1170, auditoriossa, liikuntasalissa ja A-siiven käytävällä. Mittalaitteet sijaitsevat ilmanvaihdon tulo- ja poistoelimissä sekä eri korkeuksilla oleskeluvyöhykkeellä.

### 5.1.1 Mittausjaksot

Tarkastelujaksona oli vuosi 2019 (27.2.–26.11.2019).

Alla olevassa kuvassa on esitetty 2019 palautekysymysten korrelaatio toisiin palautekysymyksiin. Kuvaa varten vuoden palautetta on käsitelty luvussa 3.2.2 esitetyllä tavalla. Kuvassa sinisellä merkitty positiivista korrelaatiota ja vastaavasti punaisella negatiivista korrelaatiota. Kuvassa on näkyvissä karkealla tasolla korrelaatioita, joita käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Max of Minkäläiseksi koet opetustilan lämpötilan?	1,00	-0,05	-0,06	0,17	0,08	0,00	0,02	0,00	0,07	0,20	0,15
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman raikkauten?	-0,05	1,00	0,40	-0,12	-0,23	0,37	0,50	0,41	-0,21	-0,32	-0,24
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman kosteuden?	-0,06	0,40	1,00	-0,14	-0,13	0,44	0,47	0,46	-0,19	-0,25	-0,21
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman hajun?	0,17	-0,12	-0,14	1,00	0,63	-0,08	-0,10	-0,06	0,09	0,25	0,20
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman puhtauden?	0,08	-0,23	-0,13	0,63	1,00	0,05	-0,01	0,03	0,11	0,18	0,20
Max of Minkäläinen koet huoneen valaistus?	0,00	0,37	0,44	-0,08	0,05	1,00	0,70	0,63	-0,12	-0,22	-0,05
Max of Minkäläiseksi koet työ- tai oppimisympäristön opetuksessa?	0,02	0,50	0,47	-0,10	-0,01	0,70	1,00	0,75	-0,16	-0,28	-0,09
Max of Minkäläiseksi koet huoneen äänimaailman eli akustiikan?	0,00	0,41	0,46	-0,06	0,03	0,63	0,75	1,00	-0,18	-0,24	-0,10
Max of IV huonelämpötila	0,07	-0,21	-0,19	0,09	0,11	-0,12	-0,16	-0,18	1,00	0,57	0,21
Max of IV hiilidioksidimittaus	0,20	-0,32	-0,25	0,25	0,18	-0,22	-0,28	-0,24	0,57	1,00	0,58
Max of Poisto Temperature	0,15	-0,24	-0,21	0,20	0,20	-0,05	-0,09	-0,10	0,21	0,58	1,00

**Kuva 57.** Tapiolan koulun ja lukion koko vuoden 2019 palautekysymysten korrelaatiot toisiinsa.

### 5.1.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan

Tarkastelussa olivat luokahuoneet yhtenä ryhmänä ja näistä erillään liikuntasali ja auditorio.

#### Koettu lämpötila luokissa

Kuva 58 esittää Tapiolan koulun seuratuissa luokissa koetun lämpötilan jakauman vuonna 2019.

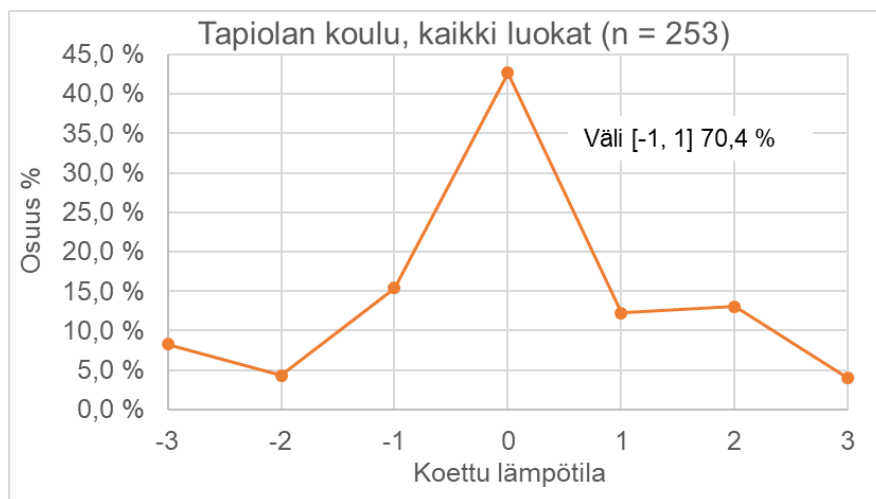
Koetun lämpötila riippuu selvästi sisäilman suhteellisesta kosteudesta mittausalueella. Korkea suhteellinen kosteuspitoisuus on koettu liian kuumaksi (kuva 59). Lisäksi lämpökokemus on ainakin lievästi riippuvainen sisäilman lämpötilasta, vaikka mittauksen keskiarvojen vaihtelualue jäikin suhteellisen pieneksi.

Koetun lämpötilan riippuvuus ilman sisäänpuhallus- ja ulosvirtauslämpötiloissa (kuva 60), joiden korkeimmat arvot vastasivat kuuminta koettua lämpötilaa.

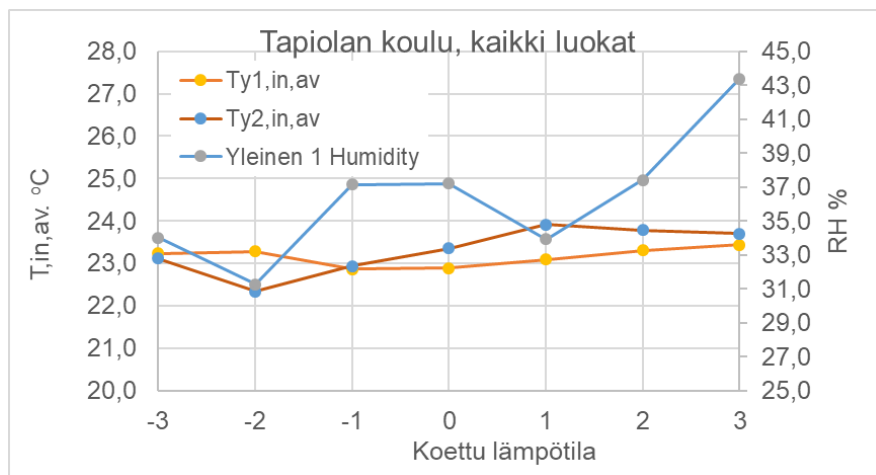
Selkeä riippuvuus koetuille lämpötiloille asteinen lämpimässä päässä saatiin myös sisäilman entalpiain kanssa (kuva 61). Ilman entalpia (energiasisältö) yhdistää lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhdeksi lukuarvoksi. Mittauksista määritetyt

korkeimmat tasot johtivat selvästi liian lämpimäksi koettuun ympäristöön. Keskimääräiset entalpiatasot pysyivät kohtuullisen korkeina, joten samanlaista riippuvuutta viileäksi koetulla alueella ei saatu näkyviin, siinä lämpökokemuksen vaihtelu riippui ilmeisesti henkilöstä ja tämän aktiivisuudesta kuin suoraan sisäilman oloista.

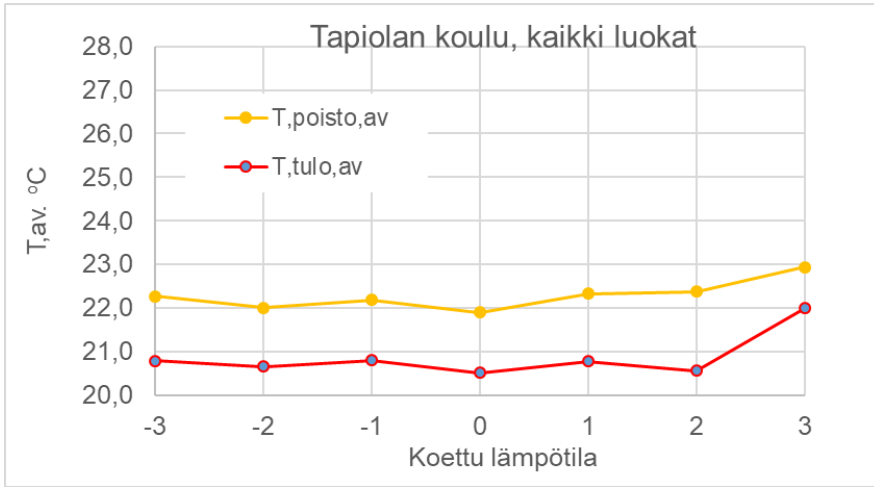
Koetun lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuksien välillä ei nähty riippuvuutta (kuva 62). Lämpimäksi koetulla alueella olivat TVOC -tasot korkeimmat (kuva 63).



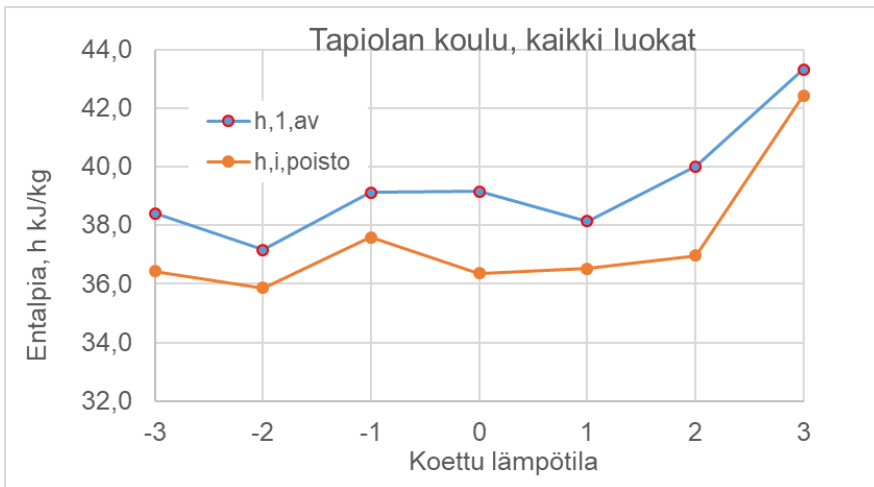
**Kuva 58.** Koetun lämpötilan jakauma Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 59.** Koetun lämpötilan riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019.

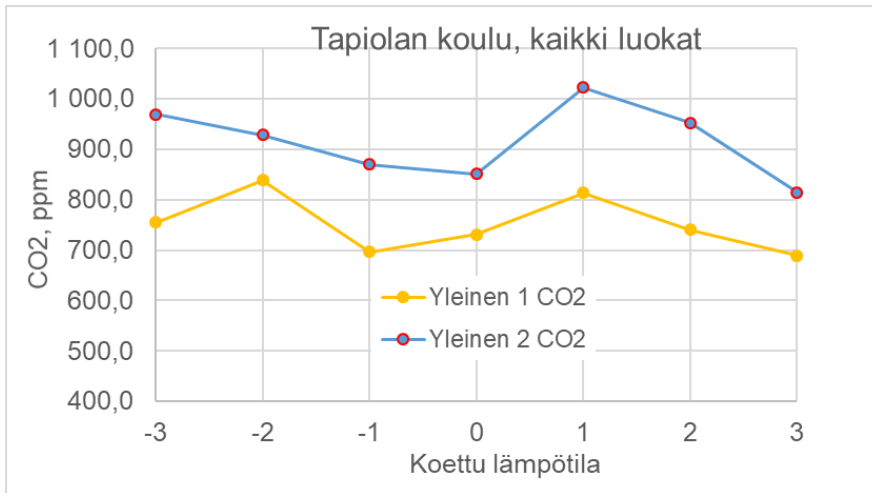


**Kuva 60.** Koetun lämpötilan riippuvuus mitatuista keskimääräisistä tulo- ja poistoilman lämpötiloista Tapiolan koulussa vuonna 2019.

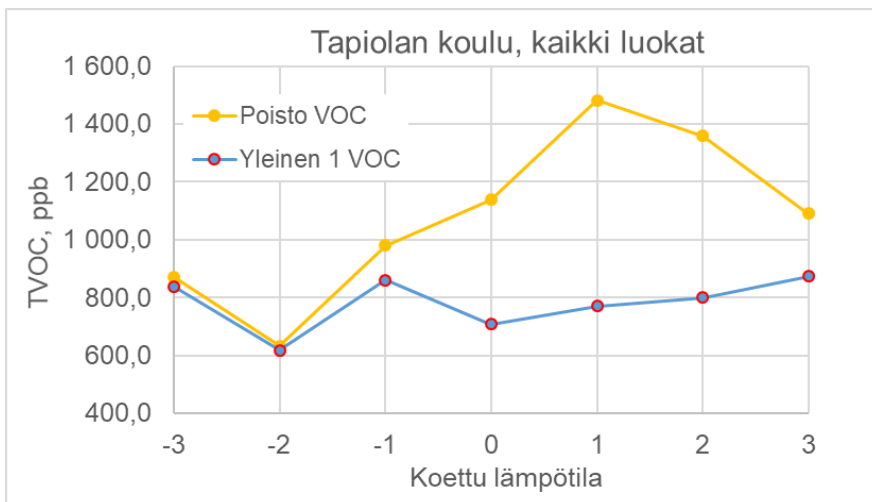


**Kuva 61.** Koetun lämpötilan riippuvuus ilman keskimääräisestä entalpiasta oleskeluvyöhykkeellä (h,1,av) ja poistoilmassa (h,i,poisto) Tapiolan koulussa vuonna 2019.





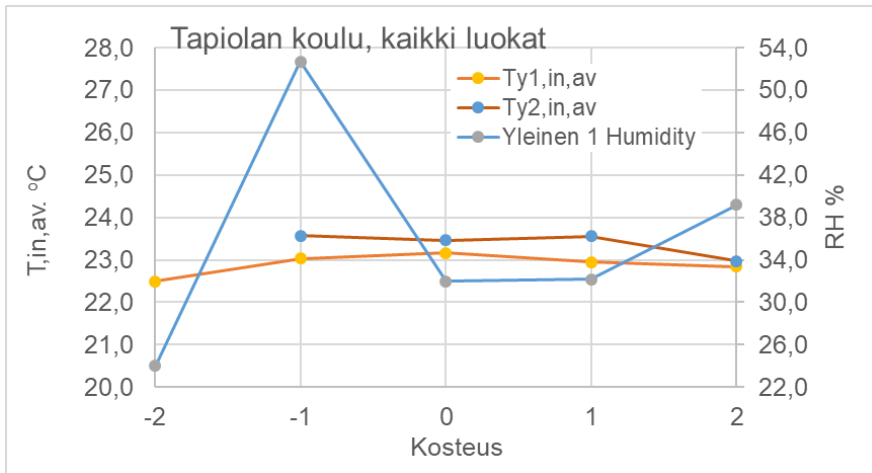
**Kuva 62.** Koetun lämpötilan riippuvuus luokkatiloissa mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 63.** Koetun lämpötilan riippuvuus luokkatiloissa mitatuista haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistasosta Tapiolan koulussa vuonna 2019.

### Aistittu sisäilman kosteus

Sisäilman kosteutta ei aistita suoraan (kuva 64). Melko kuivaksi koetussa ilmassa suhteellisen kosteuden keskiarvo oli korkein. Kosteus kuitenkin vaikuttaa esimerkiksi lämpötilan ja raikkauden kokemuksiin.



**Kuva 64.** Koetun sisäilman kosteuden riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019.

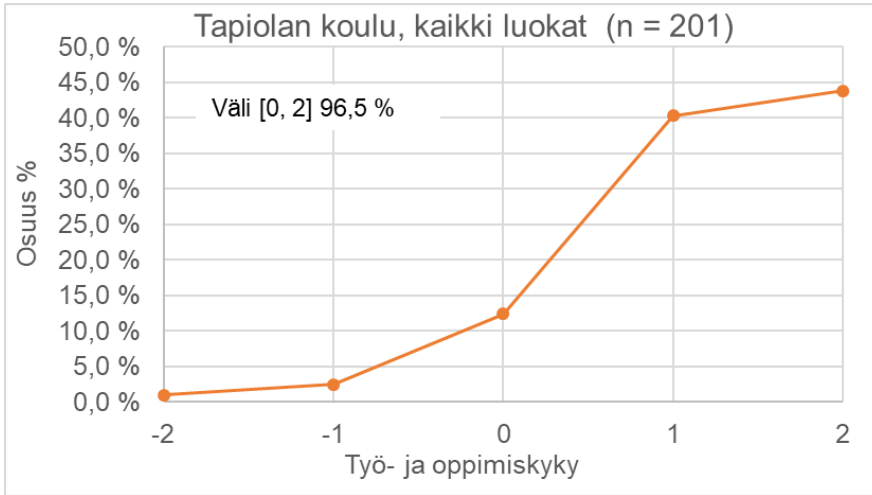
### Työ- ja oppimiskyky luokissa

Koettu työ- ja oppimiskyky kuvaa parhaiten sitä, mihin hyvällä sisäympäristöllä pyritään. Perustarpeiden (terveellisyys ja turvallisuus) toteutuminen ilman olennaisia häiriöitä ja tarkoituksenmukaisella viihtyisyydellä tuottavat hyvän kokemuksen työskentelystä tilassa.

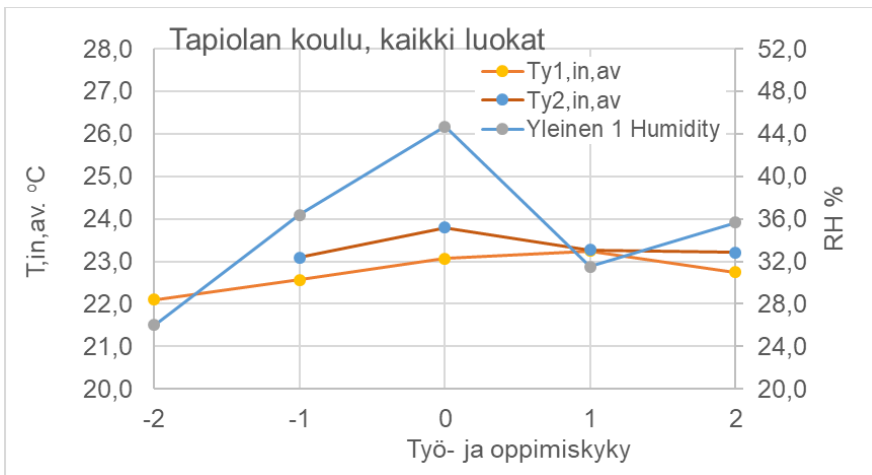
Työ- ja oppimiskyky oli hyvä Tapiolan koulussa vuonna 2019, vastauksista lähes 97 % piti sitä vähintään riittävän hyvänä (kuva 65).

Kuva 66 esittää työ- ja oppimiskyvyn riippuvuuden tiloissa mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta. Lämpötilojen osalta ei voitu havaita riippuvuutta – niiden vaihteluväli oli pieni, joten merkittävät poikkeamat tavoitelluista asetusarvoista puuttuivat. Paras koettu työ- ja oppimiskyky oli suhteellisen kosteuden arvoilla 32–36 % RH, heikoin alimmalla keskimääräisellä arvolla 26 % RH. Korkein noin 44 % RH keskimääräinen taso koettiin vielä riittävän hyväksi.

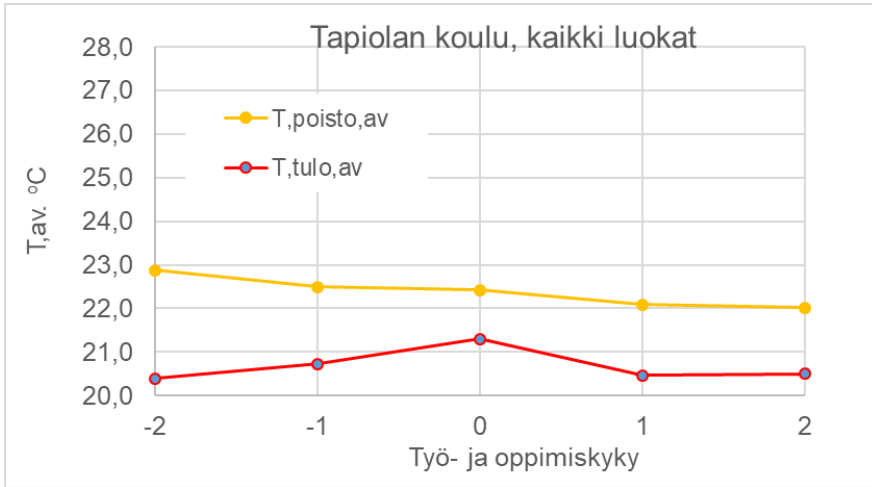
Kuva 67 esittää koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuutta mitatuista keskimääräisistä tulo- ja poistoilman lämpötiloista. Heikoin koettu tilanne oli silloin, kun poistoilman lämpötila oli korkein, jolloin tulo- ja poistoilman lämpötilaero oli suurin. Tässä esitetyt lämpötilat perustuvat kiinteistöautomaatiojärjestelmän tuottamiin arvoihin. Kiinteistöautomaatiosta saadut ja huonetilasta mitatut lämpötilat (kuva 66) lämpötilat eivätkä ne ole suoraan vertailukelpoisia esimerkiksi ilman erilaisen sekoittumisen takia ja koska eri järjestelmien lämpötila-antureita ei ole kalibroitu, eikä lukemia korjattu vastaamaan toisiaan.



**Kuva 65.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn jakauma Tapiolan koulussa vuonna 2019.

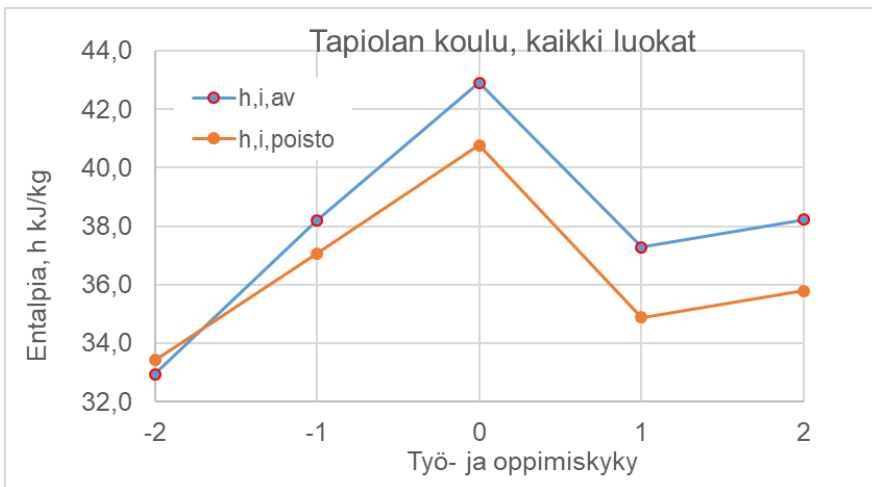


**Kuva 66.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019.



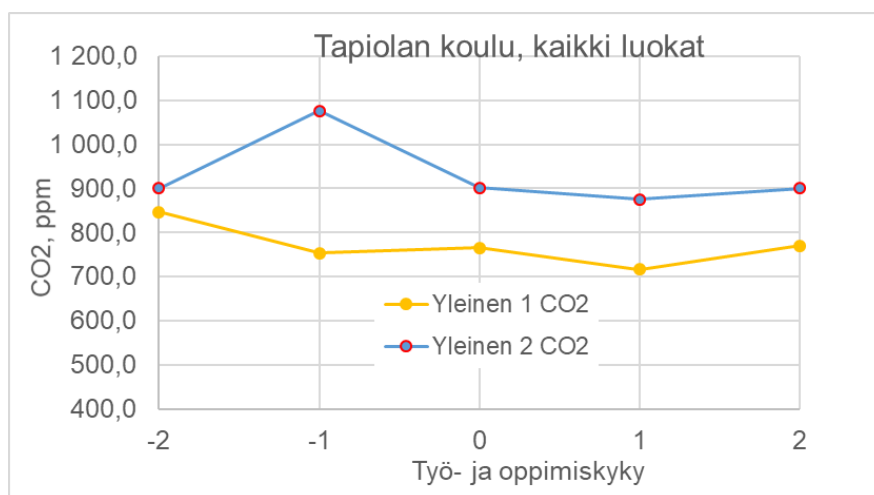
**Kuva 67.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus mitatuista keskimääräisistä tulo- ja poistoilman lämpötiloista Tapiolan koulussa vuonna 2019.

Kuva 68 esittää Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuutta ilman keskimääräisestä entalpiasta oleskeluyöhykkeellä ja poistoilmassa. Riippuvuus vastaa sisäilman suhteelliselle kosteudelle saatua: Heikoin alimmalla entalpian tasolla, siedettävä korkeimmalla ja paras kohtuullisella tasolla.

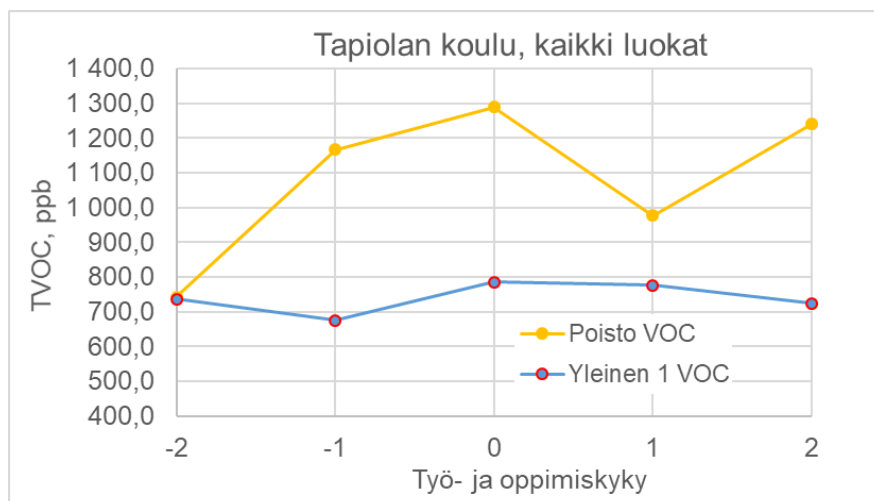


**Kuva 68.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus ilman keskimääräisestä entalpiasta oleskeluyöhykkeellä (h,i,av) ja poistoilmassa (h,i,poisto) Tapiolan koulussa vuonna 2019.

