

Opinnäytetyö (YAMK)

YTEKNS18, Ympäristötekniologia

2020

Jyrki Ojala

# HÄTÄKESKUKSEN ILMANVAIHDON MITOITUS

– Riittävyys nykyiselle henkilömäärälle

Ojala Jyrki

# HÄTÄKESKUKSEN ILMANVAIHDON MITOITUS

- Riittävyys nykyiselle henkilömäärälle

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida hätäkeskusten ilmamäärien riittävyttä nykyisille henkilömäärille. Hätäkeskuslaitos, jolle opinnäytetyö tehtiin, tuottaa hätäkeskuspalvelut Suomessa Ahvenanmaata lukuun ottamatta. Hätäkeskuksia on kuusi, ja ne sijaitsevat Keravalla, Kuopiossa, Oulussa, Porissa, Turussa ja Vaasassa. Hätäilmoitusten käsittely tapahtuu hätäkeskusten päivystysaleissa. Ajoittain hätäkeskuspäivystäjät ovat esittäneet epäilyjä siitä, että päivystysalien tuloilman määrä ei ole riittävä. Hiilidioksidi on suurina pitoisuuksina ihmisille vaarallista, ja lisäksi sen määrä on verrannollinen ihmisten hengityksen ja ihon kautta sisäilmaan vapautuneiden epäpuhtauksien määrään. Tässä opinnäytetyössä ilmamäärien riittävyttä arvioitiin hiilidioksidipitoisuuden, ja sisäilmasuosituksessa annettujen pitoisuuksien perusteella.

Opinnäytetyössä käsiteltiin teoriaa huoneen ilmanvaihdosta ja ihmisten tuottamasta hiilidioksidista, sekä ilmavaihdon määrän ja tilavuuden vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuteen. Ilmamäärän riittävyden arviointimenetelminä käytettiin hiilidioksidipitoisuuksien laskennallista arviointia kohteiden lähtötietojen ja laskukaavojen avulla. Lisäksi työssä mitattiin yhden hätäkeskuksen hiilidioksidipitoisuutta mittalaittein yhden viikon ajan. Kiinteistöautomaatiojärjestelmästä hankittiin samalta ajalta hiilidioksidipitoisuuden mittaustiedot. Mittausjakson ajalta selvitettiin myös todelliset henkilömäärät, joiden avulla mallinnettiin hiilidioksidipitoisuuden muutoksia. Laskenta- ja mittaustuloksia verrattiin keskenään.

Mitattujen ja laskettujen hiilidioksidipitoisuuksien todettiin olevan lähes yhteneviä. Ainoastaan mitattujen hiilidioksidipitoisuuksien havaittiin olevan hieman alhaisempia kuin lasketut. Mittausten ja laskentatulosten vertailun perusteella arvioitiin, että laskennalla saadaan tarkoituksenmukainen arvio ilmamäärien riittävydestä. Edelleen laskentatulosten perusteella arvioitiin kaikkien hätäkeskusten ilmanvaihdon olevan riittävä täydellään miehityksellä. Opinnäytetyön tekeminen onnistui suunnitellusti. Työn tulokset ovat hyödynnettävissä sellaisenaan.

ASIASANAT:

hätäkeskukset, hiilidioksidi, ilmanvaihto, sisäilma

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme

2020 | 52 number of pages, 4 number of pages in appendices

Jyrki Ojala

# DIMENSIONING VENTILATION FOR AN EMERGENCY RESPONSE CENTRE

- Sufficiency for the current personnel

The aim of this thesis was to assess the sufficiency of air quantities for the current personnel at emergency response centres. The Emergency Response Centre Agency, for whom the project was carried out, provides emergency response centre services in Finland, with the exception of the Åland Islands. There are six emergency response centres, located in Kerava, Kuopio, Oulu, Pori, Turku and Vaasa. Calls and notifications to the emergency response centres are handled in the centres' control rooms. From time to time, call handlers have voiced their concerns that the amount of supply air in the control rooms is insufficient. Carbon dioxide is hazardous to humans in large quantities, and the amount of carbon dioxide is relative to the amount of impurities released into the indoor air via human respiration and the skin. In this thesis, the sufficiency of air quantities was assessed based on carbon dioxide levels and on levels outlined in indoor air recommendations.