Kuva 69 esittää koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuutta luokkatiloissa mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista ja kuva 70 VOCien -kokonaistasoista. Korkeimmalla CO<sub>2</sub>-tasolla työ- ja oppimiskyky oli heikentynyt [-1]. Korkein keskimääräinen CO<sub>2</sub>-taso on lähes 1100 ppm, mikä antaa viitteitä ilmanvaihdon parantamistarpeesta joissain tiloissa. Hiilidioksidia ei näillä pitoisuuksilla havaita suoraan, mutta se kuvaa henkilöuormituksen ja ilmanvaihdon toteutumisen suhdetta.



**Kuva 69.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus luokkatiloissa mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 70.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus luokkatiloissa mitatuista haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistasosta Tapiolan koulussa vuonna 2019.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistason ja työ- ja oppimiskyvyn välillä ei ollut selkeää riippuvuutta. Pienin mitattu arvo oli heikoimman työ- ja oppimiskyvyn tilanteessa [-2], ja parhaaksi koetussa tilanteessa oli suhteellisen korkea mitattu taso.

### Koettu sisäilman raikkaus luokissa

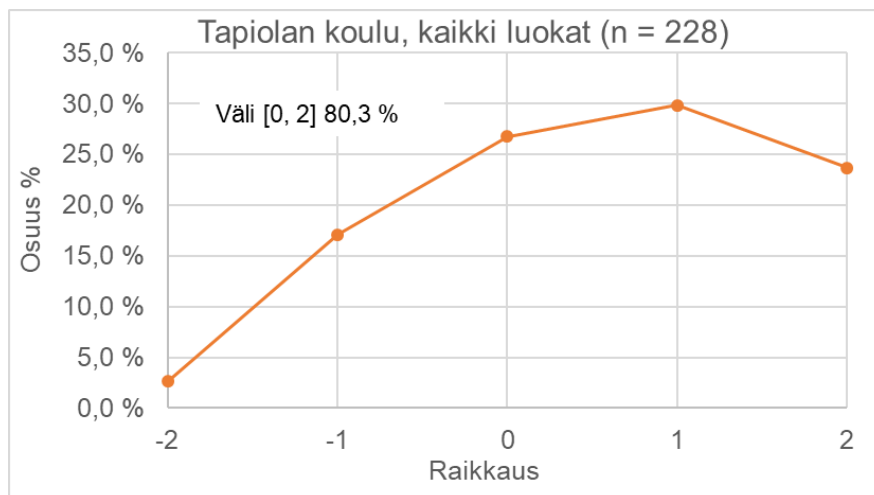
Runsaassa 80 % vastauksista sisäilman raikkaus koettiin Tapiolan koulussa vähintään riittäväksi (kuva 71).

Heikoin koettu raikkaus vastasi sisäilman suhteellisen kosteuden korkeimpia mitattuja keskimääräisiä tasoja (kuva 72). Sisäilman lämpötilan osalta ei selkeää riippuvuutta ollut, vaikka heikoin koettu raikkaus vastasi toinen mitatun lämpötilan alinta arvoa.

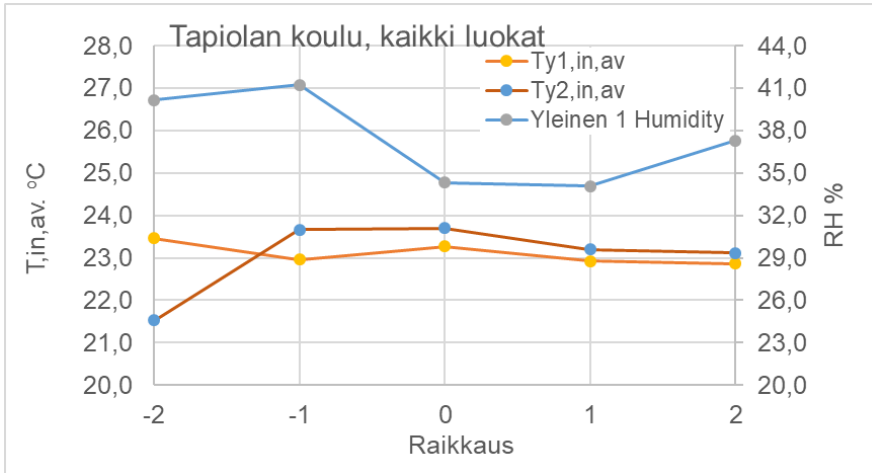
Riippuvuus tulo- ja poistoilman lämpötiloista oli selkeämpi (kuva 73). Korkein tulo- ja poistoilman lämpötilataso vastasi heikointa koettua sisäilman raikkautta.

Koetun raikkauden riippuvuus sisäilman entalpiasta oli selkeä (kuva 74). Raikkaus koettiin hyvänä entalpian kohtuullisilla tasoilla, mutta entalpian kasvaessa raikkauden kokemus heikkeni selvästi.

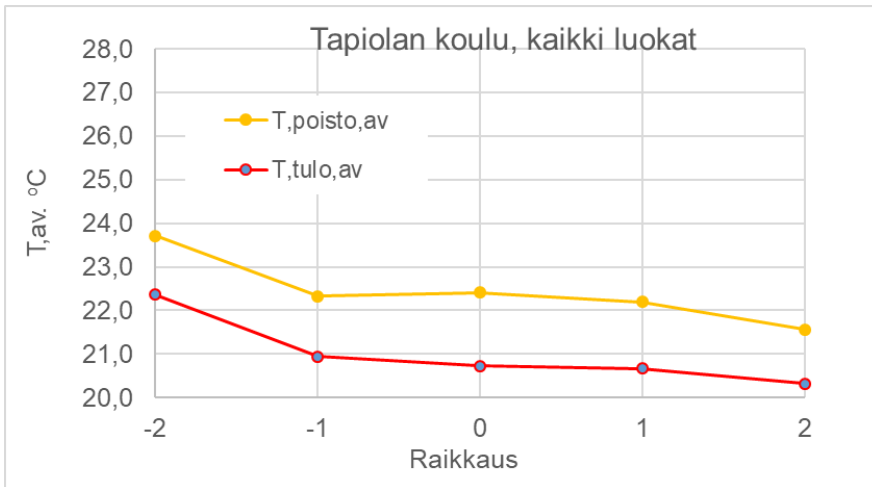
Myös koetun raikkauden ja mitatun CO<sub>2</sub> -tason välinen riippuvuus oli selkeä: CO<sub>2</sub> -tason kasvaessa koettu raikkaus heikkeni (kuva 75). Ilmanvaihdon riittävyys (tilan toteutunut ilmanvaihto / henkilö) aistitaan hyvin ilman raikkautena.



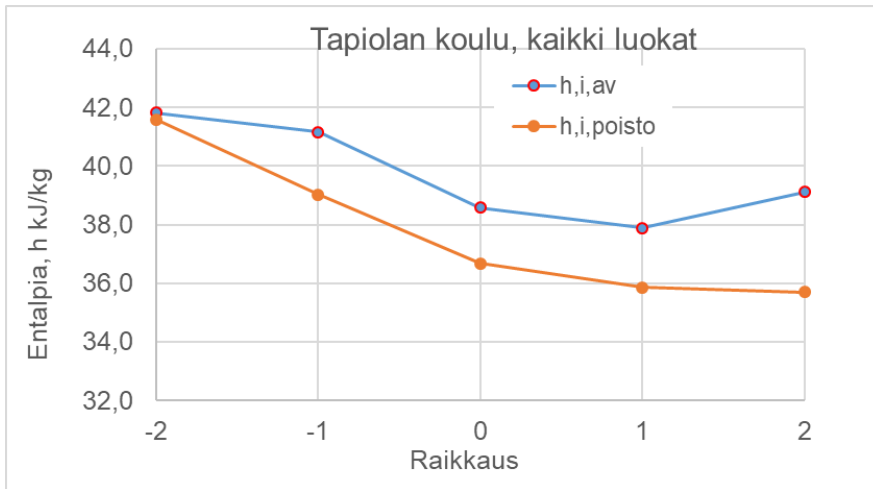
**Kuva 71.** Koetun sisäilman raikkauden jakauma Tapiolan koulussa vuonna 2019.



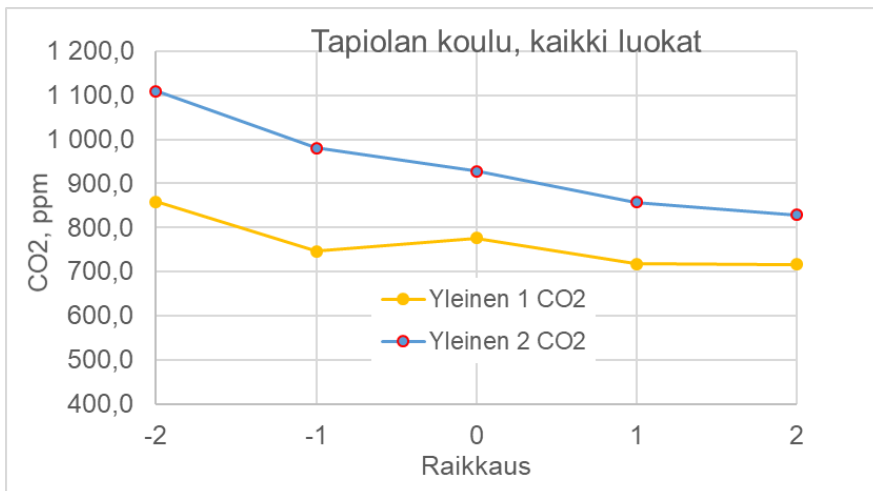
**Kuva 72.** Koetun sisäilman raikkauden riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 73.** Koetun sisäilman raikkauden riippuvuus mitatuista keskimääräisistä tulo- ja poistoilman lämpötiloista Tapiolan koulussa vuonna 2019.



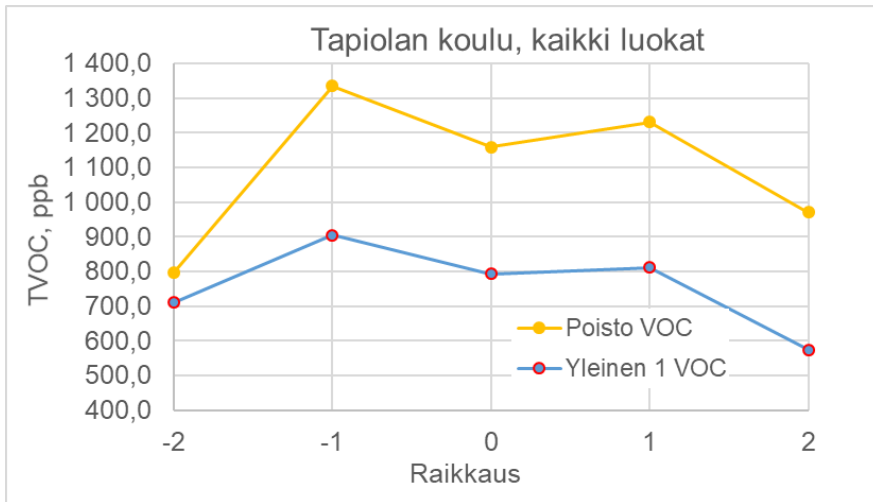
**Kuva 74.** Koetun sisäilman raikkauden riippuvuus ilman keskimääräisestä entalpiasta oleskeluvyöhykkeellä (h,i,av) ja poistoilmassa (h,i,poisto) Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 75.** Koetun sisäilman raikkauden riippuvuus luokkatiloissa mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista Tapiolan koulussa vuonna 2019.

Koetun raikkauden ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistason välillä oli riippuvuus raikkauden tasoilla [-1, 2]. Koettu raikkaus parani heikosta [-1] hyvään [2] TVOC-tason pienentyessä. Poikkeamana oli tunkkaisen koetun tason [-2] alhainen TVOC-taso. TVOC -taso ei suoraan kuvaa tilan raikkautta, muta on eräs indikaattori tähän.





**Kuva 76.** Koetun sisäilman raikkauden riippuvuus luokkatiloissa mitatuista haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistasosta Tapiolan koulussa vuonna 2019.

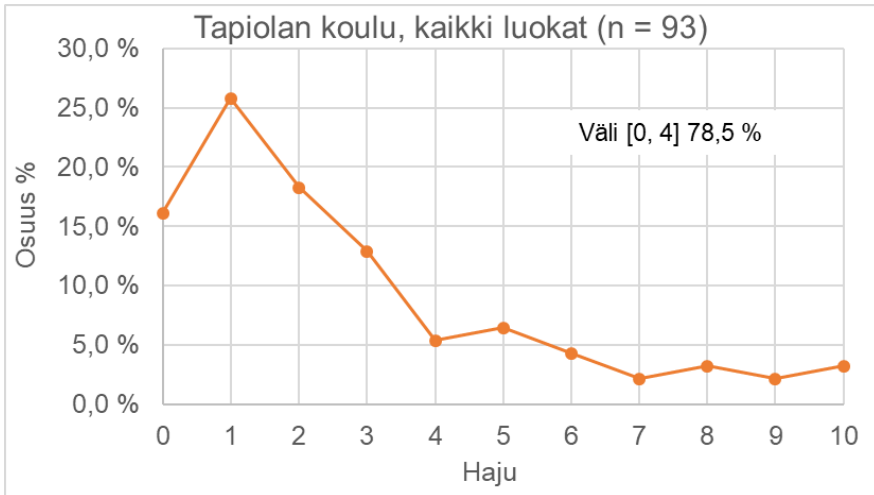
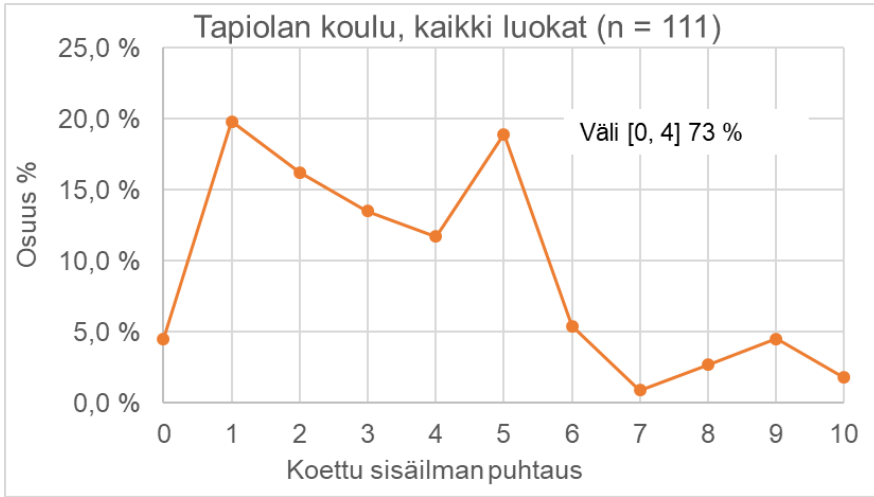
### Sisäilman koettu puhtaus ja hajut luokissa

Sisäilman puhtautta ja hajuja arvioitiin 11-portaisella asteikolla [0, 10], jossa arvo 0 edusti puhdasta ja hajutonta tilannetta ja arvo 10 hyvin epäpuhdasta ja pahanhajuisista sisäilman tilaa. Arvioita näihin saatiin vähemmän kuin muihin arvioitaviin sisäilman tekijöihin, joten eri kokemustasoille oli suhteellisen vähän havaintoja. Esimerkiksi puhtauden arvolle 7 oli yksi palaute ja tasolle 8 kolme palautetta. Tämä vaikuttaa yksittäisten kokemustasojen vertailtavuuteen ja tulosten luotettavuuteen tältä osin.

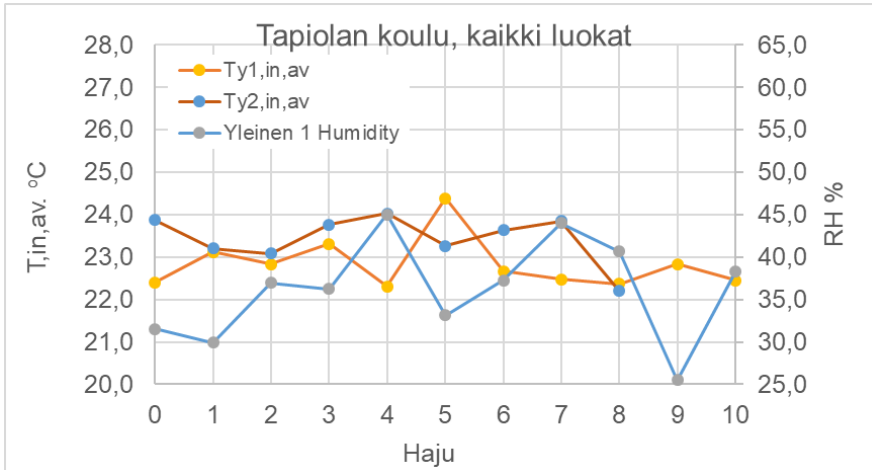
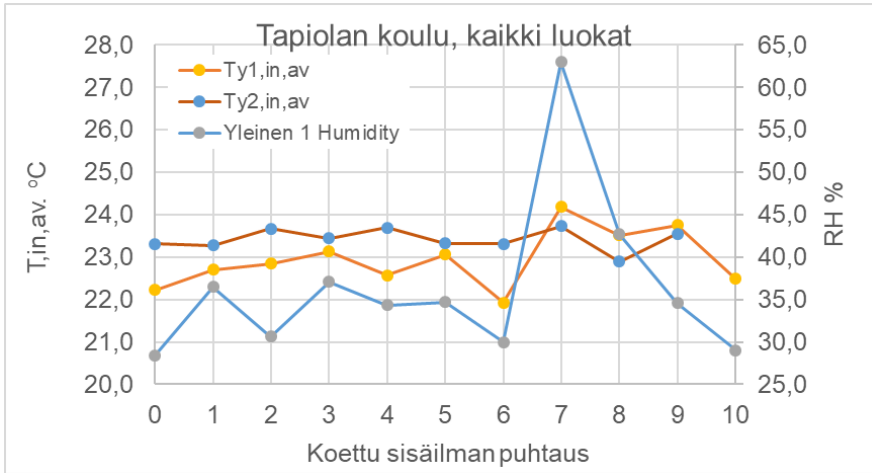
Noin 73 % vastauksista sijoittui puhtauden osalta arviointialueen puhtaaseen päähän alueelle [0, 4] ja hajujen osalta tälle alueelle sijoittui runsaat 78 % vastauksista (kuva 77).

Koetun sisäilman puhtauden tai sen hajujen riippuvuutta sisäilman lämpötilasta ei havaittu, mutta puhtauden tason 7 kokemus vastasi sisäilman korkeinta suhteellista kosteutta (kuva 78). Tässä tosin oli vain yksi palaute, mutta se tukee todettua riippuvuutta sisäilman koetun raikkauden ja korkean suhteellisen kosteuden välillä.

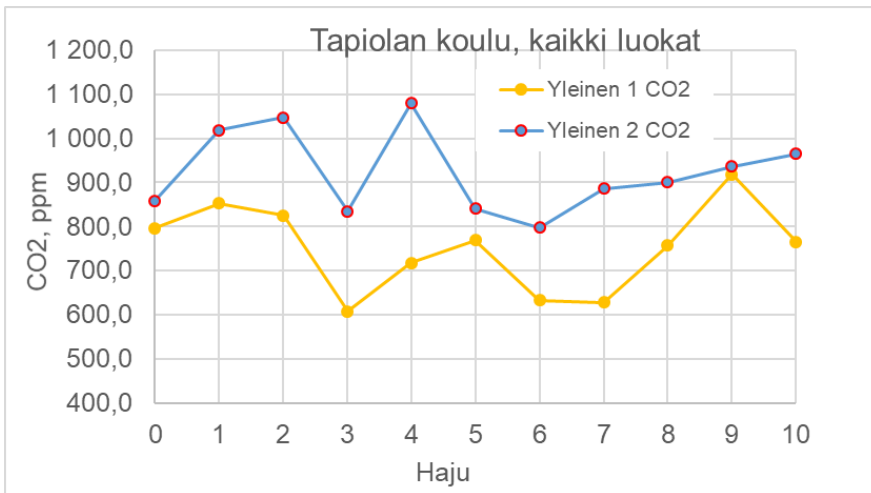
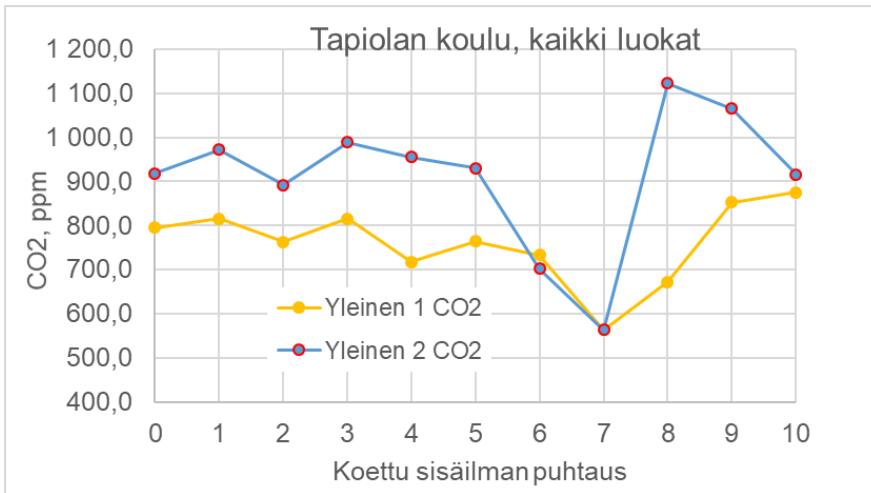
Riippuvuutta CO<sub>2</sub>- tai TVOC- tasoista ei ollut, mutta suurimmat CO<sub>2</sub>-tasot vastasivat koettua puhtaustasoa 7 ja 8 ja suurin TVOC -taso puhtaustasoa 8 ja hajutasoa 7 (kuva 79).



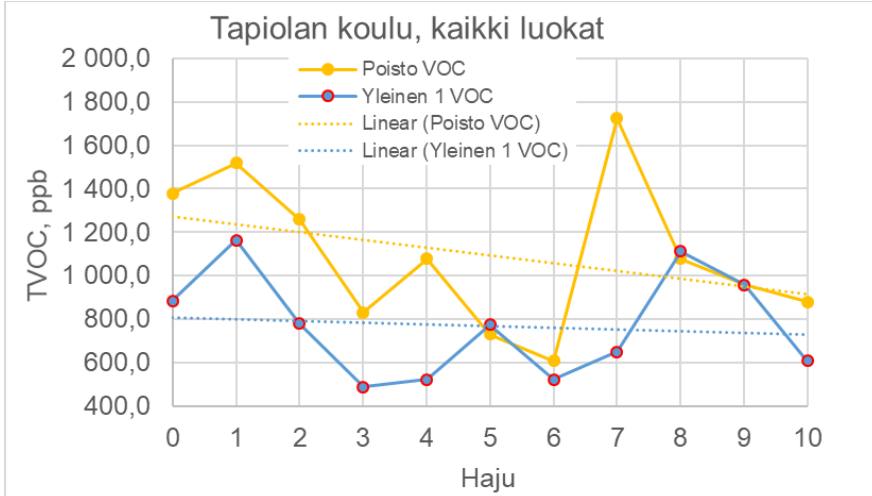
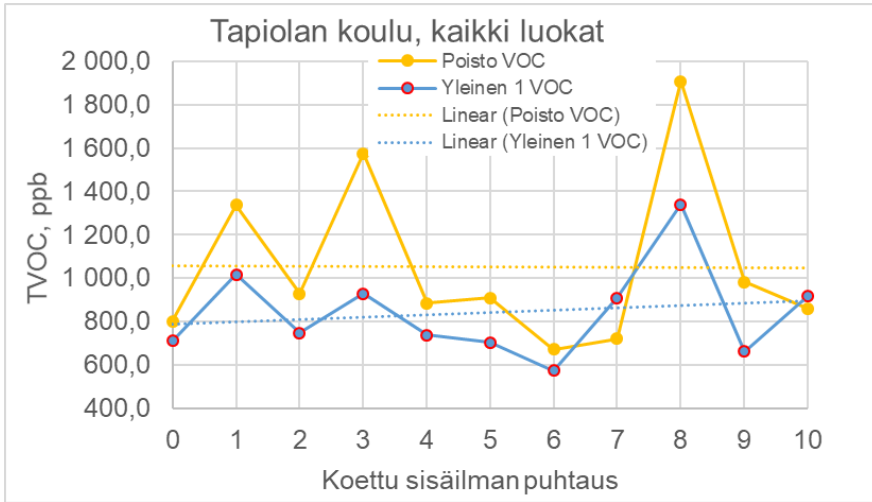
**Kuva 77.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja siinä koettujen hajujen (alla) jakaumat Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 78.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 79.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus keskimääräisistä luokkatiloissa mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista Tapiolan koulussa vuonna 2019.

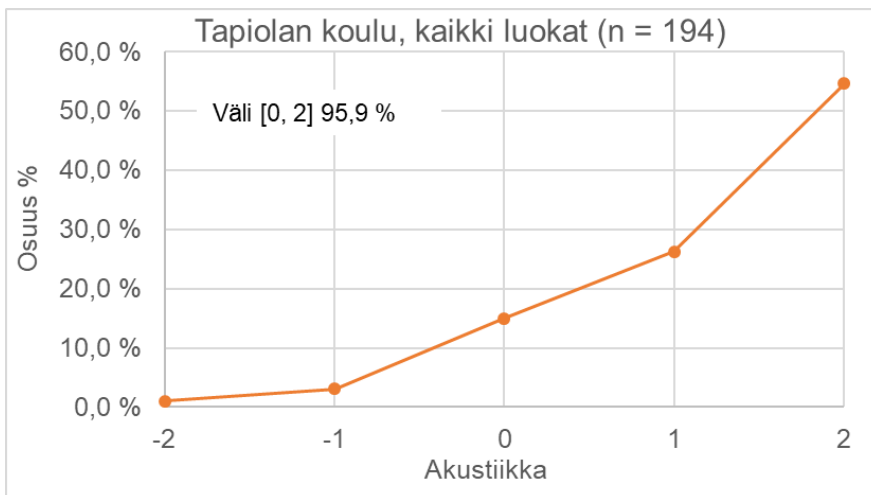


**Kuva 80.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus luokkatiloissa mitatuista haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistasosta Tapiolan koulussa vuonna 2019.

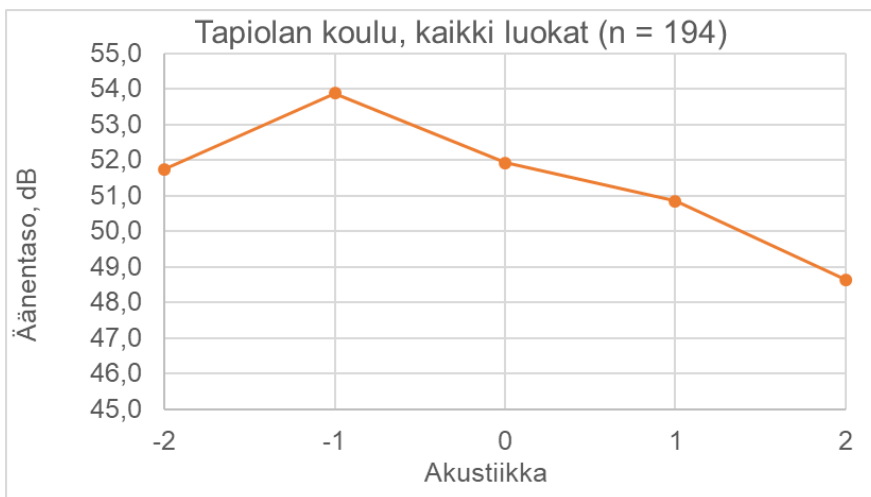
Yhteenvetona koetun sisäilman puhtauden ja siinä koettujen hajujen osalta voidaan todeta, että pieni palautemäärä hajautuneena laajalle arviointialueelle ja tämän yhdistäminen suhteellisen hyvin tavoitearvoissa pysyviin sisäilman arvoihin ei mahdollistanut selkeiden riippuvuuksien löytymistä.

### Äänet ja akustiikka luokissa

Noin 96 % vastauksista edusti riittävän hyväksi koettua akustiikkaa ja äänimaailmaa Tapiolan koulun luokkatiloissa vuonna 2019 (kuva 81). Kokemuksen riippuvuus mitatusta äänentasosta on selkeä (kuva 82).

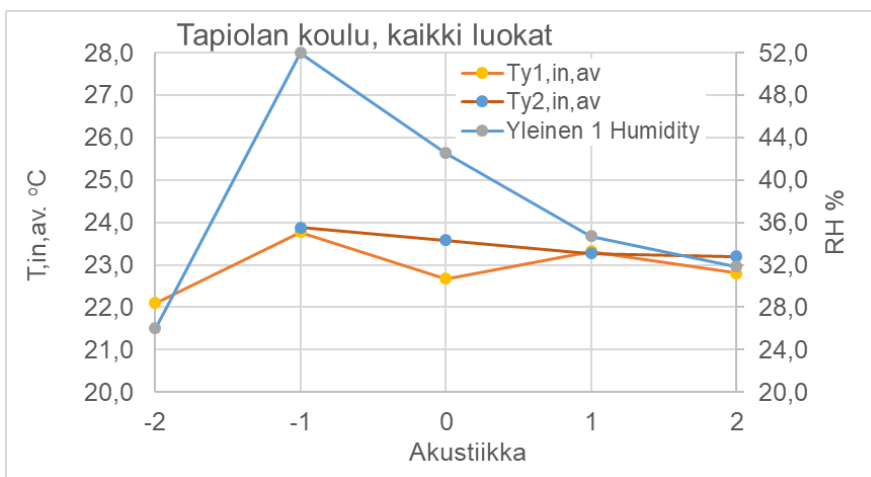


**Kuva 81.** Koetun äänen ja akustiikan olojen jakaumat Tapiolan koulussa vuonna 2019.

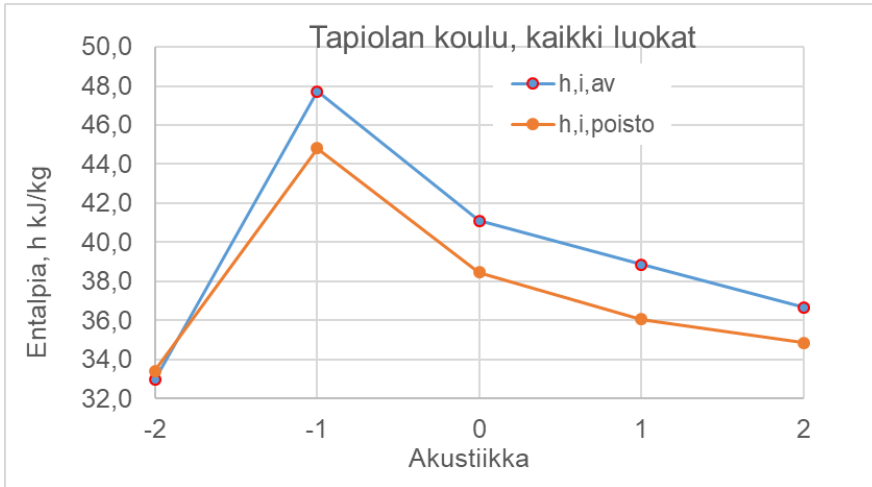


**Kuva 82.** Koettu äänen ja akustiikan olojen riippuvuus mitatusta äänentasoista Tapiolan koulussa vuonna 2019.

Kuva 83 esittää koettua äänien ja akustiikan olojen riippuvuutta keskimääräisestä mitatusta ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019 ja kuva 84 vastaavasti riippuvuutta sisäilman entalpiasta. Huonoimmat akustiikan kokemukset vastasivat sisäilman suhteellisen kosteuden ääritasoja (luokkatilojen keskiarvojen minimi ja maksimi) ja samoin entalpiatasoja. On mahdollista, että äänen ja akustiikan kokemuksiin vaikuttaa välillisesti muut koetut olosuhteet. Korkea kosteus- ja entalpiataso viittaisi mahdolliseen suureen henkilökuormitukseen, mikä voi lisätä tilan äänitasoja.



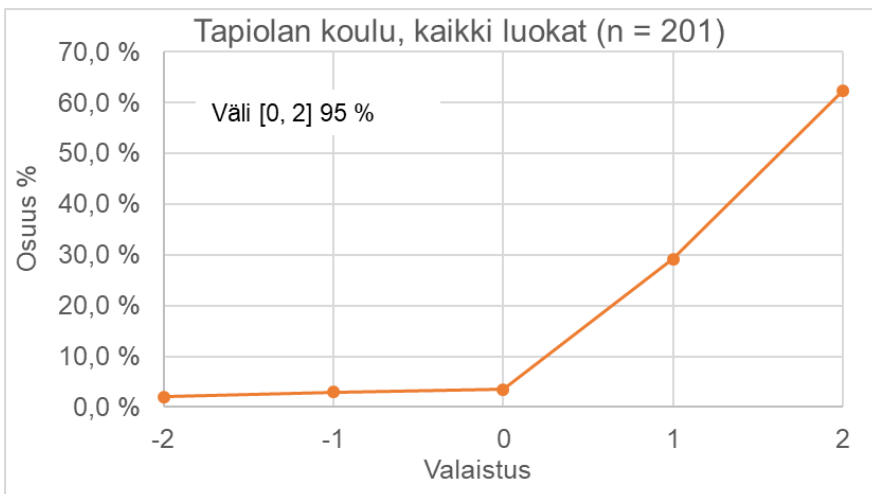
**Kuva 83.** Koettu äänien ja akustiikan olojen riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta Tapiolan koulussa vuonna 2019.



**Kuva 84.** Koettu äänien ja akustiikan olojen riippuvuus ilman keskimääräisestä entalpiasta oleskeluvyöhykkeellä (h,i,av) ja poistoilmassa (h,i,poisto) Tapiolan koulussa vuonna 2019.

#### Valaistus luokissa

Noin 95 % valaistusoloja koskevista vastauksista sijoittui hyväksyttävän ja hyvän alueelle [0, 2] (kuva 85). Valaistukseen liittyviä tekijöitä ei mitattu, eikä muiden mitaussuureiden välille saatu riippuvuuksia.



**Kuva 85.** Koettu valaistusolojen jakauma Tapiolan koulussa vuonna 2019.



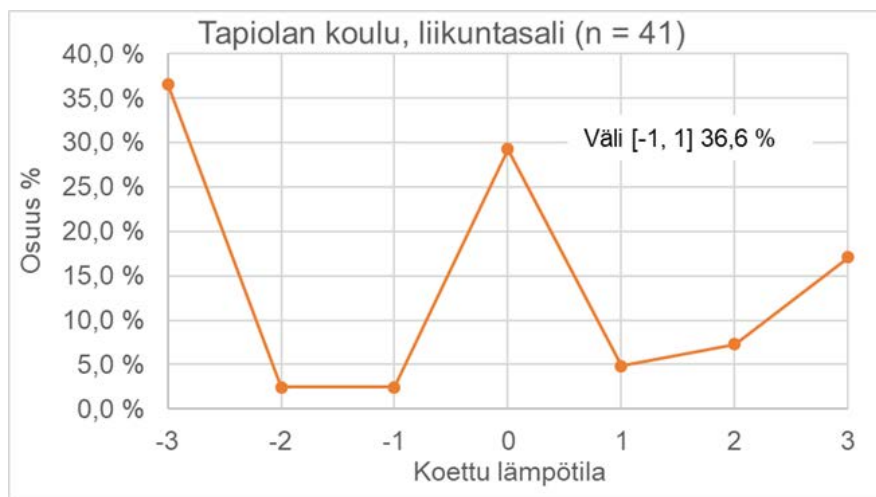
### Liikuntasalin koettu lämpötila

Liikuntasalin oloja tarkasteltiin erillään muista tiloista. Tarkastelu rajattiin vain lämpötilaoloihin. Käyttötarkoituksesta johtuen lämpötilakokemus riippuu vahvasti tilan käyttäjien aktiivisuudesta ja omasta lämmöntuotosta. Lähtökohtaisesti tilan olosuhteiden tulisi olla sopivat aktiiviseen liikuntaan, jolloin tila tuntuu viileältä harjoituksen alussa, jolloin käyttäjän oma lämmöntuotto on vähäistä. Vastaavasti kova treeni aiheuttaa kokemuksen liian lämpimästä tilasta. Haasteena on löytää sopivat olosuhteet, ja tässä on lämpötilaolojen jakauman perusteella onnistuttu varsin hyvin (kuva 86). Noin 37 % pitää lämpöoloja hyvinä tai sopivina, noin 39 % liian viileinä ja noin 24 % liian lämpiminä.

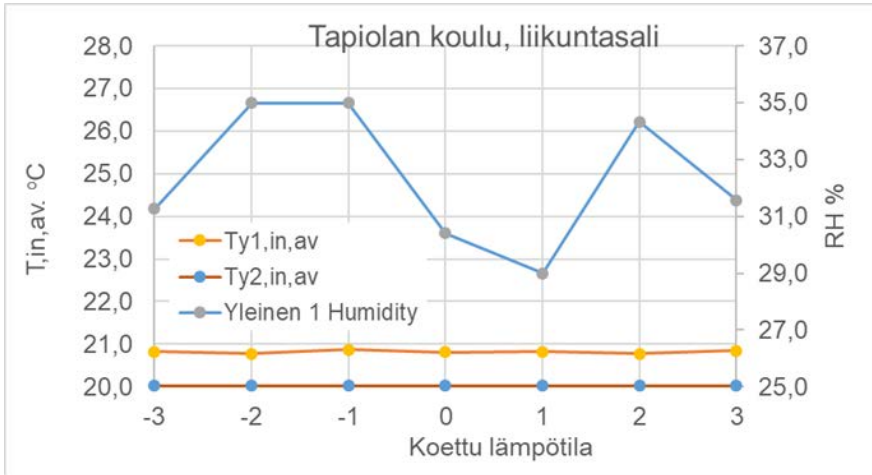
Kuva 87 esittää Tapiolan koulun liikuntasalin koetun lämpötilan riippuvuutta keskimääräisistä mitatuista ilman lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta. Lämpötilat pysyivät jokseenkin vakioina, eikä suhteellisen kosteuden ja lämpötilakokemuksen välillä ollut riippuvuutta.

Liikuntasalin hiilidioksiditasot olivat matalat (kuva 88), eikä niiden ja koetun lämpötilan välillä ollut riippuvuutta.

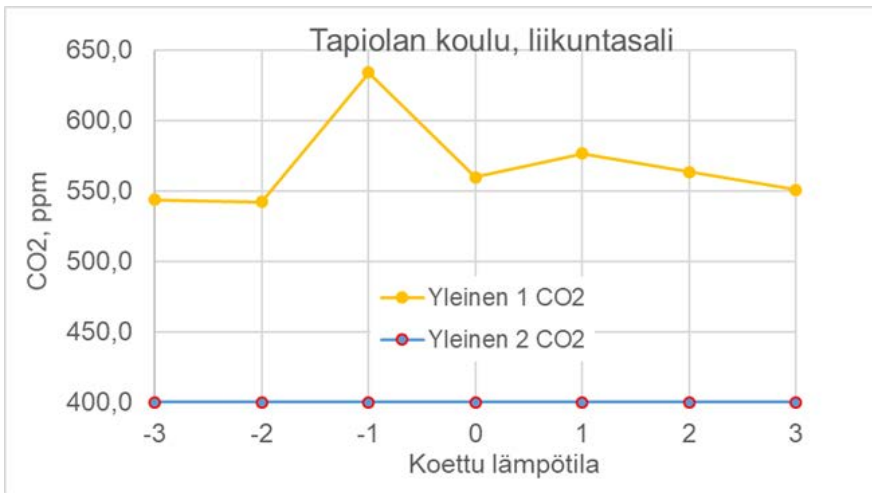
Paras koettu lämpötilataso oli silloin, kun TVOC-taso oli korkein (kuva 89). Korkea TVOC-taso kuvaa aktiivisuutta, jolloin lämpöolot koetaan yleensä hyväksi.



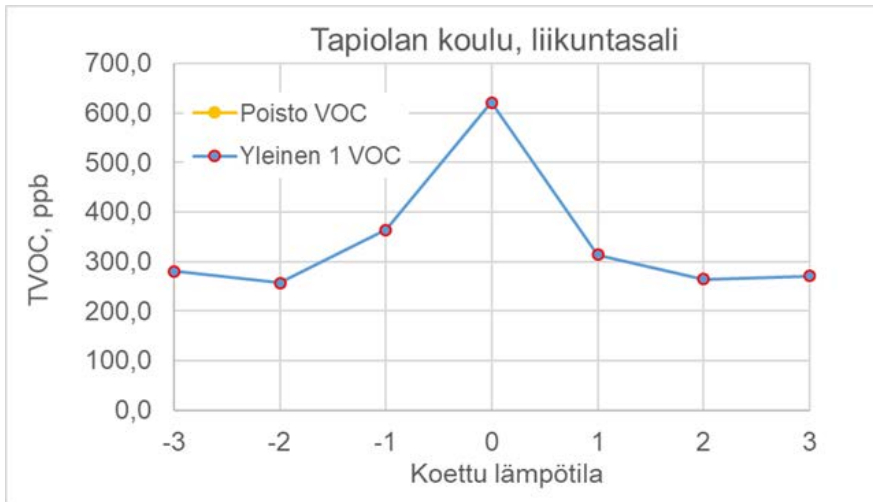
**Kuva 86.** Tapiolan koulun liikuntasalissa vuonna 2019 koettujen lämpötilojen jakauma.



**Kuva 87.** Tapiolan koulun liikuntasalissa vuonna 2019 koetun lämpötilan riippuvuus keskimääräisistä mitatuista ilman lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta.



**Kuva 88.** Tapiolan koulun liikuntasalissa vuonna 2019 koetun lämpötilan riippuvuus ilman hiilidioksidipitoisuudesta.

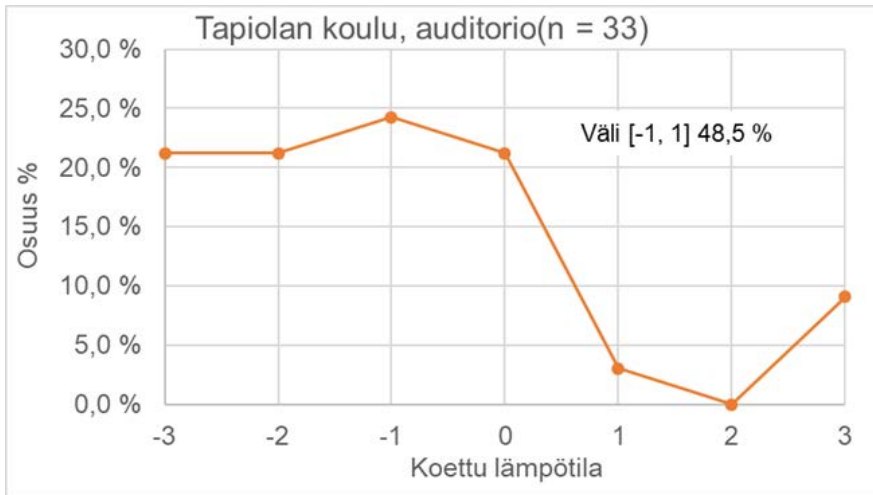


**Kuva 89.** Tapiolan koulun liikuntasalissa vuonna 2019 koetun lämpötilan riippuvuus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta.

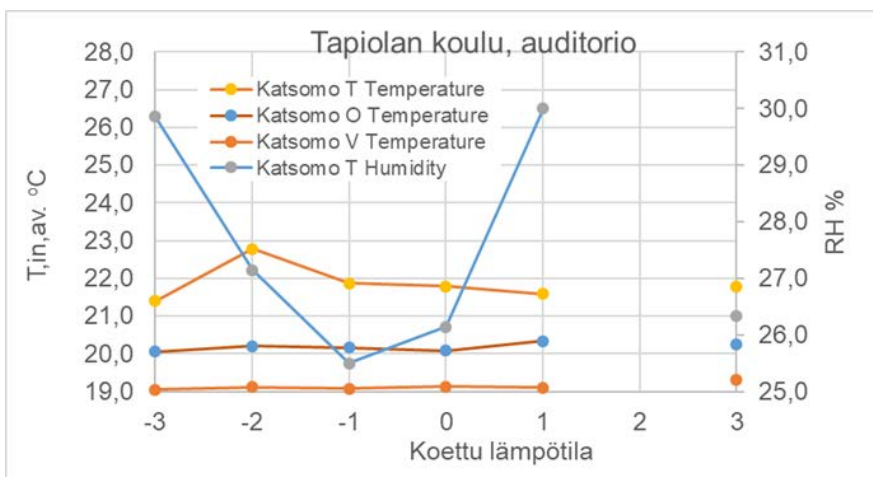
#### **Auditorion koettu lämpötila**

Myös auditorion koettuja lämpöoloja tarkasteltiin erillään muista tiloista. Tapiolan koulun auditorio koetaan kylmänä (21 %), melko viileänä (21 %) ja hieman viileänä (24 %) (kuva 90).

Tilassa mitatut lämpötilatasot olivat kauttaaltaan vakiot ja matalat, samoin suhteellinen kosteus oli melko matala ja vaihteli vain vähän (kuva 91). Siten mitään riippuvuutta lämpötila- tai suhteellisen kosteuden tasojen ja koetun lämpötilan välille ei saatu. Mitatut, paikoin matalat lämpötilatasot tukevat palautetta pääosin viileäksi koetusta tilasta. Palautteiden antamisen aikana mitatut auditorion lämpötilat olivat osin alemmat kuin liikuntasalissa, jonka käyttötarkoitus edellyttää melko alhaisia lämpötilatasoja.



**Kuva 90.** Tapiolan koulun auditorio koetaan pääosin viileäksi. Koettu lämpöolojen jakauma vuonna 2019.



**Kuva 91.** Tapiolan koulun auditoriossa vuonna 2019 koetun lämpötilan riippuvuus keskimääräisestä mitatuista ilman lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta.

### 5.1.3 Johtopäätöksiä

Tapiolan koulussa luokkien sisäilman olosuhteet on keskimäärin koettu varsin hyväksi mm. työ- ja oppimiskyvyn, ilman raikkauten, lämpötilan ja valaistuksen osalta.

Tarkasteltujen luokkahuoneiden mitatut keskimääräiset lämpötilat pysyivät tarkastelujakson (v. 2019) aikana varsin rajatulla alueella. Lämpötilan säätö oli hallinnassa ja koska merkittäviä poikkeamia ei ollut, ei eri koettujen sisäilmatekijöiden

riippuvuutta tästä perussuureesta saatu näiden tulosten perusteella muodostettua. Samoin CO<sub>2</sub> -ja TVOC -tasot olivat enimmäkseen varsin matalat, mikä kuvaa hyvin toimivaa ilmanvaihtoa. Näistäkään ei saatu selkeitä riippuvuuksia koettuihin oloihin.

Koetun lämpötilatason osalta selkein vaikuttava tekijä oli sisäilman suhteellinen kosteus. Korkeat suhteellisen kosteuden arvot vastasivat liian lämpimäksi koettua tilaa.

Vastaava riippuvuus nähtiin sisäilman entalpian kanssa, joka yhdistää lämpötilan ja suhteellisen kosteuden energiasisällön. Tässä tapauksessa lämpötilan vaikutus jäi selvittämättä.

Tuloksista saatiin viitteitä koettujen tekijöiden ja tuloilman lämpötilan riippuvuudesta. Korkea tuloilman lämpötila korreloi huonoksi koettujen olosuhteiden kanssa. Riippuvuus oli siis selkeämpi kuin huonetilan oleskeluvyöhykkeen lämpötilojen kanssa, joille ei saatu riippuvuuksia. Tämän perusteella kiinteistöautomaation arvoja voitaisiin käyttää kuvaamaan riittävällä tarkkuudella tilan oloja.

Palautteista lähes 97 %:ssa pidettiin Tapiolan koulun luokkien työ- ja oppimiskykyä hyvänä tai kohtuullisena. Sama luku valaistuksen osalta oli 95 % sekä akustiikan ja äänien 96 %, mikä osaltaan vahvistaa näiden tekijöiden riippuvuuden. Myös raikkaus ja lämpötilakokemus liittyvät koettuun oppimiskykyyn

Heikoin koettu oppimiskyky oli sisäilman alimman suhteellisen kosteuden arvoilla. Vaikka ilman suhteellista kosteutta ei aistita kovin tarkasti, sen vaikutus näkyi muissa koetuissa tuloksissa välillisesti.

Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhdistelmälle pätee ilmeisesti suhteellisen hyvin tunnetut viihtyisyysalueet. Oppimiskyvyn osalta parhaita olivat tämän otoksen mukaan lähinnä viihtyisyysalueen alarajan arvot, kunhan lämpötila (ja välillisesti koettu suhteellinen kosteus) koetaan riittävänä.

Sisäilman koetun raikkauden osalta nähtiin viitteitä lievästä korrelaatiosta ainakin CO<sub>2</sub> tason kanssa ja yksittäisiä havaintoja (satunnaisista) keskimääräistä korkeammista TVOC -arvoista. Raikkaus koettiin heikoksi, kun sisäilman suhteellinen kosteus tai sen entalpia oli korkea ja kun ilman tuloilman lämpötila oli keskimääräistä korkeampi.

Sisäilman koetun puhtauden ja sen hajujen osalta suurin TVOC -taso johti huonon kokemukseen (7 ja 8). Koetun tilanteen vastausten hajonta 11 -portaisella asteikolla oli suuri, eikä mitään selkeitä korrelaatioita saatu muodostettua.

## 5.2 Vanttilan päiväkot



Vanttilan kaksikerroksinen tasakattoinen päiväkot (osoitteessa Nissintie 1) on valmistunut elokuussa 2010 ja sen pinta-ala on 1048 m<sup>2</sup>. Sisäilmakorjauksia on tehty kahtena kesänä vuosina 2017 ja 2018 (Sisäilmasto- ja kosteustekninenkuntotutkimus 20.4.2017). Tällöin on muun muassa vaihdettu lattiapinnoitteita ja tehty ilmanvaihdon säätötöitä. Tilojen tarpeenmukainen ilmanvaihto on toteutettu ilmapääsäätimillä rakennuksen valmistumisajankohdalle tyypillisellä tavalla.

Lapsi- ja henkilökuntamäärät:

- 1. krs. 3 ryhmää
- 2. krs. 3 ryhmää
- Lapsia yhteensä 110
- Hoitohenkilökuntaa 17

Vanttilan päiväkodissa paine-eroantureita on 6 kpl (tiloissa 204, 212, 101,113, 121 ja henkilökunnan taukotila) ja muita sisäilmasto-olosuhteita mittaavia antureita on 31 kpl kahdeksassa eri tilassa (101, 113, 121, 202, 204, 212, 220, 222).