The thesis examined the theory of room ventilation and carbon dioxide produced by humans, as well as the effect that the quantity and volume of ventilation have on carbon dioxide levels. To assess the sufficiency of air quantities, carbon dioxide levels were computationally calculated using initial data from the sites and mathematical formulae. In addition, the project involved measuring carbon dioxide levels at one emergency response centre with measuring equipment for one week. Carbon dioxide level measurement data was retrieved from the property's building automation system for the same timeframe. The true number of people at the centre was also ascertained during the measurement period, which helped to model changes in carbon dioxide levels. The calculated and measured results were compared to one another.

The measured and calculated carbon dioxide levels were found to be almost identical. The only difference in the findings was that measured, realized carbon dioxide levels were observed to be slightly lower than the calculated levels. Based on the results, it was concluded that calculations offered an appropriate estimate of the sufficiency of air quantities. Based on the results, it was concluded that ventilation at all emergency response centres was sufficient, even when fully staffed. The final project was successfully completed as planned. The results of this work can be utilized as presented.

KEYWORDS:

emergency response centres, carbon dioxide, ventilation, indoor air

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 ILMAMÄÄRIEN RIITTÄVYYDEN ARVIOINTI</b>	<b>9</b>
<b>3 ILMANVAIHTO JA HIILIDIOKSIDIPITOISUUS</b>	<b>11</b>
3.1 Ilmanvaihdon tehtävä	11
3.2 Riittävän ilmanvaihdon mitoitus	12
3.3 Hiilidioksidi ulkoilmassa	13
3.4 Hiilidioksidi sisäilmassa	15
3.5 Hiilidioksidipitoisuuden tasapainotilanne	16
3.6 Hiilidioksidipitoisuuden muutokset ajanfunktiona	18
3.7 Henkilömäärän ja tuloilman virtauksen muutosten vaikutus CO <sub>2</sub> -pitoisuuteen	20
<b>4 PÄIVYSTYSSALIEN ILMAMÄÄRIEN RIITTÄVYYS</b>	<b>23</b>
4.1 Päivystyssalien ilmamäärän riittävyys laskennallisesti	23
4.1.1 Keravan päivystyssali	31
4.1.2 Kuopion päivystyssali	32
4.1.3 Oulun päivystyssali	33
4.1.4 Porin päivystyssali	34
4.1.5 Turun päivystyssali	35
4.1.6 Vaasan päivystyssali	36
4.2 Hiilidioksidipitoisuuksien todentaminen mittauksilla	37
4.2.1 Kiinteistöautomaatiojärjestelmästä saatu mittaustrendi	37
4.2.2 Mittalaittein mitatut pitoisuudet	38
4.3 Vuorovahvuuden muutosten vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen	42
<b>5 LASKENTATULOSTEN JA MITTAUSTEN VERTAILU</b>	<b>45</b>
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>47</b>
<b>7 YHTEENVETO</b>	<b>48</b>
<b>8 LÄHDELUETTELO</b>	<b>51</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Wöhler mittauspöytäkirjat
- Liite 2. Wöhler datalehti
- Liite 3. Esimerkki mittalaitteen lokitiedostosta.

## KAAVAT

Kaava 1. Ihmisen tuottama hiilidioksidi. (Ympäristöministeriö 2, 2017).	15
Kaava 2. Ihmisen kehon pinta-alan DuBois-kaava. (Ympäristöministeriö 2, 2017).	15
Kaava 3. Ihmisen kehon pinta-alan Monsteller-kaava. (Ympäristöministeriö 2, 2017).	15
Kaava 4. Tasapainoyhtälö (Sandberg, 2016a s. 101).	16
Kaava 5. Tulo- ja poistoilmavirta tasapainotilanteessa (Sandberg, 2016a s. 101).	16
Kaava 6. Laskennallinen tasapainopitoisuus (Sandberg, 2016a s. 101).	17
Kaava 7. Pitoisuuden muutos $C_t$ ajanhetkellä $t$ (Sandberg, 2016a s. 103).	18
Kaava 8. Ilmanvaihtuvuus (Sandberg, 2016a s. 103).	19
Kaava 9. Ilmanvaihdon aikavakio (Sandberg, 2016a s. 103).	19