IoT-Mittalaitteet sijaitsevat ilmanvaihdon tulo- ja poistoelimissä sekä oleskelu- vyöhykkeellä. Pääsääntöisesti tutkittavissa tiloissa on neljä sisäilmaolosuhteita mittaavaa mittalaitetta ja lisäksi paine-eroseuranta.

## 5.2.1 Mittausjaksot

Tarkastelussa vuoden 2020 aikana kerätyt palautteet ja mittaukset.

Alla olevassa kuvassa on esitetty 2019 palautekysymysten korrelaatio toisiin palautekysymyksiin. Kuvaa varten vuoden palautetta on käsitelty luvussa 3.2.2 esitetyllä tavalla. Kuvassa sinisellä merkitty positiivista korrelaatiota ja vastaavasti punaisella negatiivista korrelaatiota. Kuvassa on näkyvissä karkealla tasolla korrelaatioita, joita käsitellään tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Max of Minkäläiseksi koet opetustilan?	1	1,00	-0,41	0,14	0,02	0,01	-0,04	0,06	-0,06	0,16	0,25	0,12
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman raikkauten?	2	-0,41	1,00	-0,11	-0,19	0,18	0,50	0,39	-0,12	-0,37	-0,10	-0,25
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman kosteuden?	3	0,14	-0,11	1,00	0,54	0,19	-0,02	-0,03	0,60	-0,15	0,10	-0,09
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman hajun?	4	0,02	-0,19	0,54	1,00	0,20	-0,16	-0,29	0,79	-0,02	0,09	0,04
Max of Minkäläinen on huoneen valaistus?	5	0,01	0,18	0,19	0,20	1,00	0,34	0,19	0,14	0,10	0,08	-0,32
Max of Minkäläiseksi koet työ- tai oppimiskykysi opetustilassa?	6	-0,04	0,50	-0,02	-0,16	0,34	1,00	0,64	-0,17	-0,23	-0,11	-0,27
Max of Minkäläiseksi koet huoneen äänimaailman eli akustiikan?	7	0,06	0,39	-0,03	-0,29	0,19	0,64	1,00	-0,32	-0,21	-0,02	-0,20
Max of Minkäläiseksi koet sisäilman puhtauden?	8	-0,06	-0,12	0,60	0,79	0,14	-0,17	-0,32	1,00	-0,13	0,09	0,01
Max of Yleinen 1 CO2	9	0,16	-0,37	-0,15	-0,02	0,10	-0,23	-0,21	-0,13	1,00	0,31	0,21
Max of Yleinen 1 Temperature	10	0,25	-0,10	0,10	0,09	0,08	-0,11	-0,02	0,09	0,31	1,00	0,20
Max of Poisto Humidity	11	0,12	-0,25	-0,09	0,04	-0,32	-0,27	-0,20	0,01	0,21	0,20	1,00

Kuva 92. Vanttilan päiväkodin 2020 palautekysymysten korrelaatiot toisiinsa.

## 5.2.2 Palautteen yhdistäminen mittausdataan

### Koettu lämpötila

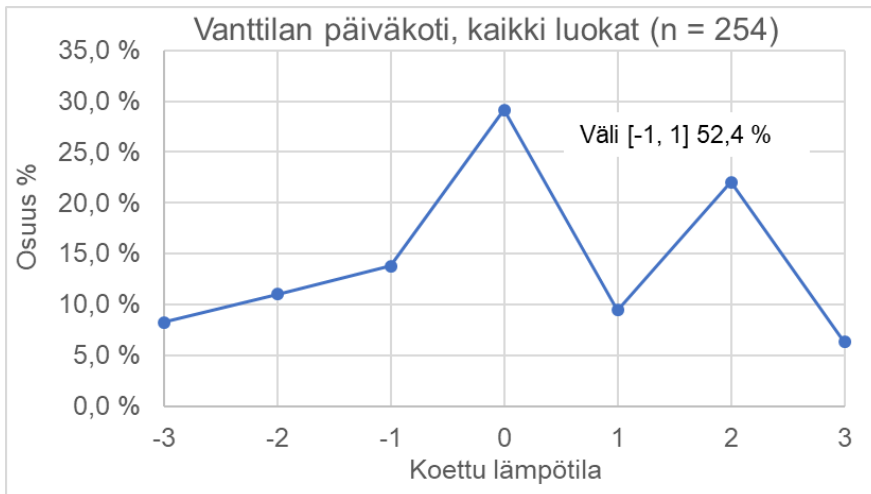
Kuva 93 esittää Vanttilan päiväkodin seuratuissa tiloissa koetun lämpötilan jakauman vuonna 2020. Vain hieman yli puolessa vastauksista lämpötila koettiin työs-kentelyyn sopivaksi, välillä hieman viileä – hieman lämmin [-1, 1].

Koetun lämpötila riippuu selvästi sisäilman suhteellisesta kosteudesta mittaus-alueella. Korkeahko suhteellinen kosteus pitoisuus on koettu liian kuumaksi (kuva 94). Lisäksi lämpökokemus on riippuvainen sisäilman lämpötilasta, vaikka mittaus-ten vaihtelualue jäikin suhteellisen pieneksi. Tila koettiin kylmäksi +21 °C:een läm-pötilassa ja liian kuumaksi, kun tilojen keskimääräinen lämpötila oli yli +22 °C ja suhteellinen kosteus oli yli 40 % RH.

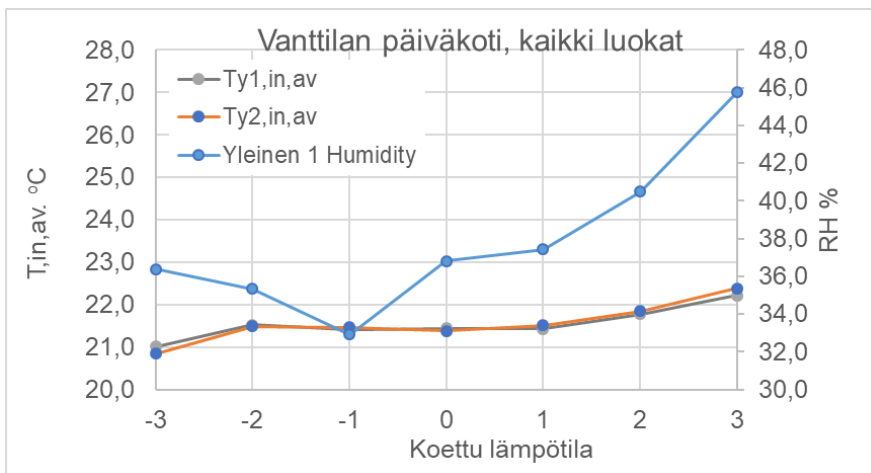
Vastaavasti koettu lämpötila riippui ilman sisäänpuhallus- ja ulosvirtauslämpöti-loissa (kuva 95).

Selkeä riippuvuus koetuille lämpötiloille saatiin sisäilman entalpian kanssa (kuva 96). Ilman entalpia (energiasisältö) yhdistää lämpötilan ja suhteellisen kosteuden

yhdeksi lukuarvoksi. Erityisesti asteikon lämpimässä päässä riippuvuus oli voimakasta.

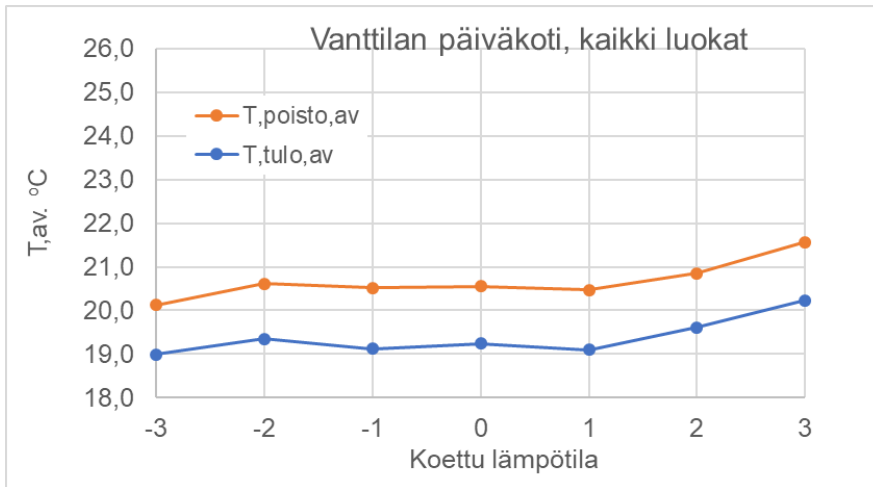


**Kuva 93.** Koetun lämpötilan jakauma Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

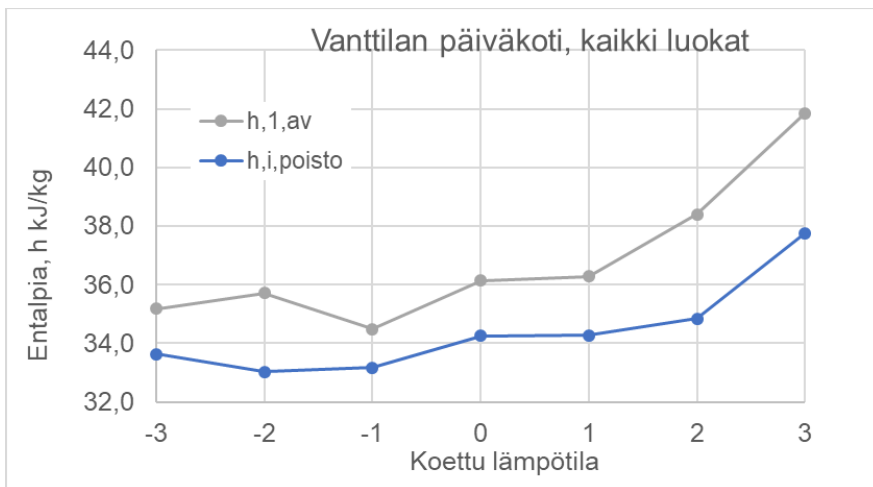


**Kuva 94.** Koetun lämpötilan riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.





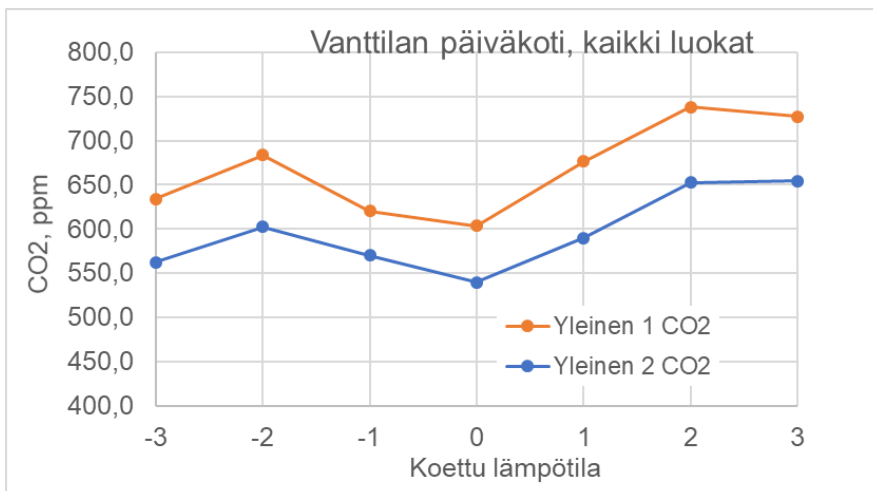
**Kuva 95.** Koetun lämpötilan riippuvuus tulo- ja poistoilman lämpötiloista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



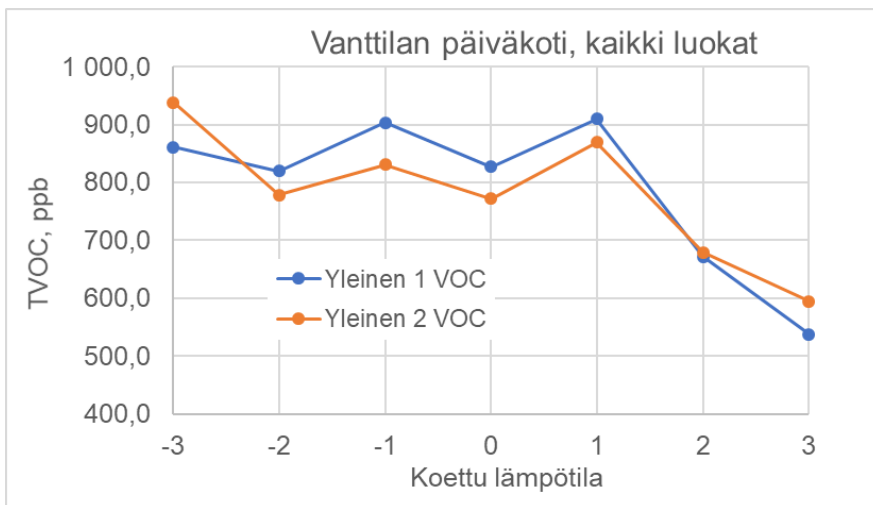
**Kuva 96.** Koetun lämpötilan riippuvuus sisäilman entalpiasta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

Koetun lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuksien välillä ei ollut koko asteikon kattavaa riippuvuutta (kuva 97). Paras koettu lämpötila oli hiilidioksidipitoisuuksien alhaisimmilla tasoilla. Hiilidioksiditaso kuvaa tilan henkilökuormituksen ja ilmanvaihdon suhdetta, ja tulosten mukaan hyvä ilmanvaihto (alhainen CO<sub>2</sub> -taso) vastaa hyväksi koettuja lämpöoloja.

Koettujen lämpöolojen riippuvuutta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistasosta (TVOC) ei ollut (kuva 98). Olosuhteet tosin koettiin liian lämpimiksi samaan aikaan kun TVOC -taso ilmassa oli pienin.



**Kuva 97.** Koetun lämpötilan riippuvuus sisäilman hiilidioksidipitoisuudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 98.** Koetun lämpötilan riippuvuus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

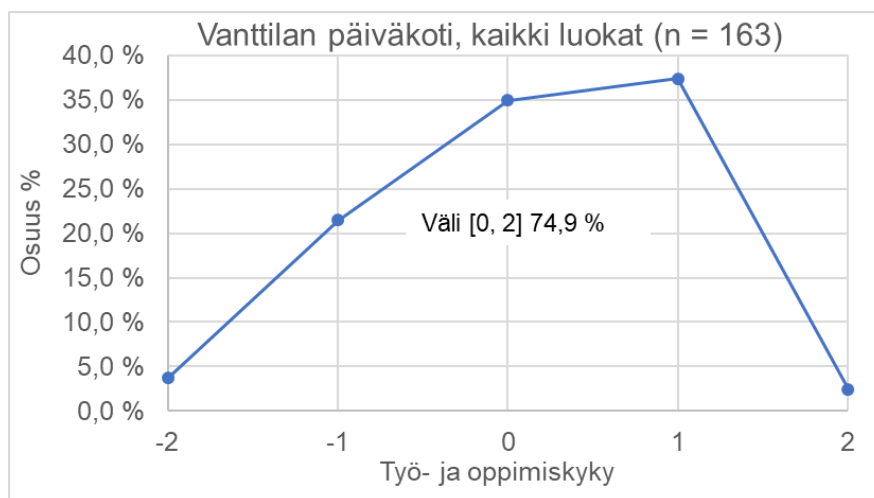
## Työ- ja oppimiskyky

Koettu työ- ja oppimiskyky kuvaa parhaiten sitä, mihin hyvällä sisäympäristöllä pyritään. Vanttilan päiväkodin työ- ja oppimiskyky oli vähintään riittävän hyvä noin 75 %:ssa vuoden 2020 palautevastauksista (kuva 99).

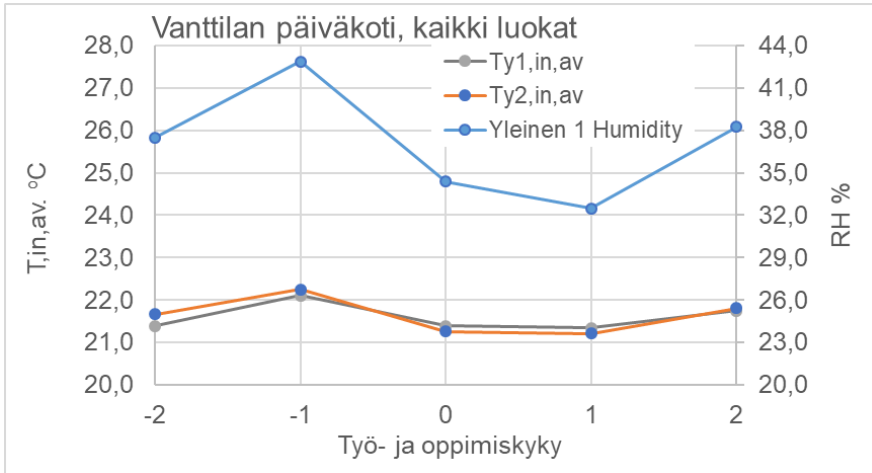
Tiloissa koettu työ- ja oppimiskyky oli jonkin verran heikentynyt [-1] kun suhteellinen kosteus ja sisäilman lämpötila saivat korkeimmat arvonsa (kuva 100). Vastaava riippuvuus näkyy sisäilman entalpiasta (kuva 101) sekä tulo- ja poistoilman lämpötilasta (kuva 102). Työ- ja oppimiskyvyn eri kokemustiloja vastaavat mittaus tulokset vaihtelivat suhteellisen kapealla alueella: keskimääräiset lämpötilat välillä 21,2–22,1 °C, ja suhteellinen kosteus välillä 32–43 % RH, joten kattavia riippuvuuksia mitattujen olosuhteiden ja koetun tilanteen välille ei voitukaan muodostaa.

Selkein riippuvuus työ- ja oppimiskyvylle oli tilojen hiilidioksiditaso (kuva 103). Korkeammat CO<sub>2</sub> -tasot johtivat heikoimpaan koettuun tilanteeseen. Parhaat koetut olosuhteet saavutettiin CO<sub>2</sub> -tasolla noin 500–600 ppm, eikä tällä alueella ollut enää eroa kokemuksessa. Tätä korkeammilla tasoilla työ- ja oppimiskyvyn koettiin heikentyneen. Sisäilman hiilidioksiditaso kuvaa henkilökuormituksen ja ilmanvaihdon suhdetta tilassa. Kyse ei kuitenkaan ole vain hiilidioksidin määrästä (näillä tasoilla), vaan koettu työ- ja oppimiskyky voi riippua monista tekijöistä, joihin ilmanvaihdon toteutuminen vaikuttaa. Ja tätä ilmanvaihdon toteutumista kuvaa osaltaan tilan CO<sub>2</sub>-pitoisuus.

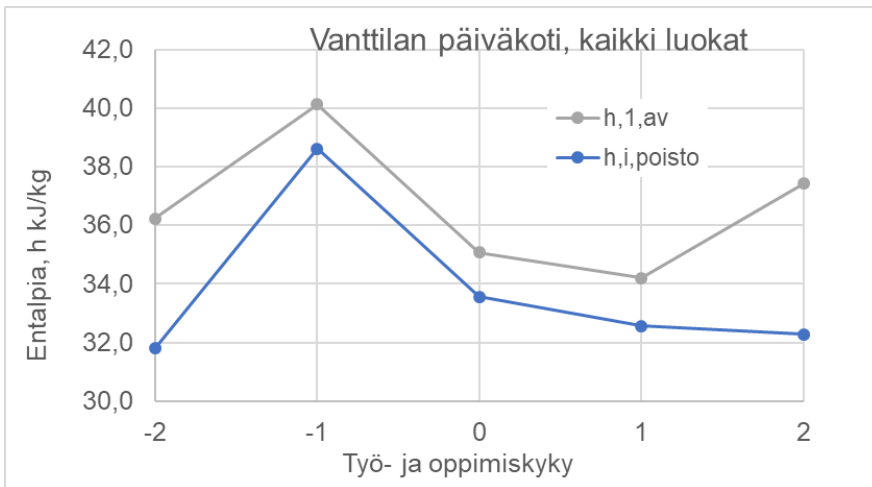
Heikoin työ- ja oppimiskyky (kuva 104) vastasi korkeinta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaispitoisuutta.



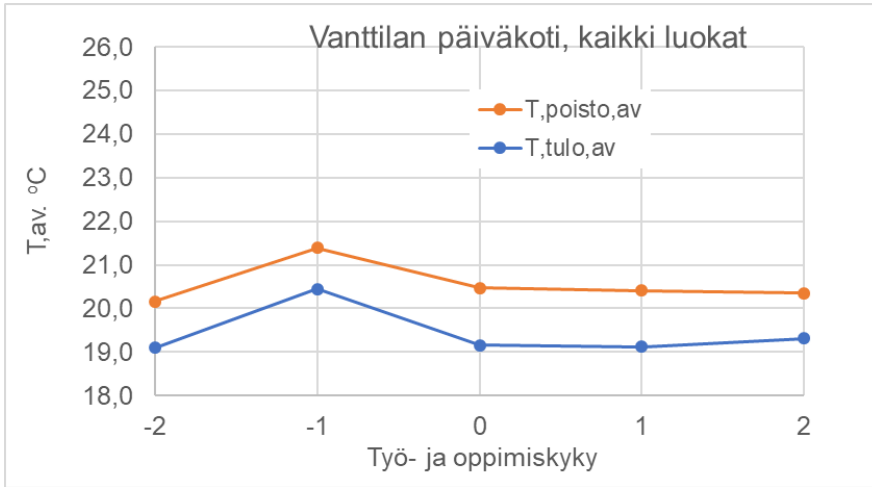
**Kuva 99.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn jakauma Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



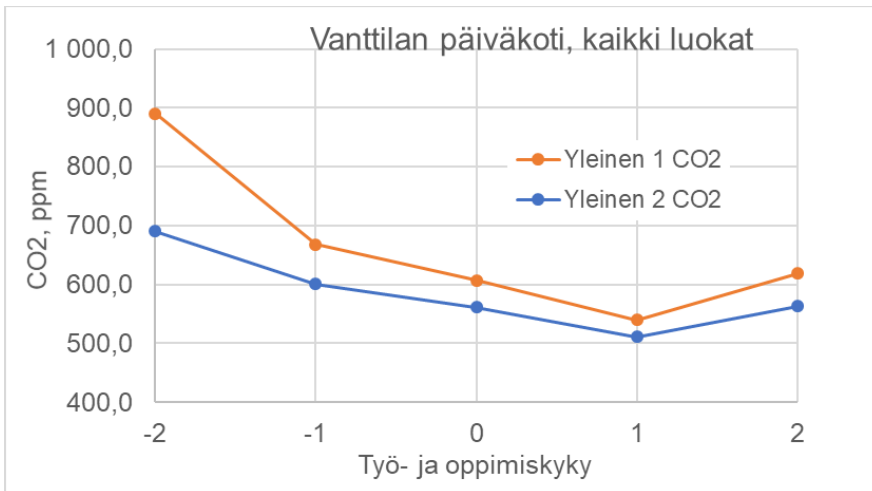
**Kuva 100.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



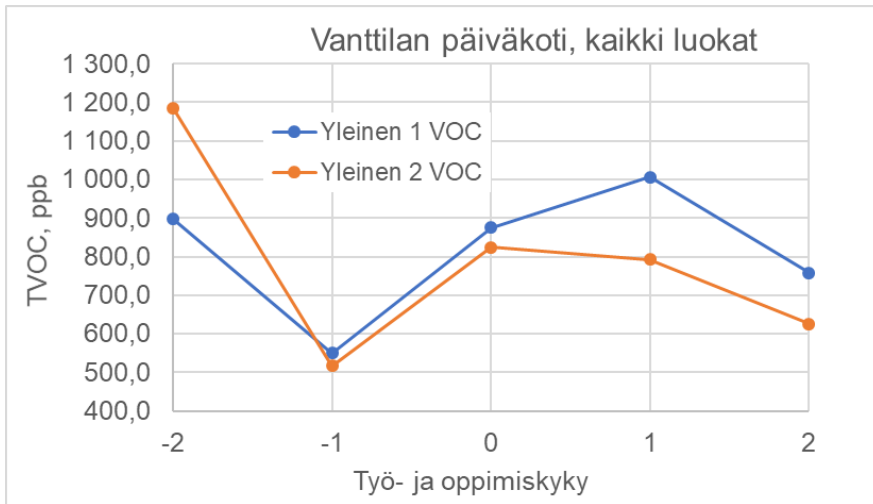
**Kuva 101.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus sisäilman entalpista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 102.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus tulo- ja poistoilman lämpötiloista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 103.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus sisäilman mitatuista keskimääräisistä hiilidioksidipitoisuuksista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 104.** Koetun työ- ja oppimiskyvyn riippuvuus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

### Raikkaus

Vanttilan päiväkodin sisäilman raikkaus koettiin melko heikoksi. Vajaassa 43 %:ssa vastauksista sisäilman raikkaus koettiin riittäväksi (kuva 105).

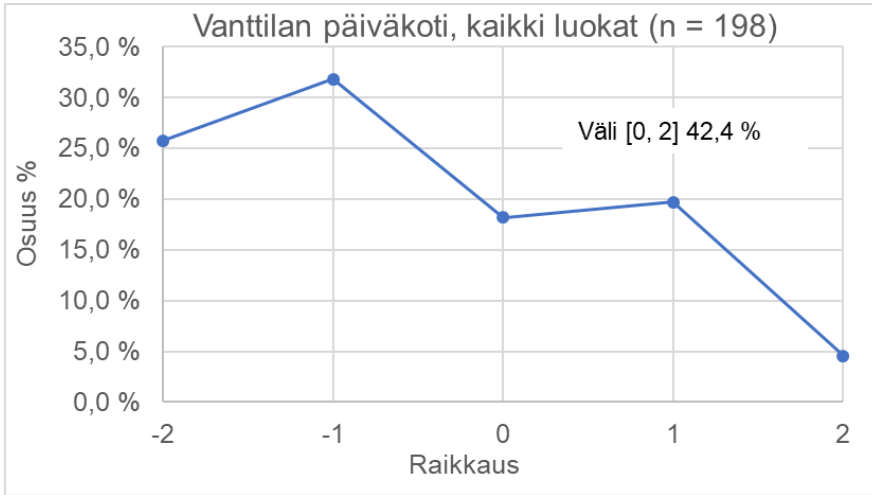
Selkeä riippuvuus nähtiin suhteellisen kosteuden kanssa. Heikoin koettu raikkaus vastasi sisäilman suhteellisen kosteuden korkeimpia mitattuja keskimääräisiä tasoja (kuva 106). Suhteellisen kosteuden arvo noin 33 % RH oli vielä riittävän raikas, mutta 40 % RH vastasi jo selvästi heikentyntä raikkautta. Sisäilman lämpötilan osalta selkeää riippuvuus ei ollut näin selkeä, koska lämpötilatasot pysyivät hyvin kapealla vaihtelualueella (21–22 °C). Heikoin koettu raikkaus vastasi kuitenkin korkeinta mitattua lämpötila-arvoa.

Koska riippuvuus suhteellisesta kosteudesta ja myös lämpötilasta oli selkeä, nähtiin selkein riippuvuus koetun raikkauden ja sisäilman entalpien välillä (kuva 107).

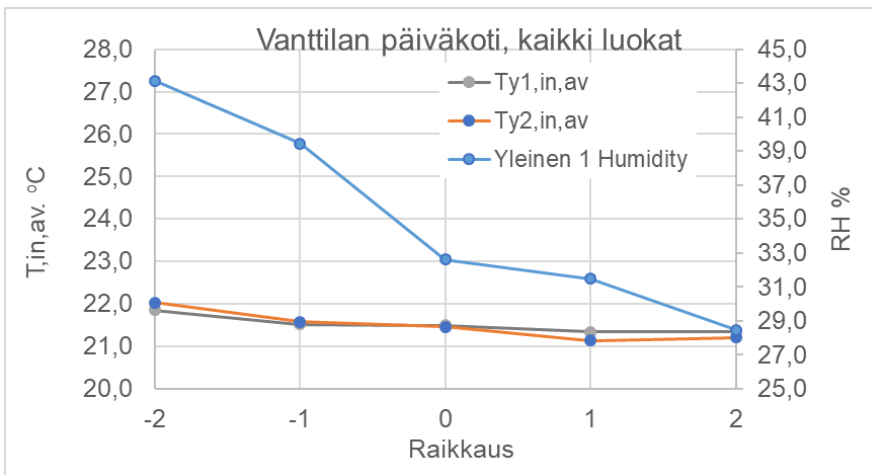
Riippuvuus tulo- ja poistoilman lämpötiloista oli melko lievä (kuva 108). Korkein tulo- ja poistoilman lämpötilataso vastasi heikointa koettua sisäilman raikkautta.

Myös koetun raikkauden ja mitatun CO<sub>2</sub>-tason välinen riippuvuus oli selkeä: CO<sub>2</sub>-tason kasvaessa tasolle 600 ppm tai korkeammaksi koettu raikkaus heikkeni huonoksi koetun puolelle (kuva 109). Ilmanvaihdon riittävyys (tilan toteutunut ilmanvaihto / henkilö) aistitaan hyvin ilman raikkautena.

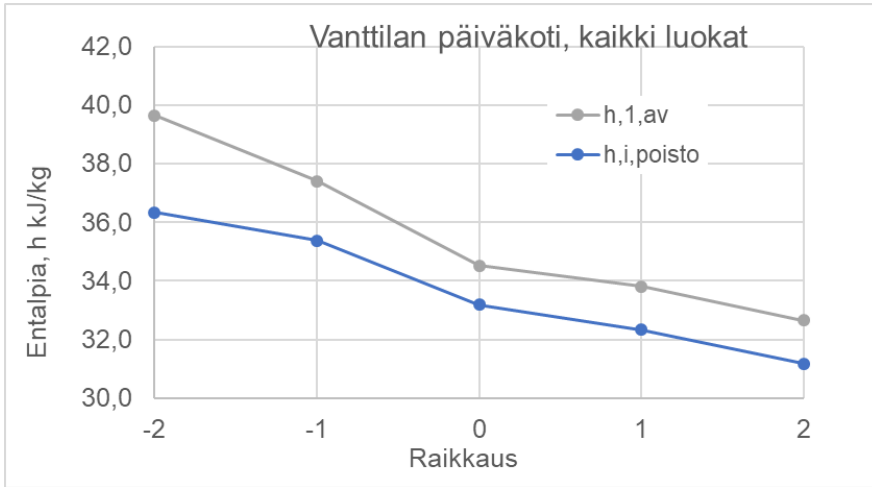
Koetun raikkauden riippuvuus haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta oli epälooginen (kuva 110). Suurimmat pitoisuudet vastasivat parasta ilman raikkautta. Ilmeisesti korkeat pitoisuudet olivat tässä tapauksessa miellyttäväksi ja raikkaaksi koettuja. Saman suuntaisia epäloogisia riippuvuuksia on esiintynyt muissakin kohteissa.



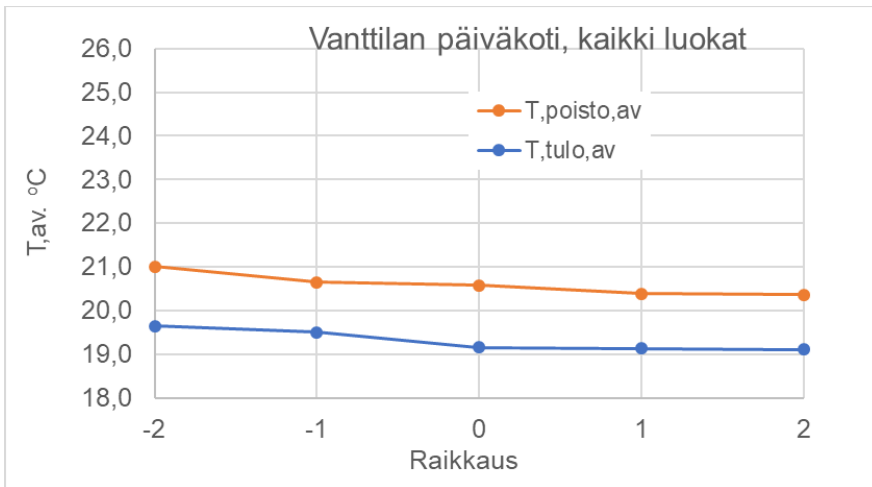
**Kuva 105.** Sisäilman koetun raikkauden jakauma Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 106.** Sisäilman koetun raikkauden riippuvuus mitatuista keskimääräisistä lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

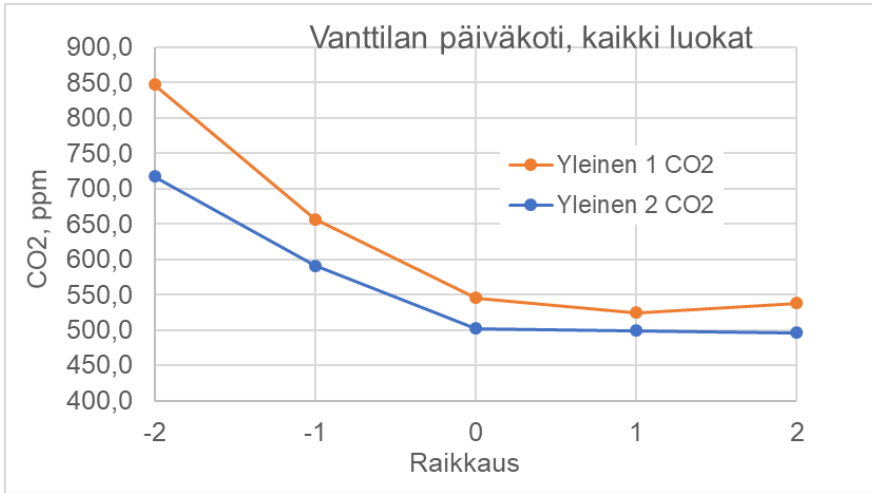


**Kuva 107.** Sisäilman koetun raikkauden riippuvuus sisäilman entalpiasta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

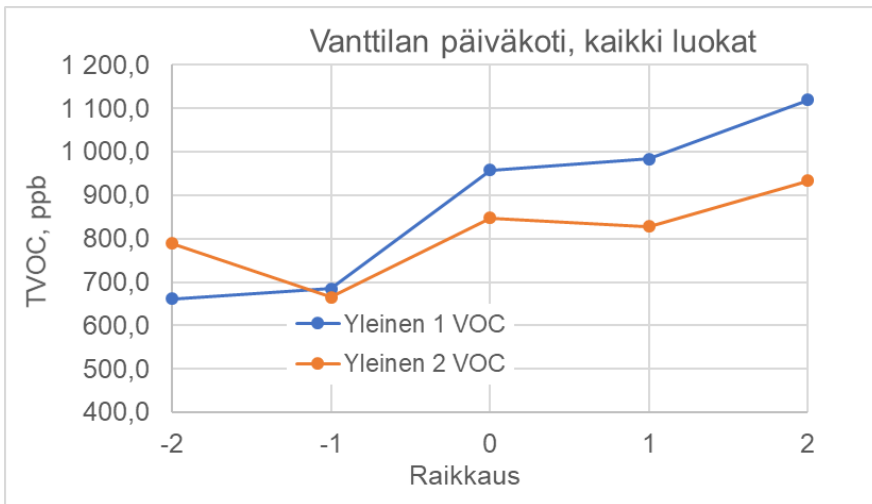


**Kuva 108.** Sisäilman koetun raikkauden riippuvuus tulo- ja poistoilman lämpötilasta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.





**Kuva 109.** Sisäilman koetun raikkauden riippuvuus sisäilman mitatuista keskimääräisistä hiilidioksidipitoisuuksista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 110.** Sisäilman koetun raikkauden riippuvuus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

### Sisäilman koettu puhtaus ja hajut

Sisäilman puhtautta ja hajuja arvioitiin 11-portaisella asteikolla [0, 10], jossa arvo 0 edusti puhdasta ja hajutonta tilannetta ja arvo 10 hyvin epäpuhdasta ja pahanhajuisista sisäilman tilaa. Arvioita näihin saatiin jonkin verran vähemmän kuin muihin arvioitaviin sisäilman tekijöihin, joten eri kokemustasoille oli suhteellisen vähän havaintoja.

Vanttilan päiväkodissa vain noin 49 % vastauksista sijoittui puhtauden tai hajujen osalta arviointialueen puhtaaseen ja hyväksi koettuun päähän alueelle [0, 4] (kuva 111). Eniten (26–27 %) molempien ryhmien vastauksista sijoittui tasolle 5, joka on selvästi epämiellyttävän kokemuksen puolella asteikossa. Esimerkiksi koettu taso 10 annettiin molemmissa ryhmissä palautteena vain kerran.

Sisäilman lämpötilan korkeimmat arvot vastasivat molemmissa tapauksissa heikommaksi koettua sisäilmaa (kuva 112). Samoin puhtauden tasolla 5 (eniten havaintoja) sisäilman lämpötila oli kolmanneksi korkein. Lämpötilatasojen erot ovat pieniä, eikä selkeää riippuvuutta koko lämpötila-alueella ollut nähtävissä. Tulosten perusteella ilman puhtaus ja haju tuntuivat epämiellyttävimmiltä korkeissa lämpötiloissa.

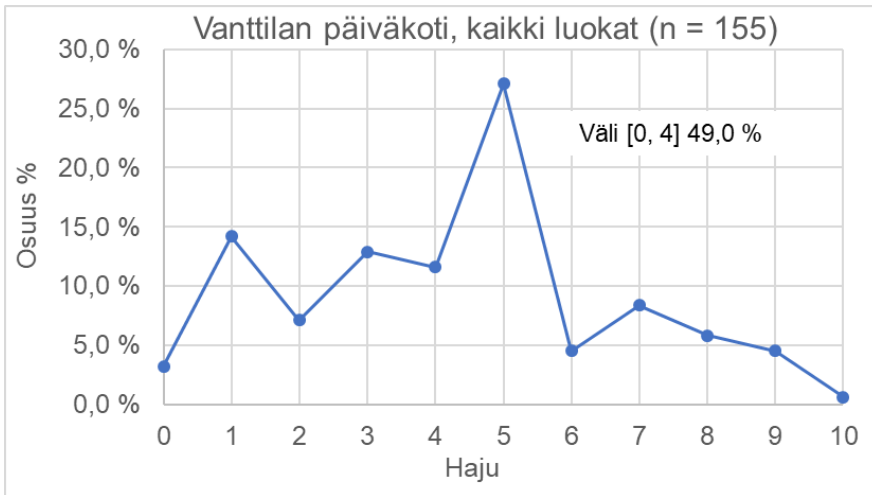
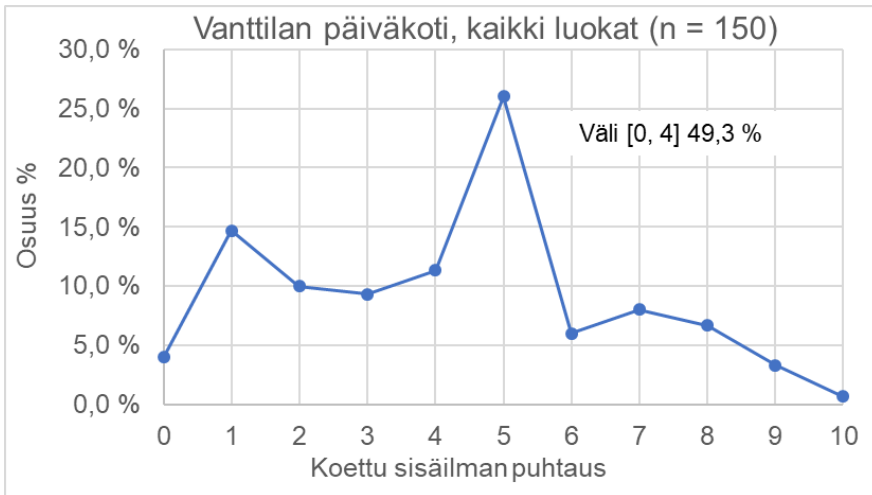
Korkea suhteellinen kosteus sisäilmassa vastasi koettua voimakasta hajua (Kuva 112). Puhtauden osalta korkein suhteellinen kosteus oli koetulla puhtaustasolla 6, mutta heikoin koettu puhtaustaso saatiin matalimman suhteellisen kosteuden arvoilla.

Korkeimmat sisäilman entalpiat sijoittuivat koetun puhtauden tasoille 5, 6 ja 9 ja hajujen osalta korkeimmat entalpiatasot vastasivat kokemuksia 9 ja 10 (kuva 113). Korkean lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhdistelmä odotetusti heikentää kokemusta sisäilman puhtaudesta ja hajuista.

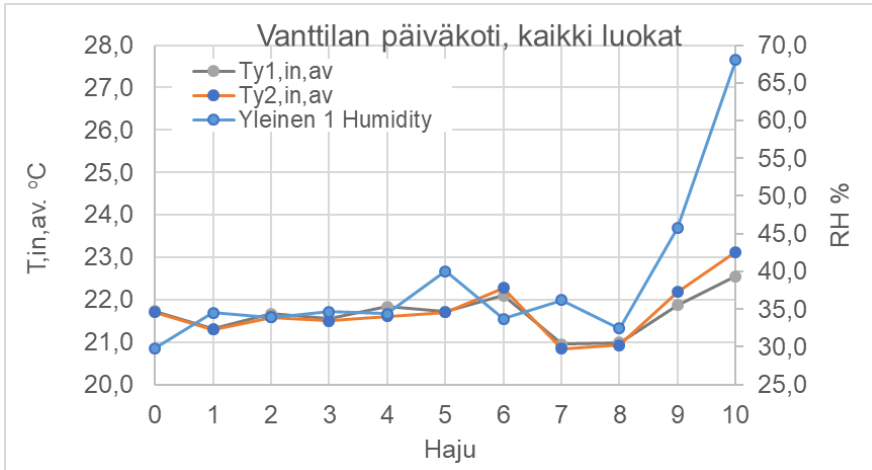
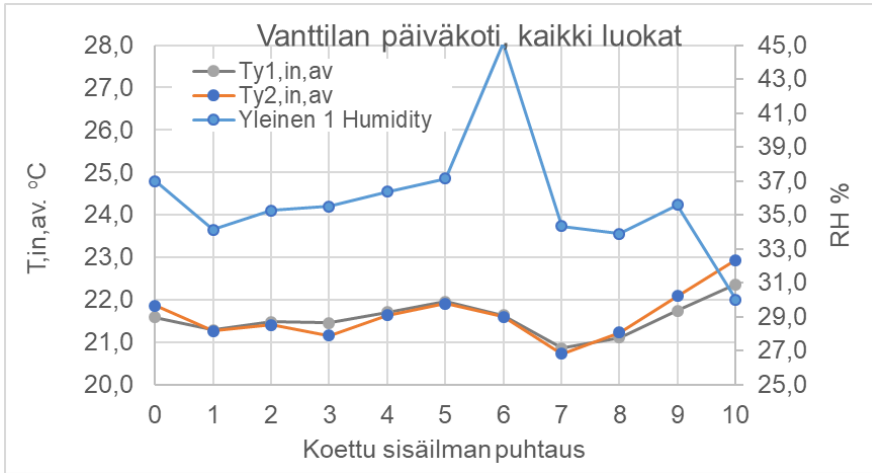
Tulo- ja poistoilman lämpötilojen osalta riippuvuus oli saman suuntainen kuin sisäilman lämpötiloilla (kuva 114).

Koettu sisäilman puhtaus pääosin heikkeni kokemustasoilla [1,10] CO<sub>2</sub> -tason kasvaessa (kuva 115). Poikkeamana oli parasta puhtaustasoa edustava taso 0, jossa myös oli keskimäärin korkeat CO<sub>2</sub> -tasot. Korkea CO<sub>2</sub>-taso vastasi koettua voimakasta hajua. Hiilidioksidin kokemus lienee näillä tasoilla ainakin osittain väli-ilinen ja se kuvaa lähinnä henkilökuormituksen ja ilmanvaihdon suhdetta.

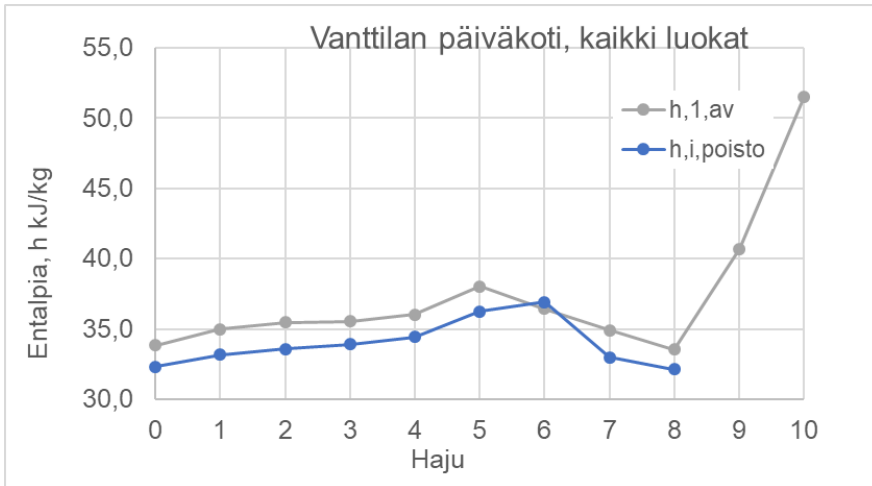
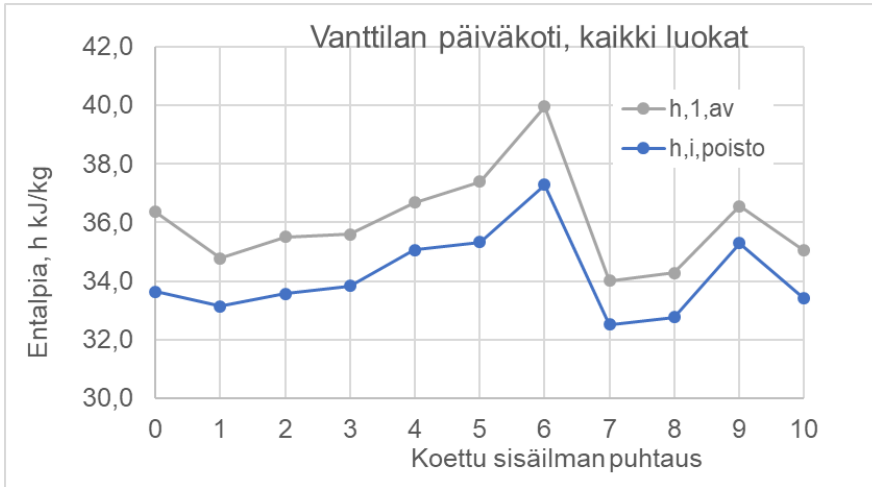
Suurimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) vastasivat puhtainta ja hajuttominta kokemusta ja muutenkin TVOC riippuvuus oli epälooginen (kuva 116). Tässäkään tapauksessa TVOC -tasot eivät ilmeisesti vastaa suoraan kokemusta huonosta tai pahanhajuisesta sisäilmasta. Näitä lähteitä voi olla hyvin erilaisia ja siten kokemus voi vaihdella paljonkin lähteen mukaan.



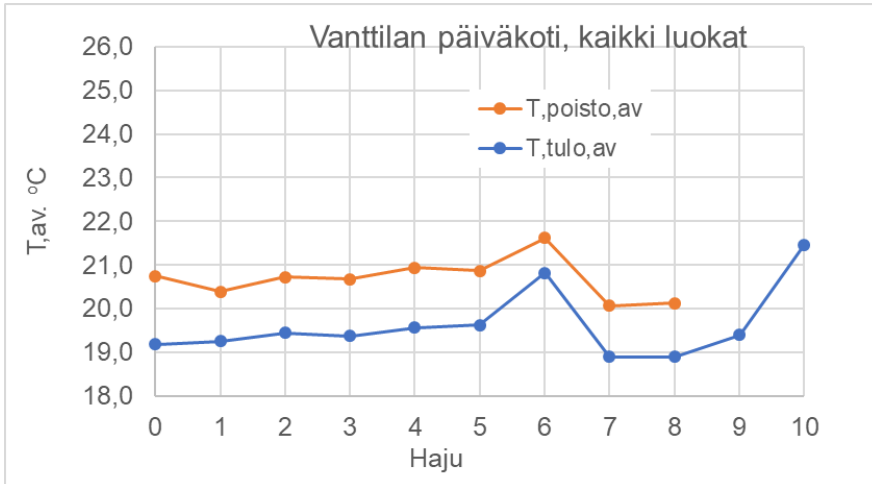
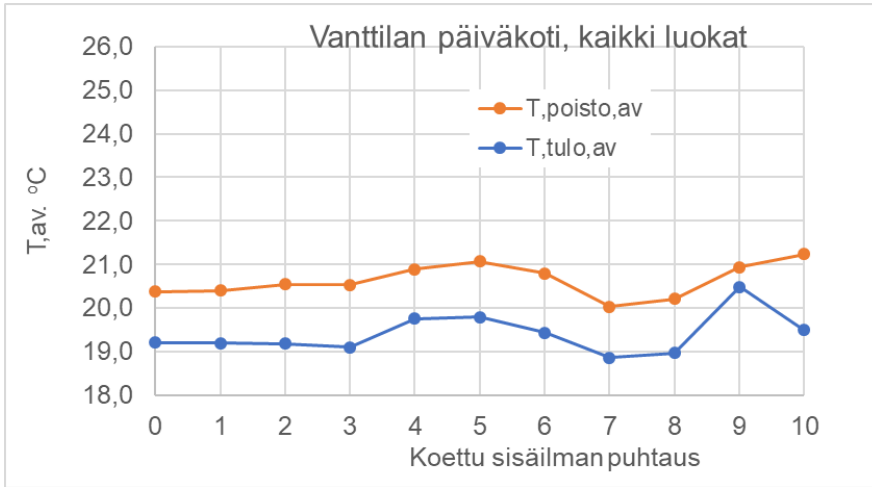
**Kuva 111.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja siinä koettujen hajujen (alla) jakaumat Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