## KUVAT

Kuva 1. Hiilidioksidi ilmakehässä Helsinki-Kumpula (Ilmatieteenlaitos, 2020a).	14
Kuva 2. Hiilidioksidi ilmakehässä Utössä (Ilmatieteenlaitos', 2020b).	14
Kuva 3. Periaatekuva hiilidioksidin tuotto ja poisto.	17
Kuva 4. Esimerkin hiilidioksidipitoisuuden kasvu $C_{\text{sisä}}$ ajan funktiona.	20
Kuva 5. Henkilö- ja ilmamäärän vaikutus pitoisuuteen ajanfunktiona.	21
Kuva 6. Esimerkki henkilömäärän vaihtelun vaikutuksesta CO <sub>2</sub> pitoisuuteen.	22
Kuva 7. Esimerkki ilmanvaihdon tasokuvan tiedoista.	24
Kuva 8. Keravan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.	31
Kuva 9. Kuopion päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.	32
Kuva 10. Oulun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.	33
Kuva 11. Porin päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.	34
Kuva 12. Turun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.	35
Kuva 13. Vaasan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.	36
Kuva 14. Kiinteistöautomaatiosta saatu mittaustieto.	38
Kuva 15. Mittalaitteet asennuskohteessa.	39
Kuva 16. Päivystyssalin vakioilmastoinnin periaate.	40
Kuva 17. Mittalaitteiden asennuspaikka.	40
Kuva 18. Taukotilan ilman sekoittuminen.	41
Kuva 19. Mittalaitteilla mitatut pitoisuudet.	42
Kuva 20. Mittausjakson henkilömäärät ja käyttöaste.	43
Kuva 21. Vuorovahvuuden muutosten vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen.	43
Kuva 22. Lasketun ja mittausten vertailu	45
Kuva 23. Kiinteistöautomaation ja tehtyjen mittausten ero.	46

## TAULUKOT

Taulukko 1. Sisäilmastoluokilla lasketut maksimi henkilömäärät.	25
Taulukko 2. Päivystyssalien lasketut ilmanvaihdon vaihtuvuus ja aikavakiot.	26
Taulukko 3. Päivystyssalien hiilidioksidipitoisuus eri henkilömäärillä.	27
Taulukko 4. Päivystyssalien hiilidioksidipitoisuus lisäilmalla eri henkilömäärillä.	27
Taulukko 5. Lisäilman vaikutus ilmanvaihtuvuuteen ja ilmanvaihdon aikavakioon.	28
Taulukko 6. Tuloilmavirta neliometriä ja henkilöä kohden.	29
Taulukko 7. Tuloilmavirta neliometriä ja henkilöä kohden lisäilmalla.	30

# 1 JOHDANTO

Suomessa hätäkeskuspalvelut tuottaa Hätäkeskuslaitos Ahvenmaata lukuun ottamatta. Hätäkeskusten määrä on kuusi. Määrää vähennettiin aikaisemmasta viidestätoista hätäkeskuksesta nykyiseen määrään vuosina 2010 - 2014, Vaikka hätäkeskuspäivystäjien kokonaismäärä on vähentynyt, on hätäkeskuskohtainen henkilömäärä kuitenkin kasvanut toimitilojen käytön tehostamisen seurauksena. Hätäkeskuksen tilaa, jossa vastaanotetaan ja käsitellään hätäpuheluja, kutsutaan hätäkeskuksen päivystyssaliksi. Hätäkeskusten päivystyssaleissa työskentelevien henkilöiden määrän lisääntyminen aikaisemmasta, on aiheuttanut ajoittain työntekijöissä epäilyjä ilmamäärän, eli puhtaan ulkoa tulevan ilman, riittävydestä. Ilmamäärien mitoituksille annetut laskentaohjeet, suositukset ja määräykset ovat myös hieman muuttuneet ajan kuluessa. Hätäkeskusten ilmanvaihdon mitoitusta ja riittävyttä koskeva aihe on siksi ajankohtainen.

Työn tavoitteena on selvittää hätäkeskusten ilmamäärän riittävyttä nykyiselle henkilömäärälle, ja tarvittaessa kohteittain arvioida henkilömäärille tavoiterajat, sekä antaa sanallinen arvio ilman riittävydestä laskennallisten tulosten perusteella. Ilmamäärien riittävyyden arvioinnissa perustana käytetään hiilidioksidipitoisuutta, koska se korreloi hyvin huoneilmassa oleviin ihmisten tuottamiin päästöihin ja epäpuhtauksiin. Hiilidioksidi on myös korkeina pitoisuuksina vaarallinen ihmiselle. Työssä käsitellään teoriaa tilan ilmanvaihdon ja ihmisten tuottamasta hiilidioksidista, sekä ilmavaihdon tehokkuuden ja tilavuuden vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuksien muutoksiin ja pitoisuuteen, jolle se asettuu.

Menetelminä käytetään hätäkeskusten ilmamäärien laskennallista arviointia lähtötietojen ja laskennallisten kaavojen avulla. Ilmanvaihtopiirustuksista ja suunnitelmista kerätään ilmanvaihdon lähtötiedon kohteittain. Yhden valitun keskikokoisen esimerkkikohteen hiilidioksidipitoisuutta mitataan viikon ajan. Kiinteistöautomaatiojärjestelmästä hankitaan samalta mittausjaksolta hiilidioksidipitoisuuden mittaus tieto. Lisäksi selvitetään samalta mittausjaksolta todelliset toteutuneet henkilömäärät, ja tietojen avulla mallinnetaan laskennallisesti taulukkolaskennan avulla hiilidioksidipitoisuuden muutoksia henkilömäärien muuttuessa saman mittausjakson aikana. Laskennallisen mallinnuksen tuloksia verrataan mitattuihin tuloksiin arviointitavan käyttökelpoisuuden todentamiseksi.

Opinnäytetyön tuloksena saadaan laskentaan perustuva arvio hätäkeskusten päivystys salien ilmamäärien riittävydestä sekä laadusta eri henkilömäärillä. Tuloksien esittelyllä

ja niistä tiedottamisella uskotaan vähennettävän päivystyssalissa työskentelevien, epäluuloa tuloilman riittävyttä kohtaan. Tuloksia voidaan hyödyntää vanhoja hätäkeskuksia korjattaessa tai uusia tiloja suunniteltaessa. Lisäksi tuloksia voidaan tarvittaessa hyödyntää muiden viranomaisten vastaavien kohteiden arvioinnissa.



## 2 ILMAMÄÄRIEN RIITTÄVYYDEN ARVIOINTI

Hätäkeskuslaitos, jolle opinnäytetyö tehtiin, on vuonna 2001 perustettu Sisäministeriön hallinnonalaan kuuluva itsenäinen keskusvirasto, joka tuottaa hätäkeskuspalvelut maasamme Ahvenanmaata lukuun ottamatta (Hätäkeskuslaki 692/2010). Hätäkeskuksia on kuusi ja ne sijaitsevat Keravalla, Kuopiossa, Oulussa, Porissa, Turussa ja Vaasassa. Hätäkeskuslaitoksen toimitilojen kokonaispinta-ala on noin 11600 m<sup>2</sup>, joista päivystys-salien osuus on yhteensä 1800 m<sup>2</sup> (Hätäkeskuslaitos, 2016 s. 7).