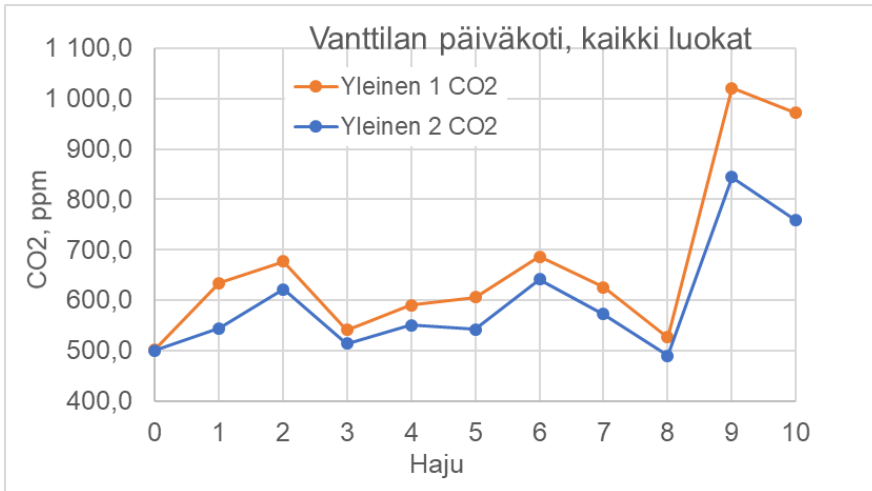
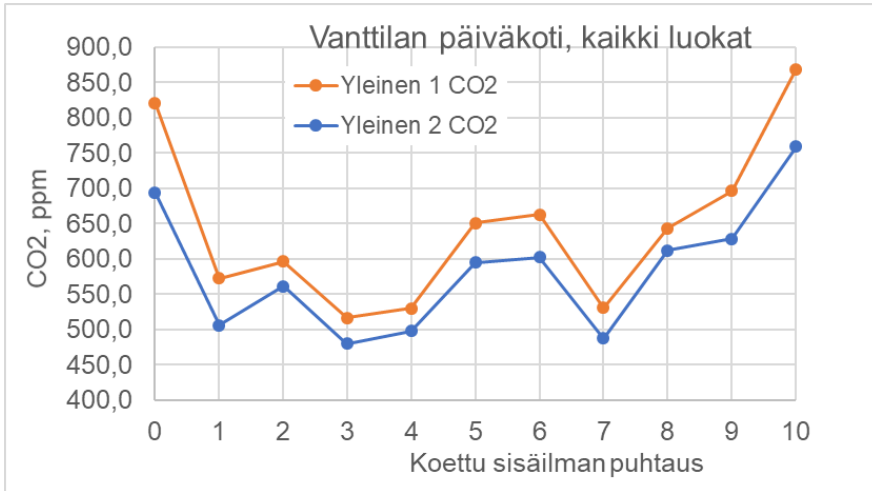
**Kuva 112.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus keskimääräisestä mitatusta ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



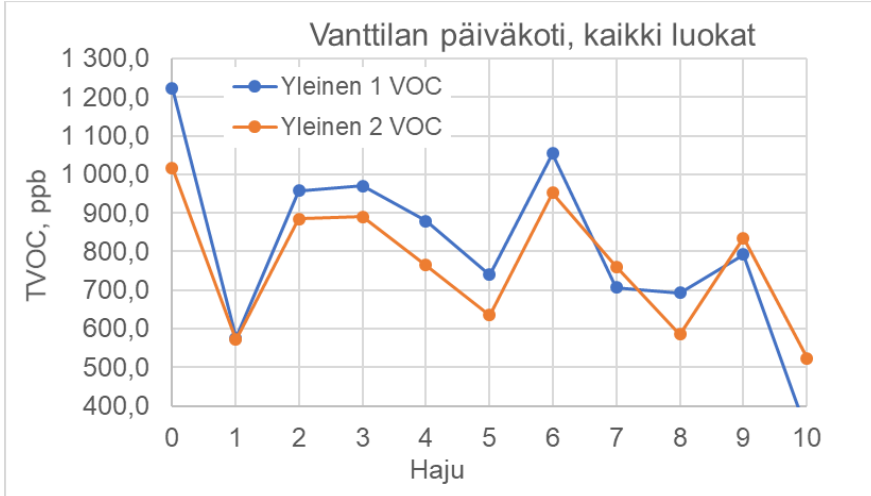
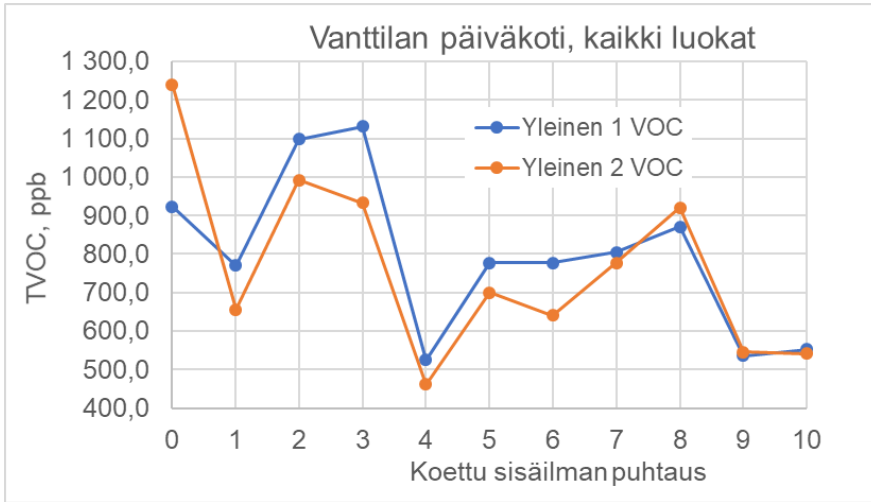
**Kuva 113.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus keskimääräisestä sisäilman entalpiasta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 114.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus tulo- ja poistoilman lämpötiloista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 115.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus sisäilman mitatuista keskimääräisistä hiilidioksidipitoisuuksista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 116.** Koetun sisäilman puhtauden (yllä) ja hajujen (alla) riippuvuus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

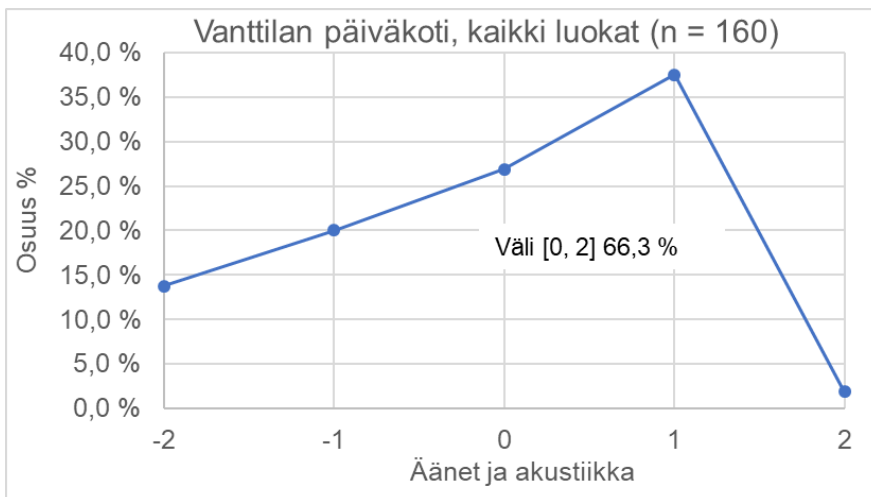
### Äänet ja akustiikka

Vanttilan päiväkodin vuonna 2020 seuratuissa tiloissa noin 1/3 vastauksista edusti heikoksi koettua akustiikkaa ja äänimaailmaa (kuva 117). Kokemuksen riippuvuus mitatusta äänentasosta on selkeä (kuva 118).

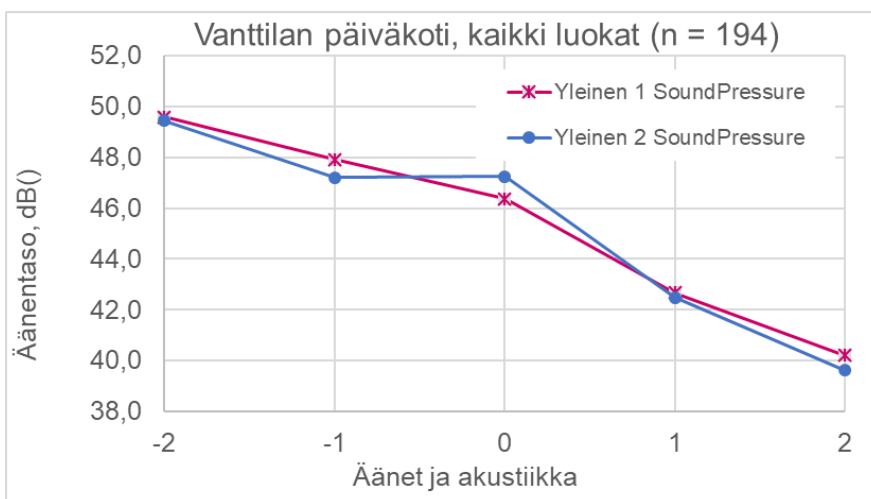
Kuva 119 esittää koettua äänien ja akustiikan olojen riippuvuutta tiloissa mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista. Riippuvuus on selkeä ja looginen – mitä korkeampi hiilidioksidipitoisuus oli, sitä heikompi oli koettu äänimaailma. Koska hiilidioksidipi-



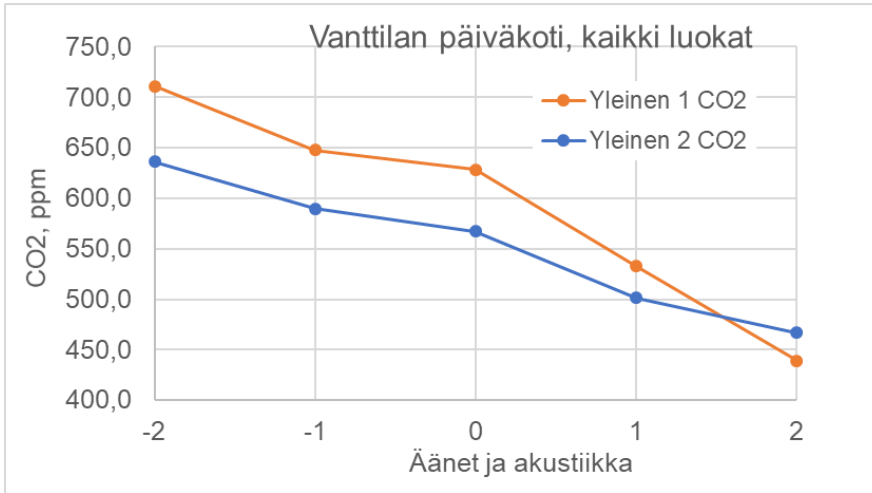
toisuus kuvaa tilan henkilökuormitusta, lisääntyy äänen taso henkilömäärän kasvaessa ja koetut ääniolosuhteet heikkenevät. Havaintoa tukee osittain kokemuksen riippuvuus sisäilman suhteellisen kosteuden tasosta (kuva 120) ja entalpiasta (kuva 121), jotka myös liittyvät henkilökuormitukseen.



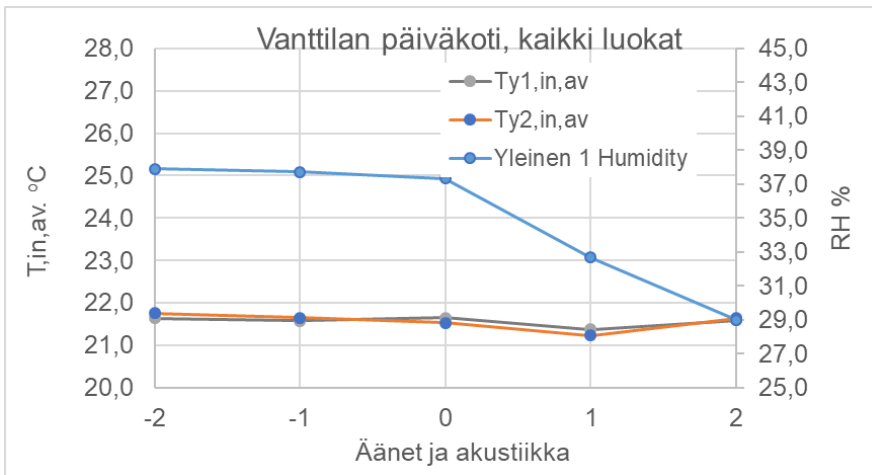
**Kuva 117.** Koetun äänien ja akustiikan olojen jakauma Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



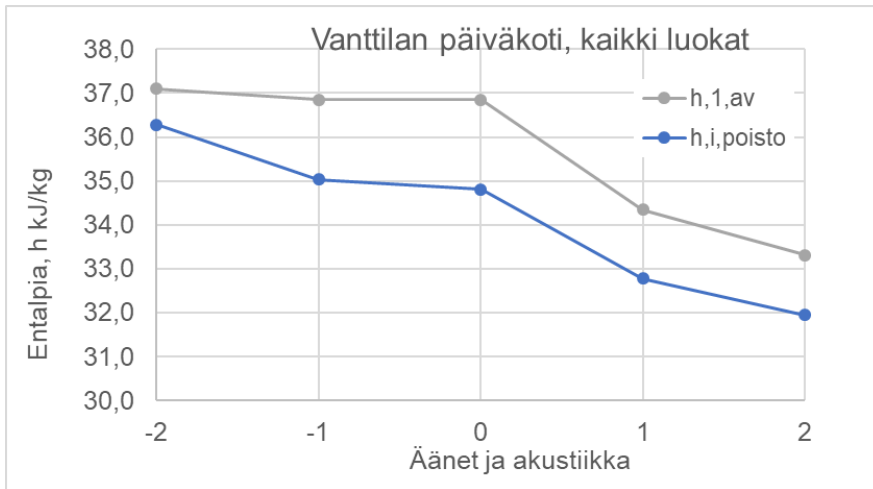
**Kuva 118.** Koettu äänien ja akustiikan olojen riippuvuus mitatuista äänentasoista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 119.** Koettu äänien ja akustiikan olojen riippuvuus mitatuista hiilidioksidipitoisuuksista Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 120.** Koettu äänien ja akustiikan olojen riippuvuus keskimääräisistä mitatuista ilman lämpötiloista ja suhteellisesta kosteudesta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.



**Kuva 121.** Koettu äänien ja akustiikan olojen riippuvuus sisäilman entalpiasta Vanttilan päiväkodissa vuonna 2020.

### 5.2.3 Johtopäätöksiä

Palautteet Vanttilan päiväkodin sisäilman kokemuksista poikkesivat odotetusti esimerkiksi Tapiolan koulun tuloksista. Tilojen käyttötarkoitus ja käyttäjät vaikuttavat osaltaan siihen, mitkä tekijät korostuvat merkittävinä tekijöinä.

Myös Vanttilan päiväkodin mittaustulokset edustavat tapausta, jossa sisäilman olosuhteet ovat varsin hallinnassa. Tilojen vuotuiset lämpötilatasot vaihtelevat vain vähän ja sisäilman CO<sub>2</sub> -tasot osoittavat ilmanvaihdon toimivan varsin hyvin tarkastelluissa tiloissa keskimäärin. Merkittävästi oletetusta viihtyisyyalueesta poikkeavien olosuhteiden puuttumisen takia kattavaa riippuvuutta eri tekijöistä ei voitu muodostaa. Seuraavassa on olennaisimmat havainnot sisäilman koettuihin oloihin vaikuttavista tekijöistä tässä rakennuksessa vuoden 2020 seurannan perusteella.

Koettuun lämpöviihtyisyyteen vaikutti selkeimmin sisäilman suhteellinen kosteus. Paras koettu lämpötila oli sisäilman lämpötilassa +21,5 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa alueella 32–38 % RH. Sisäilma koettiin liian lämpimäksi yli 40 % RH suhteellisessa kosteudessa. Vastaava tulos näkyi selvästi koetun lämpötilan riippuvuudessa sisäilman entalpiasta. Paras lämpötilakokemus tiloissa oli silloin, kun sisäilman hiilidioksidipitoisuus oli alhaisin, ts. ilmanvaihto suhteessa tilojen henkilömäärään oli suurin.

Vanttilan päiväkodissa työ- ja oppimiskyvyn ja sisäilman hiilidioksidipitoisuuden välillä oli selkein riippuvuus. Mitä pienempi CO<sub>2</sub> -taso, sitä paremmaksi työkyky koettiin. CO<sub>2</sub>-taso kuvaa yleensä henkilökuormitusta sisäilmaan. Heikoin työ- ja oppimiskyky oli silloin, kun haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistaso oli korkein. Myös suhteellisen kosteuden ja sisäilman entalpiain kanssa oli riippuvuuksia, jotka osoittivat kohtuullisen kosteus- ja lämpötilatason mahdollistavan parhaiksi koetut työolosuhteet. Erityisesti sisäilman korkea suhteellinen kosteus heikensi työkykyä.

Vanttilan päiväkodin ilman raikkaus koettiin riittäväksi vajaassa 43 %:ssa vastauksista. Sisäilman raikkauden koettiin heikkenevän, kun suhteellisen kosteuden arvo nousi noin 40 % RH tasolle tai sen yli. Selkeä riippuvuus nähtiin sisäilman entalpiasta – Raikkaus oli paras matalilla sisäilman entalpien arvoilla. Raikkaus koettiin huonoksi myös hiilidioksiditason kohotessa yli (varsin matalan) 550 ppm tason. Tämä riippuvuus kuvaa enemmänkin raikkauden kokemuksen riippuvuutta tilojen ilmanvaihdosta kuin pelkästään CO<sub>2</sub>-pitoisuudesta.

Sisäilman puhtaus ja hajut koettiin heikoimmiksi korkean suhteellisen kosteuden ja lämpötilan (entalpien) arvoilla. Myös suuret CO<sub>2</sub>-pitoisuudet korreloivat huonoksi koetun puhtauden ja voimakkaiden hajujen kanssa.

## 6. Tulosten tarkastelua Helsinki ja Espoo

### 6.1 Käyttäjäpalautte

Käyttäjäpalautteen datasta tehtiin korrelaatiokuvat missä eri palautteita verrataan toisiinsa (kuvat kappaleiden 4.1.1, 4.2.1, 5.1.1. ja 5.2.1 alussa).

Alla on tässä raportissa kertyneiden havaintojen perusteella koottu pohdintaa käyttäjäpalautekysymyksittäin sekä lopuksi muutamia yleisiä havaintoja.

#### **Minkälainen on lämpöaistimukseni?**

Lämpötilakokemukseen vaikuttaa vahvasti vastaajan fysiologiset ominaisuudet ja aktiivisuuden tila. Mittaustulokseen vaikuttaa mittausta paikka ja miten hyvin se vastaa kunkin palautteenantajan olosuhteita. Luokkatilassa lämpötila voi jakautua epätasaisesti riippuen ilmanvaihdosta ja ilman sekoittumisesta, lämmönlähteiden sijainnista, pintojen lämpösäteilystä, jne. Mitattu lämpötila ei myöskään anna kuvaa ilman liikkeestä ja sen mahdollisesti aiheuttamasta vedon tunteesta, mikä kuitenkin ilmenee lämpöviihtyisyyden kokemuksena. Samoin säteilylämmönsiirto ihmisten ja pintojen (kylmät tai lämpimät pinnat) välillä ei näy mitatuissa ilmalämpötiloissa, mutta vaikuttaa lämpökokemukseen.

Koetun lämpötilan pitäisi aiempien tutkimusten mukaan riippua mitatusta sisäilman lämpötilasta ja myös suhteellisen kosteuden tasosta sekä nämä yhdistävästä sisäilman entalpiasta (mm. Simonson et al. 2001). Entalpia kuvaa ilman energiasisältöä [kJ/kg] ja se yhdistää kuivan ilman energiasisällön ilman kosteuden energiasisällön kanssa. Esimerkiksi ilmastointiprosesseja voidaan tarkastella Mollier-diagrammin avulla, jossa esitetään kuivan ilman lämpötila, kosteuspuiteisuus ja entalpia.

Kahdessa kohteessa tilojen käytönaikaiset olosuhteet olivat niin hyvin hallinnassa, että merkittäviä vaihteluita mitatuissa arvoissa ei juuri esiintynyt. Siten korrelaatioita koetun lämpötilan ja mitattujen olojen välille ei näissä tapauksissa voitu muodostaa. Kahdessa kohteessa löytyi ajoittaisia korkeita suhteellisen kosteuden arvoja ja jonkin verran poikkeamia keskimääräisestä lämpötilasta, joten riippuvuudet näkyivät näissä tapauksissa.

Näissä tapauksissa koettuun lämpötilatasoon vaikutti voimakkaasti sisäilman suhteellinen kosteus. Korkeat suhteellisen kosteuden arvot vastasivat liian lämpimäksi koettua tilaa. Sisäilma koettiin liian lämpimäksi yli 40 % RH suhteellisessa kosteudessa. Paras koettu lämpötila tutkitussa päiväkodissa oli sisäilman lämpötilassa +21,5 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa alueella 32–38 % RH. Vastaava tulos näkyi kahdessa kohteessa selvästi koetun lämpötilan riippuvuudessa sisäilman entalpiasta. Kun ilman entalpiataso ylitti tason noin 36 kJ/kg, alkoi ilma tuntua keskimäärin liian lämpimältä ja yli 40 kJ/kg taso tuntui liian kuumalta. Toisaalta yhdessä kohteessa (Meritalo) sisäilman lämpötilataso oli keskimäärin muita kohteita

selvästi korkeampi (23,5–24 °C) ja vuotuinen entalpiataso 36–37 kJ/kg, eikä riippuvuuksia koetun ja mitatun välillä ollut. Siten koettu paras sisäilman lämpö- ja kosteustila riippuu mm. tilojen käyttötavasta.

Tutkitussa päiväkodissa paras lämpötilakokemus tiloissa oli silloin, kun sisäilman hiilidioksidipitoisuus oli alhaisin, ts. ilmanvaihto suhteessa tilojen henkilömääriin oli suurin.

### **Minkälaiseksi koen sisäilman kosteuden?**

Ihmisen kyky havaita ilman kosteutta on hyvin rajallinen ja suhteellisen kosteuden taso näkyy välillisesti mm. koetussa lämpötilassa ja ilman raikkaudessa.

### **Minkälaiseksi koen sisäilman raikkauden?**

Sisäilman raikkauden ja hiilidioksiditason välillä voisi olettaa löytyvän korrelaatio. Tutkituissa kohteissa tilojen ilmanvaihto oli hyvä ja hiilidioksiditasot alhaiset. Tutkitussa päiväkodissa oli jonkinlainen riippuvuus – raikkaus koettiin huonoksi hiilidioksiditason kohotessa yli (varsin matalan) 550 ppm tason. Tämä riippuvuus kuvaa enemmänkin raikkauden kokemuksen riippuvuutta tilojen ilmanvaihdosta ja muista tekijöistä kuin pelkästään CO<sub>2</sub>-pitoisuudesta. Myös yhdestä koulusta saatiin viitteitä lievästä korrelaatiosta sisäilman koetun raikkauden ja CO<sub>2</sub> tason välillä.

Sen sijaan koetun raikkauden riippuvuutta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän kanssa ei havaittu, mikä ilmeisesti johtui erilaisista haihtuvista yhdisteistä ja siitä, miten ne koetaan.

Raikkaus koettiin heikoksi, kun sisäilman suhteellinen kosteus (taso 40 % RH tai yli) tai sen entalpia oli korkea ja kun ilman tuloilman lämpötila oli keskimääräistä korkeampi. Raikkaus oli paras matalilla sisäilman entalpian arvoilla.

### **Minkälaiseksi koen sisäilman hajun?**

Sisäilman haju oli tässä tutkimuksessa muista poikkeava kysymys, jossa vastaus tehtiin pyörittämällä vastaussovelluksen kehänäyttöä välillä 0–10, jossa paras tilanne (hajuton) oli arvossa 0 ja huonoin arvossa 10. Tällaisen luokituksen eri tasojen hahmottaminen on kaikille vaikeaa, mikä voi osaltaan selittää näiden vastauksen painottumista. Tuloksissa saattaa myös näkyä alakoululaisten halu pyörittää palautenappulaa loppuun asti (10) vaikka monivalintakysymyksessä tilanne olisi saattanut olla toinen. Sama kysymys esimerkiksi ammattiopistossa antoi normaalin näköisiä jakaumia, jossa ääripää ei korostunut samalla tavoin. Hankaluuksena on kuitenkin määrittää 11-portaisella asteikolla tarkka kohta koetulle aistimukselle, mikä lisäsi tulosten hajonnan aiheuttamaa vaikeutta niiden tulkinnassa. Kyselyformaattissa on jatkoa ajatellen parannettavaa.

Koetuilla hajuuilla ei ollut selkeää, koko asteikon kattavaa riippuvuutta mistään tekijästä, mutta joitain yksittäisiä havaintoja voitiin tehdä. Suuri TVOC- ja pölytaso sijoittuivat selvästi hajuhaittaa kuvaavalle tasolle. Myös suuret CO<sub>2</sub>-pitoisuudet korreloivat huonoksi koetun voimakkaiden hajujen kanssa. Sisäilman hajut koettiin voimakkaimmiksi korkean suhteellisen kosteuden ja lämpötilan (entalpian) arvoilla.

### **Minkälaiseksi koen sisäilman puhtauden?**

Sisäilman koetun puhtauden palauteasteikko oli samanlainen 11-portainen kuin hakuselvityksessä, ja sen palautteiden käsittelyssä oli samat vaikeudet.

Koetulla sisäilman puhtaudella ei ollut selkeää, koko asteikon kattavaa riippuvuutta mistään tekijästä, mutta joitain yksittäisiä havaintoja voitiin tehdä. Suuri TVOC –taso johti sisäilman puhtauden osalta suurin huonoon kokemukseen. Sisäilman puhtaus koettiin heikoimmaksi korkean suhteellisen kosteuden ja lämpötilan (entalpian) arvoilla. Suuret CO<sub>2</sub>-pitoisuudet korreloivat huonoksi koetun puhtauden kanssa. Joissain tapauksissa koettu epäpuhtaus kasvoi pölypitoisuuden kasvaessa.

### **Minkälaiseksi koen valaistusolosuhteet?**

Koettu valaistus oli yksi selkeimmin työ- ja oppimiskykyyn vaikuttavista tekijöistä. Valaistusvoimakkuutta tai sen laatua ei mitattu, eikä koettua valaistusta verrattu muihin mittauksiin.

### **Minkälaiseksi koen huoneen akustiset ominaisuudet?**

Koettu akustiikka ja tilan koettu äänimaailma olivat yksi selkeimmin työ- ja oppimiskykyyn vaikuttavista tekijöistä. Kokemuksella oli selkeä korrelaatio mitatun äänenpainetaso- n kanssa – kokemus parani, kun äänentaso laski.

### **Minkälaiseksi koen työ- tai oppimiskykyäni?**

Työ- ja oppimiskyky kuvaa palautteessa kysytyistä asioista parhaiten sitä, mihin hyvällä sisäympäristöllä pyritään. Tämä yhdistää eri kokemukset tilasta ja tilanteesta yhdeksi.

Tässä selvityksessä selkeimmin työ- ja oppimiskykyyn kanssa korreloivat koetut valaistusolot, akustiikka ja ääniolot sekä sisäilman koettu raikkaus.

Sisäilman suhteellinen kosteus vaikutti koettuun työ- ja oppimiskykyyn, jonka parhaat arvot saatiin kohtuullisen alhaisilla 30–38 % RH kosteustasoilla. Liian alhaiset tai korkeat kosteustasot sisäilmassa heikensivät koettua oppimiskykyä. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhdistelmälle pätee ilmeisesti suhteellisen hyvin tunnetut viihtyisyysalueet. Vaihtelua tässäkin löytyi eri rakennusten välillä: Meritalon ammattikoulussa oli korkeammat hyväksi koetut lämpötilatasot kuin muissa kohteissa. Meritalon monet luokat ovat alttiina auringon säteilylle. Siellä löydettiin suhteellisen selkeä käänteinen riippuvuus (Kumpulassa mitatun) suoran auringon säteilyn sekä työ- ja oppimiskykyyn välille: parhaaksi koettu tilanne oli pienimmillä auringon säteilyn arvoilla.

Kouluissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä ei vaikuttanut koettuun työ- ja oppimiskykyyn tai yhdisteiden tason kohoaminen jopa korreloi hyväksi koettujen olojen kanssa (Meritalon ammattikoulu). Sen sijaan päiväkodissa yhdisteiden korkea pitoisuus vastasi huonoa työkykyä, ja työkyky oli sitä parempi, mitä alempi hiilidioksiditaso oli, ts. mitä parempi ilmanvaihto oli tilojen käyttäjää kohden.

## 6.2 Sensoridata

Lämpötila on yksi selkeimmistä sisäympäristön kokemukseen liittyvistä tekijöistä. Sen mittaaminen on suhteellisen helppoa ja mittaustulos melko yksiselitteinen. Sisäilman suhteellinen kosteus kuuluu mitattaviin perussuureisiin.

Hiilidioksidipitoisuus kuvaa henkilökuormituksen ja ilmanvaihdon suhdetta. Hiilidioksidi ei ole suoraan havaittavissa (pieninä pitoisuuksina), mutta sen taso kuvaa muita mahdollisia epäpuhtauksia ilmassa.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistason (TVOC) mittaaminen on sensorien tarkkuuden vuoksi suuntaa antavaa. Tässä selvityksessä oleellista oli erottaa tason vaihtelut, ei absoluuttiset tasot. Kokonaistaso sisältää kaikki yhdisteet, joista jotkin voivat olla huomattavasti muita häiritsevempiä, joten mitattu kokonaistaso ei anna selkeää kuvaa siitä, miten ne voidaan kokea. Korkea TVOC -taso voi olla yhdistettävissä esimerkiksi tunkkaisuuden kokemukseen, ja toisaalta esimerkiksi ammattiopiston kauneudenhoitotuotteiden yhdisteet voidaan kokea hyvinä. Lisäksi käsisidesin käyttö näkyy VOC antureissa piikkeinä.

Paine-eroa rakennusvaipan yli pyrittiin mittaamaan. Tulosten perusteella mittauksissa oli melkoisesti parannettavaa, mittausten paine-eroarvot saattoivat vaihdella yli 100 Pa ali/ylipaineen alueella, jotka voitiin todeta selvästi virheellisiksi. Tarkasteltujen jaksojen mittaustulosten epäluotettavuuden takia näiden merkitystä sisäilman laadulle ei päästy analysoimaan toivotulla tavalla.

## 6.3 Taloautomaatiodata

Taloautomaation tiedonkeruujärjestelmistä voitiin saada käyttökelpoista tietoa tilojen lämpötilasta, CO<sub>2</sub>-pitoisuudesta, tulo- ja poistoilmavirroista yms. Näitä tietoja voitiin käyttää tilojen oleskeluvyöhykkeellä tehtyjen mittausten tukena ja vertailussa.

## 6.4 Yleisiä havaintoja

Vaikka poikkeuksellinen tilanne vaikeutti käytännön datan keräämistä projektissa, päästiin käsittelemään kokonaista vuoden jaksoa datan osalta. Yleisiä havaintoja eri järjestelmien toiminnasta voitiin kuitenkin tehdä.

Jo projektin alussa oli tiedossa edellisen projektin perusteella, että palveluiden ostaminen on monimutkainen prosessi. Hankintaprosessi sinänsä on suurilla kaupungeilla kokonaisuutena hyvin hallussa.

Tässäkin projektissa on voitu havaita se, että vaikka ostettu palvelu olisi hyvin toimiva sinänsä, on sen toiminta esimerkiksi taloautomaation osana tai lisänä palvelun ulkopuolella oleva asia. Haasteena on kokonaisuuden hallinta ja miten vastuut jakautuvat. Jos siis esimerkiksi ulkopuolisen anturin antama arvo linkittyisi jatkossa osaksi esimerkiksi taloautomaation säätöä on voitava varmistaa, että arvo on oikea ja esimerkiksi vikaantumisen takia ei tehdä säätöä virheellisen tai puuttuvan datan perusteella. Pitäisi siis voida varmistaa datan oikeellisuus, jolloin se olisi osa toimivuuden varmistamista. Tässä tutkimuksessa käytetyt datat varmistettiin melko



työläästi projektin aikana, mutta vastaava toimintamalli ei ole käytännössä toimiva ratkaisu lisääntyvän automaation tuottaman datamäärän ja järjestelmien yhteistoinnin kasvaessa. Kerätyn mittaustiedon tulee olla jatkuvaa, luotettavaa, jäljitettävää ja kalibroituissa.

## 7. Vantaan sisäilmakohteet

### 7.1 Kohteiden valinta

Vantaan kaupunki oli mukana jo vuonna 2019 Smart & Clean -sisäilmaltaan laadukkaat ja kustannustehokkaat tilat -hankkeessa, jossa selvitettiin hyvän sisäilman tekijöitä reaaliaikaisin mittauksin ja käyttäjäpalauttein. Samaa seurantaä jatkettiin muutamassa kohteessa vielä vuoden 2020 ajan, mutta suurin osa seurannan kohteista vaihtui.

Käyttäjien palautetta ja antureilla mitattuja tietoja kerättiin vuonna 2020 seitsemässä koulussa ja kahdeksassa päiväkodissa. Joukossa oli tavanomaisia rakennuksia, juuri korjattuja rakennuksia sekä rakennuksia, joiden sisäolosuhteista haluttiin pidempiaikaista seurantatietoa.

### 7.2 Datan kerääminen

Seurannassa mukana olleisiin rakennuksiin asennettiin mittausantureita, jotka antoivat jatkuvaa tietoa rakennuksen sisäilmastosta ja -ympäristöstä. Samaan aikaan opettajat, koululaiset ja päiväkotien henkilöstö antoivat henkilökohtaista palautetta tablettitietokoneella saman huoneen sisäilman laadun tuntemuksista ja mahdollisista olosuhdehaitoista.

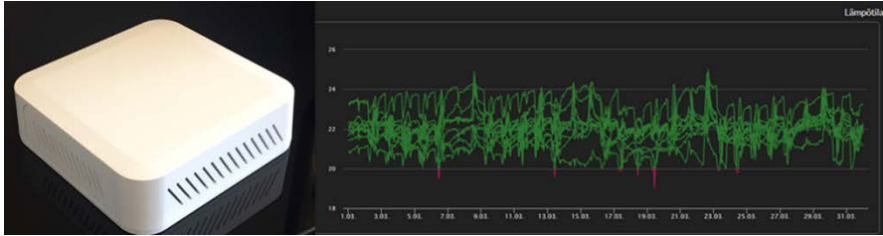
Järjestelmien käyttöönotosta laadittiin viestintäsuunnitelma, jonka mukaan kohteisiin toimitettiin tiedotteita ja annettiin tarvittava perehdytys järjestelmien käyttöön. Infotilaisuuksia järjestettiin toimialan johdolle, kaupunkitasoiselle sisäympäristöasiodien ohjausryhmälle sekä kohteiden henkilöstölle.

Mittaus- ja palautejärjestelmän toimittajat avasivat käyttöliittymät, joiden kautta Vantaan kaupungin asiantuntijat sekä rehtorit ja päiväkotien johtajat pystyivät seuraamaan tilannetta reaaliaikaisesti. Laajamittainen datan yhdistäminen tehtiin joulukuussa 2020, jonka jälkeen tulokset raportointiin tilojen käyttäjille.

#### 7.2.1 Mittausdata

Seurannassa mukana olleisiin kohteisiin sijoitettiin mittausantureita. Näiden antureiden tarjoaja oli Smartwatcher Oy, joka voitti sisäilmaston mittaus- ja palautejärjestelmät hankintakilpailun mittausosa-alueen vuonna 2018 (kuva 122). Mittausantureita sijoitettiin 8–14 tilaan/kohde. Mittauspisteiden määrään vaikutti mm. kiinteistön koko. Mittauspisteet valittiin siten, että niiden avulla voitiin saada kattava kuva rakennuksen olosuhteista. Kouluissa mitattaviksi tiloiksi valikoitui pääasiassa opetustiloja sekä opettajainhuone ja terveydenhoitajan työhuone. Päiväkodeista valittiin mittaviksi useamman ryhmän ryhmätyöhuone sekä lepohuone.

Olosuhdeanturit mittaavat sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta (TVOC) ja pienhiukkaspitoisuutta. Lisäksi erillinen anturi mittasi ulko- ja sisäilman väistä paineeroa.

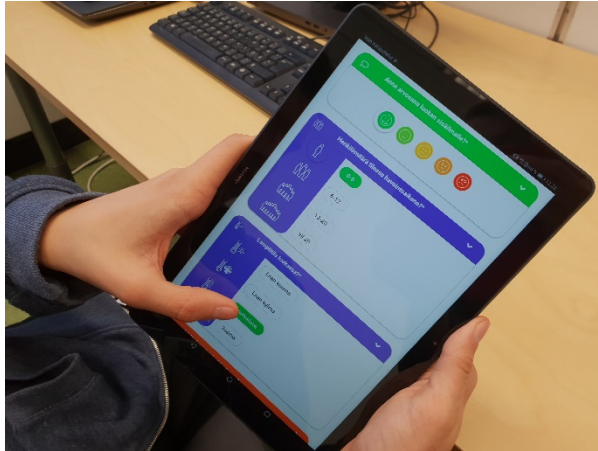


**Kuva 122.** Mittausanturit olivat huomiota herättämättömiä valkoisia laatikoita, jotka toimivat verkkovirralla. Esimerkkikuva mittausdatasta, päiväkotikohteen sisälämpötila maaliskuussa 2020.

Mitattaville suureille asetettiin ns. toimenpiderajat ja ko. suureen pysyvyyttä toimenpiderajojen sisäpuolella seurattiin. Sisäilman lämpötilan osalta seurattiin, miten hyvin lämpötila pysyi asumisterveysasetuksen mukaisten toimenpiderajojen sisällä (lämmityskaudella +20...+26 °C ja muuna aikana 20...32 °C, STMa 545/2015). Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpiderajana pidettiin myös asumisterveysasetuksen mukaista toimenpiderajaa (pitoisuus 1150 ppm suurempi kuin ulkoilmanpitoisuus, STMa 545/2015), tämän lisäksi tilannetta tarkkailtiin 1000 ppm pitoisuusrajalla. Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron tavoitetasoksi määritettiin -10...+5 Pa. Muiden mitattavien suureiden osalta tarkastelua ei tällä tarkkuudella tehty, koska TVOC:ien ja pienhiukkasten mittausantureiden mittaustekniikka poikkeaa asumisterveysasetuksessa määritetyistä analysointimenetelmistä eikä saatuja tuloksia voi siten verrata asumisterveysasetuksen toimenpiderajoihin. Näiden osalta tarkasteltiin lähinnä tilojen välistä ja ajallista vaihtelua.

### 7.2.2 Käyttäjäpalautte

Kohteissa otettiin käyttöön Fresh Air Global Oy:n Indoors käyttäjäpalauttejärjestelmä, joka voitti Vantaan kaupungin sisäilmaston mittaus- ja palautejärjestelmien kilpailutuksen palautejärjestelmän osa-alueen vuonna 2018. Seurannassa mukana olleisiin kohteisiin sijoitettiin palautelaite-tabletteja, joiden avulla kiinteistön käyttäjät pääsivät antamaan palautetta sisäympäristöön liittyen (kuva 123). Tabletit sijaitsivat samoissa tiloissa, joissa sisäilman olosuhdetietoa kerättiin mittausantureiden avulla. Palauteen avulla saatiin tietoa siitä, millaiseksi kiinteistön käyttäjät kokivat sisäympäristön. Käyttäjäpalauttejärjestelmän kysymykset ja vastausvaihtoehdot on esitetty taulukossa 10.



**Kuva 123.** Käyttäjät antoivat palautetta tablettitietokoneilla.

**Taulukko 10.** Käyttäjäpalautejärjestelmän kysymykset ja vastausvaihtoehdot, \*merkityt olivat pakollisia kysymyksiä.

Nro	Kysymys	Vastausvaihtoehdot
1*	Anna arvosana tilan sisäilmalle?	erinomainen, hyvä, tyydyttävä, heikko, huono
2*	Henkilömäärä tilassa havaintoaikana?	0–5, 6–12, 13–20, yli 20
3*	Lämpötila tilassa?	sopiva, lämmin, liian kuuma, viileä, liian kylmä
4*	Miten raikkaaksi koet sisäilman?	raikas, neutraali, tunkkainen
5	Minkälaiseksi koet sisäilman kosteuden/kuivuuden?	sopiva, liian kostea, liian kuiva
6	Tunnetko hajua tilassa?	ei hajua, hieman hajua, voimakas haju
7	Mikä on tilan siisteyden taso?	hyvä, tyydyttävä, huono
8	Lisätietoja	avoin kenttä

### 7.3 Tulokset

Tulokset käsittävät mittausantureiden ja käyttäjäpalautejärjestelmän keräämän tiedon aikaväliltä 1.1.–14.12.2020.

Tulosten tarkastelu tehtiin kohdekohtaisesti erillisissä järjestelmissä, mittaustiedon ja käyttäjäpalauteen välille ei laskettu korrelaatioita.

### 7.3.1 Mittausdata

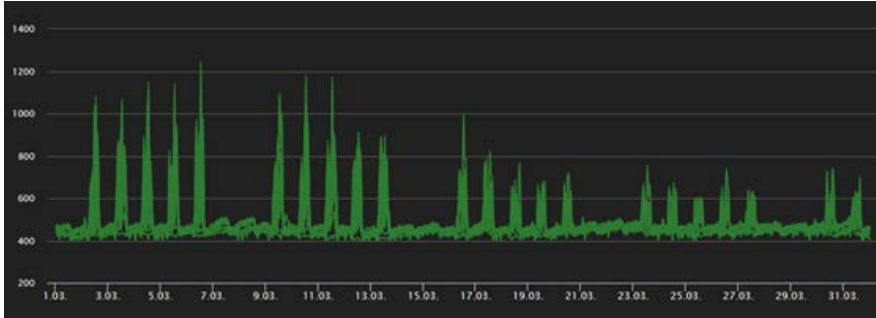
Olosuhdetietoa saatiin kaikista 15 rakennuksesta. Tulosten tarkastelussa tulee huomioida, että olosuhteen pysyvyyttä annetuissa rajoissa on tarkasteltu koko vuoden 2020 ajalla. Mukana on siis sekä rakennuksen käyttöaika että käytön ulkopuolinen aika. Tämä on vaikuttanut tuloksiin todennäköisesti huonontuen lämpöolosuhteiden ja painesuhteiden pysyvyyttä tavoitetasossa sekä puolestaan parantaen hiilidioksidipitoisuuden pysyvyyttä.

Mitatuista suureista sisäilman hiilidioksidipitoisuus pysyi parhaiten asetetuissa rajoissa. Hiilidioksidipitoisuuden pysyvyyttä asumisterveysasetuksen mukaisissa rajoissa tarkasteltaessa näytti siltä, että yhdessä koulukohteessa hiilidioksidipitoisuus oli 5 % ajasta yli toimenpiderajan (taulukko 11). Kuitenkin tarkempi kuvaajien analysointi osoitti, että todellisuudessa tässäkin kohteessa hiilidioksidipitoisuus ei ollut yli asumisterveysasetuksen toimenpiderajan, vaan yhden anturin perustaso poikkesi merkittävästi muista ja siten vääristi todellista tulosta. Hiilidioksidipitoisuustasoissa oli nähtävissä jyrkkä muutos maaliskuun puolivälissä (kuva 124), pitoisuustasot laskivat selvästi ja alkuvuoden tasolle palattiin vasta alkusyksystä. Muutos johtui Covid 19 -epidemiasta, keväällä päiväkotilapsille suositeltiin kotihoitoa mahdollisuuksien mukaan ja kouluissa lähiopetusta vähennettiin.

**Taulukko 11.** Yhteenveto 15 kohteen koko vuoden 2020 mittausdatasta, olosuhteen pysyvyys asetetuissa rajoissa % ajasta, kaikkien kohteiden tulosten vaihteluväli ja keskiarvo (Min, Max, KA).

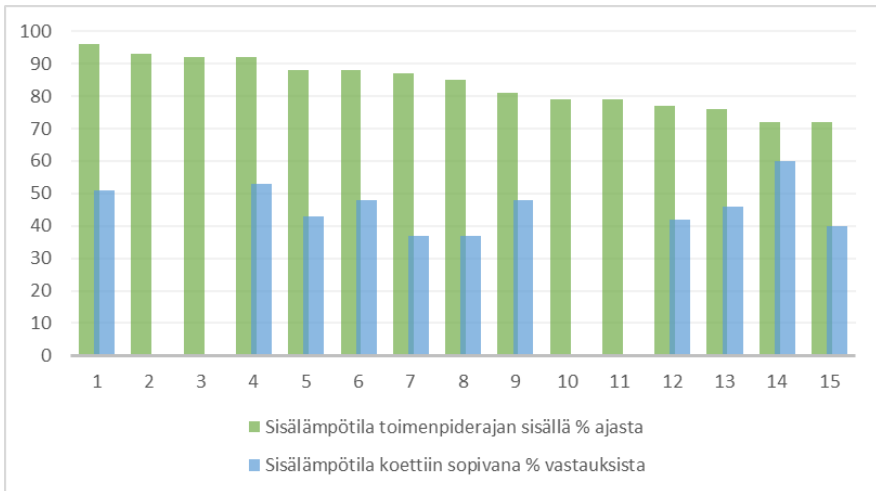
	Min (%)	Max (%)	KA (%)
Sisälämpötila pysyi asumisterveysasetuksen mukaisten toimenpiderajojen sisällä	72	96	84
Hiilidioksidipitoisuus pysyi asumisterveysasetuksen toimenpiderajan alapuolella	95*	100	100
Sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero pysyi tavoitetasossa	54	97	88

\*tulosta vääristää mittausanturin vika, perustaso poikkesi tavanomaisesta



**Kuva 124.** Esimerkkikuva päiväkodin hiilidioksidipitoisuuden muutoksesta maaliskuussa 2020, Covid 19 -epidemian myötä lapsimäärät päiväkodeissa vähenivät.

Sisälämpötilan osalta vaihtelua oli rakennusten välillä (kuva 125). Neljässä rakennuksessa sisälämpötila pysyi yli 90 % ajasta asumisterveysasetuksen mukaisissa rajoissa. Kuitenkin kahdessa rakennuksessa sisälämpötila oli lähes 30 % ajasta rajojen ulkopuolella. Useimmiten poikkeamat olivat liian viileään suuntaan.

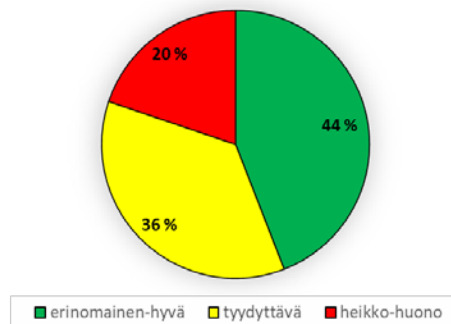


**Kuva 125.** Sisälämpötilan pysyvyys toimenpiderajan sisällä % ajasta (vihreä). Käyttäjien kokemus sopivasta sisälämpötilasta, % vastauksista (sininen). X-akselilla kohteet numeroituina. Palautetuloista ei ilmoiteta niiden kohteiden osalta, joissa palautetta annettiin alle 50 kertaa.

Sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero pysyi 11 rakennuksessa vähintään 90 % ajasta tavoitetasossa (taulukko 11). Kuitenkin kahdessa rakennuksessa ilmanvaihto oli merkittävästi epätasapainossa, näissä yli 40 % ajasta oltiin tavoitetason ulkopuolella. Poikkeamat olivat sekä liiallisen alipaineisuuden että ylipaineisuuden suuntaan.

### 7.3.2 Käyttäjäpalaute

Seurantajakson aikana käyttäjiltä saatiin vaihtelevasti palautetta, 5...1407 kertaa/rakennus. Käyttäjäpalautteen tuloksia käsitellään niistä 11 rakennuksesta, joista saatiin vähintään 50 palautetta. Sisäilmalle annettiin yleisarvosana hyvä tai erinomainen harvemmin kuin joka toisessa palautteessa (kuva 126). Kahdessa rakennuksessa hyvä tai erinomainen arvosana annettiin jopa 70 %:ssa palautteista. Toisaalta neljässä rakennuksessa joka kolmannessa palautteessa annettiin sisäilmalle arvosana heikko tai huono.



**Kuva 126.** Sisäilman yleisarvosana keskimäärin vuonna 2020.

Rakennuksen käyttäjien antamissa sisälämpötilaan liittyvissä palautteissa oli paljon eroja rakennusten välillä, eikä annetun palautteen ja mitatun tiedon välillä havaittu yhteyttä (kuva 125). Keskimäärin joka toisessa palautteessa sisälämpötila arvioitiin sopivaksi, mutta toinen puoli piti lämpötilaa joko liian lämpimänä tai viileänä (taulukko 12). Hieman useammin annettiin palautetta liian viileästä sisälämpötilasta.

Sisäilma koettiin raikkaana tai neutraalina useammin kuin tunkkaisena (taulukko 12). Kuitenkin kahdessa rakennuksessa sisäilma koettiin tunkkaisena noin 60 %:ssa palautteista. Keskimäärin joka kolmannessa palautteessa raportoitiin voimakkaasta tai lievistä hajusta, mutta kolmessa rakennuksessa noin joka toisessa palautteessa raportoitiin hajuista. Siisteystasoon oltiin useimmiten tyytyväisiä. Kahden rakennuksen kaikissa palautteissa siisteystaso arvioitiin hyväksi tai tyydyttäväksi. Yhdessä päiväkotikohteessa oltiin selvästi muita tyytymättömämpiä siisteystasoon, siellä kolmanneksessa palautteista annettiin siisteystasolle arvosanaksi huono.

**Taulukko 12.** Yhteenveto käyttäjien antamasta palautteesta 11 kohteesta koko vuoden 2020 ajalta, %-osuus vastauksista, kaikkien kohteiden tulosten vaihteluväli ja keskiarvo (Min, Max, KA). Kysymykset esitetty taulukossa taulukko 10.

	Min (%)	Max (%)	KA (%)
Sisäilma arvioitiin erinomaiseksi tai hyväksi	17	71	44
Sisälämpötila koettiin sopivana	37	60	46
Sisäilma koettiin raikkaana tai neutraalina	37	84	63
Sisäilman kosteus koettiin sopivaksi	12	83	51
Sisäilmassa ei havaittu hajuja	45	90	64
Siisteystaso oli hyvä tai tyydyttävä	66	100	91

## 7.4 Johtopäätökset

Seurannassa mukana olleissa Vantaan kaupungin kouluissa ja päiväkodeissa ilmanvaihdon riittävyys oli yleisesti hyvä. Kaikissa mitatuissa tiloissa, mukaan lukien päiväkotien lepo huoneet, hiilidioksidipitoisuus pysyi jatkuvasti alle asumisterveysasetuksen mukaisen toimenpiderajan (STMa 545/2015). Valtaosan ajasta hiilidioksidipitoisuus oli myös alle 1000 ppm. Hyvään tulokseen on vaikuttanut myös poikkeuksellinen ajankohta ja Covid 19 -epidemian mukanaan tuomat toimenpiteet. Kun henkilömäärä tiloissa pienenee, pienenee myös sisäilman hiilidioksidipitoisuus.

Vaikka mittausdatan mukaan ilmanvaihdon riittävyys oli hyvällä mallilla, keskimäärin joka kolmannessa palautteessa sisäilma koettiin tunkkaisena, joissakin kohteissa jopa 60 %:ssa palautteista. Kokemuseräisesti on arvioitu, että hiilidioksidipitoisuuden kohotessa yli 800 ppm sisäilman tunkkaisuuden tunne lisääntyy. Sisäilman tunkkaisuuden kokemukseen vaikuttaa ilmanvaihdon riittävyyden lisäksi mm. sisäilman lämpötila; lämmin ilma tuntuu usein tunkkaiselta ja kuivalta. Keskimäärin joka neljännessä palautteessa raportoitiinkin liian lämpimästä sisäilmasta. Lämpöviihtyvyyteen puolestaan vaikuttavat monet tekijät huoneen lämpötilan lisäksi, näitä ovat mm. työn fyysisyys, vaatetus ja henkilökohtaiset ominaisuudet. Koska ihmisten välillä on paljon yksilöllisiä eroja, on Työterveyslaitoksen mukaan parhaimpiinkin lämpöoloihin tyytyväisiä enintään 85 % työntekijöistä.