Hätäilmoitusten, joita on yli kolme miljoonaa vuodessa, käsittely tapahtuu hätäkeskusten päivystysaleissa. Käsittelyllä tarkoitetaan hätäpuheluihin ja muihin hätäilmoituksiin vastaamista sekä kiireellisen viranomaisavun välittämistä. Hätäkeskukset ovat auttamisketjun ensimmäinen lenkki. Hätäkeskusten toimitilat ovat maanalaisia suojatiloja tai maanpäällisiä suojattuja tiloja (Hätäkeskuslaitos, 2016 s. 5...10). Hätäkeskuslaitoksen strategisessa muutoshankkeessa vuosina 2012 - 2014 hätäkeskusten määrä vähennettiin 15 hätäkeskuksesta 6 hätäkeskukseen. Tällöin toiminnan tiivistyessä ei nykyisiä toimitiloja laajennettu, vaan niihin tehtiin vain pakollisia muutoksia lähinnä sosiaalitulojen osalta, sekä lisättiin työpisteitä päivystysaleihin. Vain Keravan hätäkeskuksen päivystys-salin pinta-alaa suurennettiin. Nykyinen toimitilamalli taloteknisine ratkaisuneen on alun perin suunniteltu pitkälti viime vuosituhannen lopussa, ja kaikki hätäkeskukset on rakennettu tämän vuosituhannen alussa.

Yhdistämisen jälkeen henkilöstö on ajoittain esittänyt, jopa julkisuudessa epäilyjä siitä, ettei hätäkeskusten tuloilman määrää ole mitoitettu nykyiselle henkilömäärälle (Poliisi & Oikeus, 2017 s. 13). Vaikka asia on selvitetty jo vuosina 2009-2010 uudistusta suunniteltaessa, on nyt tarpeen arvioida tilannetta uudelleen ja nykyisen tietämyksen pohjalta, sekä osoittaa ilmamäärien riittävyys nykyisellä kuormituksella. Hätäkeskusten hallinto-henkilöstön työ ei poikkea muusta valtionhallinnon toimistotyöstä, joten työssä keskitytään vain päivystys-salin ilmamäärän riittävyyteen hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Hiilidioksidipitoisuuden määrä on verrannollinen huoneilmassa oleviin ihmisten tuottamiin päästöihin ja epäpuhtauksiin (Sandberg, 2016a s. 63). Valtion toimitilastrategia (Valtiovarainministeriö, 2014 s. 1) ja edelleen Hätäkeskuslaitoksen Valtion toimitilastrategian toimeenpanoa koskevan asiakirjan (Hätäkeskuslaitos, 2016 s. 13) mukaan toimitilojen tulee olla terveellisiä ja turvallisia, sekä tukea toimintaa kaikissa olosuhteissa.

Osaltaan tämän opinnäytetyön tarkoituksena on myös varmistaa toimitilastrategian toteutumista.

Työn tavoitteena on arvioida ovatko nykyisten hätäkeskusten päivystyssalien tuloilmamäärät riittäviä. Tavoitteena on myös se, että tuloksia pystytään hyödyntämään tarvittaessa kokonaan uuden tai korjattavan hätäkeskuksen vaatimuksia määriteltäessä. Päivystyssalien jäädytystehoa voitaneen pitää riittävänä, koska laiterikkoja lukuun ottamatta ei tilojen lämpötila ole noussut helteilläkään yli asetuista rajoista. Työssä keskitytään hätäkeskuksen päivystyssalin sisäilman hiilidioksidipitoisuuksiin ja ilmanvaihdon tarpeeseen. Ilmanvaihdon tarpeen arvioinnissa pyritään hyödyntämään saatavilla olevaa tietoa ja laskentamalleja ihmisten tuottamalle hiilidioksidille sekä sisäilmastosuosituksia.

Menetelmänä käytetään hätäkeskusten ilmamäärän laskennallista mallintamista kerätävien kohteen lähtötietojen ja teorian avulla, sekä tulosten perusteella arvioidaan ilmanvaihdon riittävyttä. Lisäksi valitaan esimerkkikohte, jonka hiilidioksidipitoisuus mitataan viikon mittausjakson ajalta, jolta hankitaan myös kiinteistöautomaation mittaustiedot. Mittausjakson ajalta selvitetään myös todelliset toteutuneet henkilömäärät, jonka perusteella mallinnetaan hiilidioksidipitoisuuden muutokset. Mittaustuloksia verrataan laskennallisesti mallinnettuihin tuloksiin mallinnuksen soveltuvuuden ja käyttökelpoisuuden varmistamiseksi. Päivystyssalien ilmanvaihdon riittävydestä annetaan sanallinen arvio hiilidioksiditasojen, henkilömäärien ja sisäilmastoa koskevien suositusten perusteella. Opinnäytetyön mittausosiossa on kvantitatiivisen ja arviointiosiossa kvalitatiivisen tutkimuksen piirteitä (Hirsjärvi, 2009 s. 139).