Rakennusten sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero pysyi valtaosassa rakennuksista hyvin tavoitetasossa, mikä kertoo hyvästä ilmanvaihdon tasapainotuksesta. Joukosta erottuvissa kohteissa voitiin tehdä korjaustoimenpiteitä ja nähdä muutoksia käyttäjien antamissa palautteissa ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteitä. Kahdessa rakennuksessa ilmanvaihdon puhdistus ja säätö ajoittui kesälle 2020. Palautteita saatiin syksyllä vähemmän kuin keväällä, mutta korjausten jälkeisissä vastauksissa sisäilman tunkkaisuudesta ja hajuista annettiin suhteellisesti tarkasteltuna selvästi vähemmän palautetta kuin mitä ennen korjauksia. Samaan aikaan mittausdatasta voitiin tarkastella säätötoimenpiteen onnistumista.



Käyttäjäpalautteella ja mittaustiedoilla havaittiin joissain rakennuksissa yhteneväisyyksiä. Esimerkiksi yhden päiväkodin käyttäjät antoivat usein palautetta liian kylmästä sisälämpötilasta. Mittaustiedon mukaan sisälämpötila olikin yli neljäsosan ajasta toimenpiderajojen ulkopuolella, alle 20 astetta. Päiväkodissa tehtiin myös tarkempia tutkimuksia vuoden aikana ja niissä havaittiin puutteita mm. rakennuksen lämmöneristyksessä sekä ilmatiiveydessä.

Kaikissa tapauksissa yhteneväisyyksiä ei kuitenkaan havaittu. Yhdessä päiväkodissa olosuhdemittausten tulokset olivat erittäin hyvät, vaikka käyttäjien antama yleisarvosana sisäilmalle oli kaikista seurannassa mukana olleista kohteista huonoin. Päiväkodissa annettiin myös usein palautetta sekä liian lämpimästä että tunkkaisesta sisäilmasta.

Vastaavia tuloksia saatiin vuoden 2019 datan osalta, kun mitatun ja koetun datan korrelaatioita tarkasteltiin opinnäytetyössä (Harinen, 2020). Useimmiten tilastollisesti merkitsevä yhteys löytyi mitatun ja koetun lämpötilan väliltä sekä ilman raikakauden ja mitatun lämpötilan väliltä. Harinen ei kuitenkaan löytänyt selkeitä yhteyksiä mitatun aineiston ja tilankäyttäjien kokemusten välillä. Molempien mittaustapojen avulla pystyttiin kuitenkin löytämään tilojen ja rakennusten välisiä eroja.

## **7.5 Tulosten hyödynnettävyys ja jatkokehitystarpeet**

Tilojen käyttäjien palautteen ja anturimittausten yhdistelmä on osoittautunut hyväksi keinoksi koota tietoa toimitilojen sisäilmatilanteesta. Mittauksista saatuja tietoja on voitu hyödyntää mm. sisäilmaan liittyvien tutkimusten yhteydessä sekä korjaavien toimenpiteiden kohdistamisessa ja niiden onnistumisen seurannassa. Mittaukset on koettu hyödyllisiksi ja toimintatapaa aiotaan jatkaa.

Jatkuvatoimisessa seurannassa havaittiin myös jatkokehitystarpeita, jotta mittauksista saatava tieto olisi entistä luotettavampaa ja kuvaisi tilan todellista olosuhdetta. Jatkossa onkin kiinnitettävä erityistä huomiota mittausantureiden asentamiseen. Vantaan kaupungilla oli käytössä verkkovirtaa tarvitsevat mittausanturit, jotka oli usein sijoitettu opettajien pöydälle. Joissain tapauksissa olosuhdemittari oli siirretty työpöydältä ikkunalaudalle, jolloin se ei enää anna todellista kuvaa oleskeluvyöhykkeen lämpötilasta eikä myöskään hiilidioksidipitoisuudesta. Akkukäyttöiset ja seinäkiinnitteiset mallit todennäköisesti toimivat jatkossa paremmin, mutta niidenkin sijoittelussa tulee huomioida useita asioita. Lisäksi tavoitteena on ottaa mukaan ns. tason tarkistusmittaukset kalibroiduilla mittalaitteilla, jotta voidaan varmistua langattomien mittausantureiden antaman tiedon oikeellisuudesta. Tulevissa seurantakohteissa tullaankin parantamaan dokumentaatiota näiden asioiden osalta.

Mitattavien suureiden osalta käytetty järjestelmä ei mahdollistanut rakennuksen käytön aikaisen olosuhteen pysyvyyden tarkastelua vaan tarkastelussa oli mukana myös käytön ulkopuolinen aika kuten yöt, viikonloput ja lomajakso. Tämä on syytä huomioida jatkossa paremmin, jotta saadaan todellista käytön aikaista tietoa olosuhteen pysyvyydestä.

Tulevissa seurantakohteissa halutaan myös tarjota enemmän tietoa tilojen käyttäjille seurannan aikana reaaliaikaisesti. Tavoitteena on tarjota niin sanottu kaksisuuntainen palautejärjestelmä; kun annat palautetta, saat tietoa sisäolosuhteista paluuviestinä. Tämän mahdollistamiseksi mittausdata ja käyttäjäpalaute tulee olla yhdistettävissä toisiinsa paremmin.

## 8. Pohdintaa

Projektissa havaittiin tiedonkäsittelyyn liittyviä haasteita, jotka johtuivat siitä, että perusasiat eivät olleet standardoituja. Esimerkiksi tiedonsiirrossa ajan määrittäminen on tärkeää. Pitää tietää onko järjestelmässä talvi-, kesä, vai esimerkiksi UTC-aika ja ajalle pitää olla varmistuskäytäntö, jotta tiedot menevät keskenään oikein. Vastaavasti yksinkertaistenkin anturien tarkkuus ja jäljitettävyyden pitäisi olla osa kokonaisuutta. Myös esimerkiksi irrallisten lisäantureiden sinänsä tahaton siirtyminen opettajanpöydältä ikkunalaudalle muuttaa käytännössä dataa tuntemattomaan suuntaan. Käytännössä paristoilla toimivien antureiden helpon asennettavuuden vastakohtana on paristojen tyhjenemisen yllätyksellisyys ja huoltovastuukysymykset.

Edellä oli vain muutamia poimintoja havaituista asioista, jotka tulisi hallita ennen kuin esimerkiksi lisäanturointeja käytetään taloautomaation säätämiseen. Samoin käyttäjäpalautteen pitää olla yksiselitteistä.

Tässä tutkimuksessa anturien pimeneminen, tiedonsiirtokatkot tai muut hallitsemattomat asiat eivät vaikuttaneet säätöön vaan ainoastaan rajasivat tutkimusdataa ja olivat sinänsä opettavia löydöksiä. Erillisten mittausten puutteita voitiin usein korvata käyttämällä vastaavaa taloautomaation tuottamaa dataa.

Palautteiden muuttujia verrattiin rakennustasolla toisiinsa. Korrelaatiomatriisien muodostamista varten palautedata piti erottaa vertailtaviksi dataseteiksi. Mikäli samalla ajalla oli useita arvoja, käytettiin maksimifunktiota eli vain suurin soluun tulossa olevista arvoista huomioitiin.

Sisäympäristössä koettu työ- ja oppimiskyky kuvaa palautteessa kysytyistä asioista parhaiten sitä, mihin hyvällä sisäympäristöllä pyritään. Tämä yhdistää eri kokemukset tilasta ja tilanteesta yhdeksi. Tämän kanssa on vahva positiivinen korrelaatio koetulla valaistuksella ja äänimaailmalla sekä jonkin verran koetulla sisäilman raikkauksella.

Tarkastelluissa ainakin Helsingin ja Espoon kohteissa talotekniset järjestelmät olivat suhteellisen uudet ja ne toimivat tarkoituksenmukaisesti, eikä merkittäviä poikkeamia lämpötiloissa tai ilmanvaihdossa havaittu. Tulosten käsittelyn kannalta tämä olennaisten häiriötilanteiden puuttuminen vaikeutti kattavien riippuvuuksien muodostamista mittaussuureiden ja koetun sisäympäristön välille.

Seuraavassa on poimintoja joistain eri kohteissa tehdyistä havainnoista mittausten ja palautteiden välillä ja alustavia johtopäätöksiä näiden perusteella.

### Helsinki

Helsingin kohteista alakoulussa vastausten jakaumat vaihtelivat laajemmin kuin muissa kohteissa, eikä selkeitä riippuvuuksia mitattujen ja koettujen olosuhteiden välille voitu muodostaa. Alakoulussa vastanneista oppilaista ja opettajista noin puolet kokivat lämpötilatason viihtyisäksi, lähes 60 % ilman raikkauden vähintään riittäväksi ja noin 2/3 työ- ja opiskelukyvyyn tiloissa vähintään riittäväksi. Tulosten perusteella ei voitu arvioida, millä taloteknisten järjestelmien toiminnan muutoksilla voitaisiin olennaisesti parantaa keskimääräistä työ- ja opiskelukykyä tarkastelluissa tiloissa niiden käytön aikana.

Kohteessa voitiin lisäksi määrittää käyttäjäkokemusten ero normaalissa käyttötilanteessa, jossa ilmanvaihto oli käyttöajan ulkopuolella ohjeiden (kuntien sisäilma-verkoston ilmanvaihdon käytön ohjeen 2019) mukaisesti pysäytetty ja tästä poikkeavassa tilanteessa, jossa ilmanvaihto oli jatkuvasti (24/7) käynnissä mitoitusteholla. Tilojen käyttäjät eivät tienneet tästä vahingossa kahden viikon ajalle osuneesta jatkuvasti käyvästä ilmanvaihdosta. Palautteiden perusteella tilojen käyttäjät eivät huomanneet eroa tilojen sisäilman viihtyisyyteen liittyvissä tekijöissä normaalin, käytönajan ulkopuolella ohjeiden mukaisesti katkaistun ja jatkuvan ilmanvaihdon välillä.

Helsingin ammatti- ja aikuisopiston vaatetusalan ja kauneudenhoitoalojen oppilaitoksessa työ- ja oppimiskyky koettiin 82 %:ssa vastauksia vähintään riittäväksi. Lämpötila koettiin joissain tiloissa liian korkeaksi, mikä riippui sisäilman suhteellisen kosteuden kohonneesta tasosta.

Rakennus on alttiina auringolle ja suoran säteilymäärän kasvu heikensi kaikissa tiloissa keskimäärin koettua oppimiskykyä. Auringon säteily liittyy valaistuksen kokemukseen, jolla on merkittävä korrelaatio työ- ja oppimiskyvyn kanssa. Työ- ja oppimiskyky oli parhaimmillaan suurilla ilmanvaihtomäärän tasoilla. Voidaan arvella, että suurempi ilmavirtaus parantaa ilman sekoittumista ja koettuja oloja tilojen kaikissa osissa.

Yllättävintä ammattioppilaitoksen tuloksissa oli se, että haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärällä sisäilmassa (TVOC) oli keskimäärin ja joissain tiloissa korostetusti positiivinen korrelaatio työ- ja oppimiskyvyn kanssa ja jopa viitteitä osittaisesta positiivisesta korrelaatiosta koetun raikkauden kanssa. Tämä voi selittyä korkeat TVOC -tasot aiheuttavista, opetukseen kuuluvista kemikaaleista, jotka mielletään positiivisina. Koettu sisäilman puhtaus heikkeni lievästi pölypitoisuuden kasvaessa. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän mittausta on suhteutettava tilojen toimintaan, eikä sen perusteella voida tehdä suoria johtopäätöksiä koetusta sisäilmasta.

## **Espoo**

Tutkitussa yläkoulussa ja lukiossa lähes 97 %:ssa palautteista pidettiin luokkien työ- ja oppimiskykyä hyvänä tai kohtuullisena. Sama luku valaistuksen osalta oli 95 % sekä akustiikan ja äänien 96 %, mikä osaltaan vahvistaa näiden tekijöiden keskinäistä riippuvuuden. Myös raikkaus ja lämpötilakokemus liittyvät koettuun oppimiskykyyn. Korkeat suhteellisen kosteuden arvot vastasivat liian lämpimäksi koettua tilaa, ja heikensivät sisäilman raikkauden kokemusta. Heikoin koettu oppimiskyky oli sisäilman alimman suhteellisen kosteuden arvoilla.

Sisäilman koetun puhtauden ja sen hajujen osalta suurin TVOC -taso johti heikentyneeseen kokemukseen sisäilmasta, vaikka selkeää korrelaatiota ei tämän osalta saatu muodostettua.

Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan yhteisvaikutus voidaan esittää sisäilman entalpiana (energiiasäلتö), joka saattaa olla parhaiten lämpötilakokemukseen vaikuttava, mittauservoista laskettava tekijä. Tunnetut viihtyisyyalueet pätevät ilmei-

sesti suhteellisen hyvin ainakin tässä kohteessa. Oppimiskyvyn osalta parhaita olivat tämän kohteen vastausten mukaan lähinnä viihtyisyysalueen alarajan arvot, kunhan lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat riittävät. Vuodenaika ja vaatetus liittyvät tähän kokemukseen, mutta näitä ei selvitetty tässä tutkimuksessa.

Päiväkodissa palautteet sisäilman kokemuksista poikkesivat odotetusti esimerkiksi yläkoulun ja lukion tuloksista. Tilojen käyttötarkoitus ja käyttäjät vaikuttavat osaltaan siihen, mitkä tekijät korostuvat merkittävänä tekijöinä.

Koettuun lämpöviihtyisyyteen vaikutti selkeimmin sisäilman suhteellinen kosteus. Sisäilma koettiin liian lämpimäksi ja sen raikkaus heikkeni yli 40 % RH suhteellisessa kosteudessa. Lämpöviihtyisyys ja työkyky koettiin sitä paremmaksi, mitä pienempi (yleisestikin varsin matala) CO<sub>2</sub> -taso oli.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaistason kasvu heikensi selvästi työkykyä. Päiväkodin tiloissa haihtuvat yhdisteet ovat selvästi häiritsevempiä kuin esimerkiksi kauneudenhoitoalan oppilaitoksen kemikaalit. Sisäilman puhtaus ja hajut koettiin heikoimmiksi korkean suhteellisen kosteuden ja lämpötilan (entalpian) arvoilla.

Päiväkodissa työkyky ja sisäilman koettu raikkaus liittyivät vahvasti tilan toteutuneeseen ilmanvaihtoon suhteessa tilojen henkilömääriin, jota CO<sub>2</sub>-pitoisuus kuvaa. Olennaisia tekijöitä hyvän työkyvyn kannalta ovat riittävä ilmanvaihto, kohtuullisen alhainen suhteellinen kosteus ja lämpötila.

## **Vantaa**

Vantaalla käyttäjäpalautteella ja mittaustiedoilla havaittiin joissain rakennuksissa yhteneväisyyksiä. Kaikissa tapauksissa yhteneväisyyksiä ei kuitenkaan havaittu. Esimerkiksi yhdessä päiväkodissa olosuhdemittausten tulokset olivat erittäin hyvät, vaikka käyttäjien antama yleisarvosana sisäilmalle oli kaikista seurannassa mukana olleista kohteista huonoin.

Vastaavia tuloksia saatiin vuoden 2019 datan osalta, kun mitatun ja koetun datan korrelaatioita tarkasteltiin opinnäytetyössä. Useimmiten tilastollisesti merkitsevä yhteys löytyi mitatun ja koetun lämpötilan väliltä sekä ilman raikkauden ja mitatun lämpötilan väliltä. Työssä ei kuitenkaan löytänyt selkeitä yhteyksiä mitatun aineiston ja tilankäyttäjien kokemusten välillä.

Vantaalla tulevilla seurantakohteissa halutaan myös tarjota enemmän tietoa tilojen käyttäjille seurannan aikana reaaliaikaisesti. Tavoitteena on tarjota niin sanottu kaksisuuntainen palautejärjestelmä; kun annat palautetta, saat tietoa sisäolo-suhteista paluuviestinä.

## **Lopuksi**

Koulu- ja päiväkotitilojen sisäympäristöllä voidaan vaikuttaa tilojen käyttäjien yleiseen viihtyisyyteen sekä työ- ja oppimiskykyyn. Toiminta tiloissa voi vaihdella paljonkin, eivätkä kaikki sisäympäristön tekijät vaikuta samalla tavoin eri tiloissa. Yhteistä tarkastelluille tiloille oli työ- ja opiskelukyvyn riippuvuus muista palautetekijöistä: Koettu valaistus, akustiikka ja äänimaailma sekä sisäilman raikkaus.

Tilojen käyttäjien kokemusta sisäympäristöstä ei voida suoraan ennakoida sisäilman perussuureiden mittaustulosten perusteella. Siksi on tärkeää saada palautetta tilojen käyttäjiltä ja osata tulkita sitä oikein. Olennaista on tietää mitä tilaa palaute koskee ja milloin se on annettu. Näin palautteen tietoja ja tilan mittausrvoja voidaan vertailla ja arvioida mahdollisia korjattavia tekijöitä, esimerkiksi säädön asetusarvojen muutoksia. Kokemus sisäympäristöstä kuitenkin vaihtelee riippuen palautteen antajasta ja tilanteesta.

Nyt tarkasteltujen kohteiden perusteella hyväksi koetut olosuhteet edellyttävät mm. tilojen riittävää ilmanvaihtoa ja hyvää sisäilman sekoittumista, viihtyisyysalueella pysyviä, mutta melko matalia lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja.

Haasteena on löytää kaikkia tilojen käyttäjiä mahdollisimman vähän häiritsevät olosuhteet, jossa viihtyisäksi koetut olosuhteet vastaavat käyttäjistä suurimman osan tarpeisiin eli tyytyväisten osuus on suurimmillaan.

## Kirjallisuusviitteet

- AVATER. 2017. Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti. Hyvärinen, A., Marttila, T., Kero, P., Pekkanen, J., Ung-Lanki, S., Lampi, J., Leppänen, H., Jalkanen, K., Turunen, M., Haverinen-Shaughnessy, U., Annala, P., Suonketo, J. & Niemi, J. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201707047625>, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja, 44/2017.
- Harinen, H. 2020. Vantaan kaupungin sisäilmatutkimus – mitatun ja koetun datan korrelaatiot. Lappeenrantaan-Lahden teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/160991>.
- Simonson, C., Salonvaara, M. & Ojanen, T. 2001. Improving indoor climate and comfort with wooden structures. Espoo, VTT Building Technology. 200 s. + liitt. 91 s. VTT Publications; 431. ISBN 951-38-5846-4; 951-38-5847-2 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2001/P431.pdf>
- Sisäilmastoluokitus 2018: RT 07-11299, Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluhjeet ja tuotevaatimukset
- Sisäilmayhdistys 2019. Kuntien sisäilmaverkoston palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön ohje ja perustelumuistio. 14.3.2019. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset>
- STMa 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (ns. Asumisterveysasetus). Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>
- Vesanen, T., Piira, K., Lavikka, R., Piippo, J., Biström, H. & Kannari, L. 2021. Data Platform for Smart Otaniemi Ecosystem: Requirements, Specifications, and Usage. VTT Research Report, no. VTT-R-00041-21, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, saatavissa: <https://cris.vtt.fi/en/publications/data-platform-for-smart-otaniemi-ecosystem-requirements-specifica>, SCC Raportti ([smartcleansisailma.fi/raportit](http://smartcleansisailma.fi/raportit)).

Nimeke	<b>Sisäilma 2020</b> Hyvän sisäilman tekijöitä kouluissa ja päiväkodeissa
Tekijä(t)	Tuomo Ojanen, Teemu Vesanen, Lotta Kannari, Kalevi Piira, Henri Biström & Esa Nykänen (VTT) , Marianna Tuomainen, (Helsingin kaupunki), Heli Naumi, Tiina Lumme, Mikko Melender & Elisa Vene (Espoon kaupunki), Piia Markkanen, Jaana Åberg & Jari Mattila (Vantaan kaupunki)
Tiivistelmä	<p>Sisäilman ja yleisemmin sisäolosuhteiden tuottaminen rakennukseen on tekninen haaste, jolle on olemassa kriteerit suunnittelun lähtökohdaksi. Haasteet liittyvät mm. järjestelmien toteutukseen, säätöön ja ylläpitoon, ja ne korostuvat erityisesti koulurakennuksissa, joissa tilojen käyttäjämäärät vaihtelevat päivän aikana paljon. Terveellisen, tuottavan ja miellyttävän sisäympäristön ylläpito on rakennuksen tärkeimpiä tehtäviä ja tilojen käyttäjiä kokemus sisäympäristöstä on ensiarvoisen tärkeää.</p> <p>Projektissa lähtökohtana oli tarve hyvät sisäolosuhteet määrittävälle kriteereille. Pelkkä sisäilmakriteerien täytyminen mittaamalla ei välttämättä tuota parasta käyttäjätyytyväisyyttä. Hankkeessa oli tavoitteena nykyistä paremmin tunnistaa ne mitattavat suureet ja niiden vaihteluväli, joilla tilojen käyttäjätyytyväisyys on mahdollisimman hyvä eli tyytyväisten osuus on suurimmillaan.</p> <p>Tässä raportissa on käsitelty VTT analysoimaa Espoon ja Helsingin koulu- ja päiväkotikiinteistöissä kerättyä mittaus- ja palautetietoa. Vantaan kaupunki toimi projektissa itsenäisesti jatkaen kohdekohtaista seurantaa aikaisemmin hankkimiansa puitesopimusten mukaisilla mittaus- ja palautejärjestelmillä, joiden tuloksia esitetään omassa luvussaan.</p> <p>Helsingin ja Espoon seurantakohteiden melko uudet talotekniset järjestelmät pitivät tilojen lämpötilatason hyvin asetusalueilla ja ilmanvaihto toimi hyvin. Mittausdatalla ja käyttäjäpalautteella havaittiin yhteyksiä tiloitain ja rakennuksittain, mutta kattavaa analyysia saatavilla olevalla aineistolla ei voitu tehdä. Selkeimmin koettuun lämpötilaan, ilman raikkauteen sekä työ- ja opiskelukykyyn vaikutti mm. sisäilman kosteus. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärän (TVOC) kokemus riippui yhdisteistä: Päiväkodeissa korkeat pitoisuudet heikensivät koettuja sisäilman olosuhteita, muissa kohteissa riippuvuus oli osin jopa päinvastainen.</p> <p>Seurannassa mukana olleissa Vantaan kaupungin kouluissa ja päiväkodeissa ilmanvaihdon riittävyys oli yleisesti hyvä. Vantaalla käyttäjäpalautteella ja mittaustiedoilla havaittiin joissain rakennuksissa yhteneväisyyksiä. Kaikissa tapauksissa yhteneväisyyksiä ei kuitenkaan havaittu.</p> <p>Jatkossa yksi merkittävä haaste on luotettavan paine-eromittauksen toteutus sisä- ja ulkoilman välille. Tällä tekijällä voisi arvioida ilmanvaihdon toimivuutta sekä siirto- ja vuotoilmavirtoja. Haasteena on edelleen kokonaisuuden hallinta, datan luotettavuus ja jatkuvuus sekä vastuiden jakautuminen sisäilmapalveluissa.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8748-3 ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu) DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T388
Julkaisu-aika	Huhtikuu 2021
Kieli	Suomi
Sivumäärä	134 s.
Projektin nimi	Sisäilma 2020
Rahoittajat	VTT, Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, Vantaan kaupunki
Avainsanat	sisäympäristö, sisäilmasto, viihtyisyys, käyttäjäpalaute, työ- ja oppimiskyky, koulu, päiväkotikiinteistö
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111, <a href="https://www.vtt.fi/">https://www.vtt.fi/</a>



## Sisäilma 2020

### Hyvän sisäilman tekijöitä kouluissa ja päiväkodeissa

Sisäilman ja yleisemmin sisäolosuhteiden tuottaminen rakennukseen on tekninen haaste, jolle on olemassa kriteerit suunnittelun lähtökohdaksi. Haasteet liittyvät mm. järjestelmien toteutukseen, säätöön ja ylläpitoon, ja ne korostuvat erityisesti koulurakennuksissa, joissa tilojen käyttäjämäärät vaihtelevat päivän aikana paljon. Terveellisen, tuottavan ja miellyttävän sisäympäristön ylläpito on rakennuksen tärkeimpiä tehtäviä ja tilojen käyttäjiä kokemus sisäympäristöstä on ensiarvoisen tärkeä.

Projektissa lähtökohdana oli tarve hyvät sisäolosuhteet määrittävälle kriteereille. Pelkkä sisäilmakriteerien täytyminen mittaamalla ei välttämättä tuota parasta käyttäjätyytyväisyyttä. Hankkeessa oli tavoitteena nykyistä paremmin tunnistaa ne mitattavat suureet ja niiden vaihteluväli, joilla tilojen käyttäjätyytyväisyys on mahdollisimman hyvä eli tyytyväisten osuus on suurimmillaan.

Tässä raportissa on käsitelty VTT analysoimaa Espoon ja Helsingin koulu- ja päiväkotikiinteistöissä kerättyä mittaus- ja palautetietoa. Vantaan kaupunki toimi projektissa itsenäisesti jatkaen kohdekohtaista seuranta-aikaisemmin hankkimiensa puitesopimusten mukaisilla mittaus- ja palautejärjestelmillä, joiden tuloksia esitetään omassa luvussaan.

Jatkossa yksi merkittävä haaste on luotettavan paineeromittauksen toteutus sisä- ja ulkoilman välille. Tällä tekijällä voisi arvioida ilmanvaihdon toimivuutta sekä siirto- ja vuotoilmavirtoja. Haasteena on edelleen kokonaisuuden hallinta, datan luotettavuus ja jatkuvuus sekä vastuiden jakautuminen sisäilmapalveluissa.

ISBN 978-951-38-8748-3

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T388