Opinnäytetyön tuloksena saadaan arvio hätäkeskusten päivystyssalien ilmamäärien riittävydestä sekä laadusta. Tuloksien viestittämisellä uskotaan vähennettävän päivystyssalissa työskentelevien, päivystystehtäviä hoitavien henkilöiden epäluuloa tuloilman riittävydestä nykyisille henkilömäärille. Opinnäytetyön tekemisen vaiheet ovat kronologisessa järjestyksessä: teorian ja kohdekohtaisten lähtötietojen selvittäminen, kohteiden laskennallinen mallinnus, yhden esimerkkikohteen hiilidioksidipitoisuuksien mittaus viikon mittausjaksolta, todellisten henkilömäärien selvittäminen samalta jaksolta, mittausten ja laskennallisten tulosten vertailu, kohteiden ilmamäärän riittävyden arviointi sekä johtopäätösten tekeminen.

## 3 ILMANVAIHTO JA HIILIDIOKSIDIPITOISUUS

Tässä kappaleessa kuvataan ilmanvaihdon tehtävää ja mitoitusta, ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, ihmisen keskimäärin tuottaman hiilidioksidin määrän laskentaa, sisäilman hiilidioksidipitoisuuden määräytymistä sekä tasapainopitoisuutta. Kappaleessa myös esitetään esimerkkejä ilmanvaihdon ja henkilömäärän vaikutuksesta tasapainopitoisuuteen sekä henkilömäärän muutosten vaikutuksesta ajallisesti huoneen hiilidioksidipitoisuuteen.

### 3.1 Ilmanvaihdon tehtävä

Huoneilman hiilidioksidin määrä on likimain verrannollinen hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrään, joten hiilidioksidipitoisuutta voidaan käyttää kuvaamaan ilman laatua, vaikka hiilidioksidipitoisuus ei muutoin olisikaan haitallisen korkea, jollaisena yleisesti pidetään 5000 ppm eli 0,5 % hiilidioksidipitoisuutta (Sandberg, 2016b ss. 63 -64). Ilmanvaihdon yhtenä tärkeänä tehtävänä on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia, vaikka sillä ei voidakaan poistaa kaikkia epäpuhtauksia. Myös epäpuhtauslähteiden poistaminen on välttämätöntä. Monien epäpuhtauksien, kuten ulkoilmasta, maaperästä, rakennusmateriaaleista, tupakoinnista, home- ja kosteusvaurioista tulevien poistamiseen voidaan vaikuttaa lähteitä poistamalla. Ihmisperäisiä lähteitä ei voida kuitenkaan kokonaan poistaa, joten ilmanvaihdolla on keskeinen merkitys epäpuhtauksien poistamisessa ja pitoisuuksien vähentämisessä. Ilmanvaihdon määrällä on merkitystä myös tarttuvien tautien leviämisessä sisäilman aerosoleihin tarttuneiden viruksien ja bakteerien mukana. (Sandberg, 2016b s. 57). Tilassa, jossa ihmisiä on samassa tilassa, ja jossa käytetään palautusilmaa eli kiertoilmaa, lyhytaikaisten sairaspöissaolojen määrä on tutkimusten mukaan 35 % suurempi ilmanvaihdon määrän ollessa 12 l/s henkilöä kohden kuin kohteessa, jonka ilmanvaihdon määrä on 24 l/s. Tätä suuremmilla ilmanvaihdon määrillä ei käytännössä ole enää merkitystä tautien tarttuvuuteen. (Sandberg, 2016b s. 58).

### 3.2 Riittävän ilmanvaihdon mitoitus

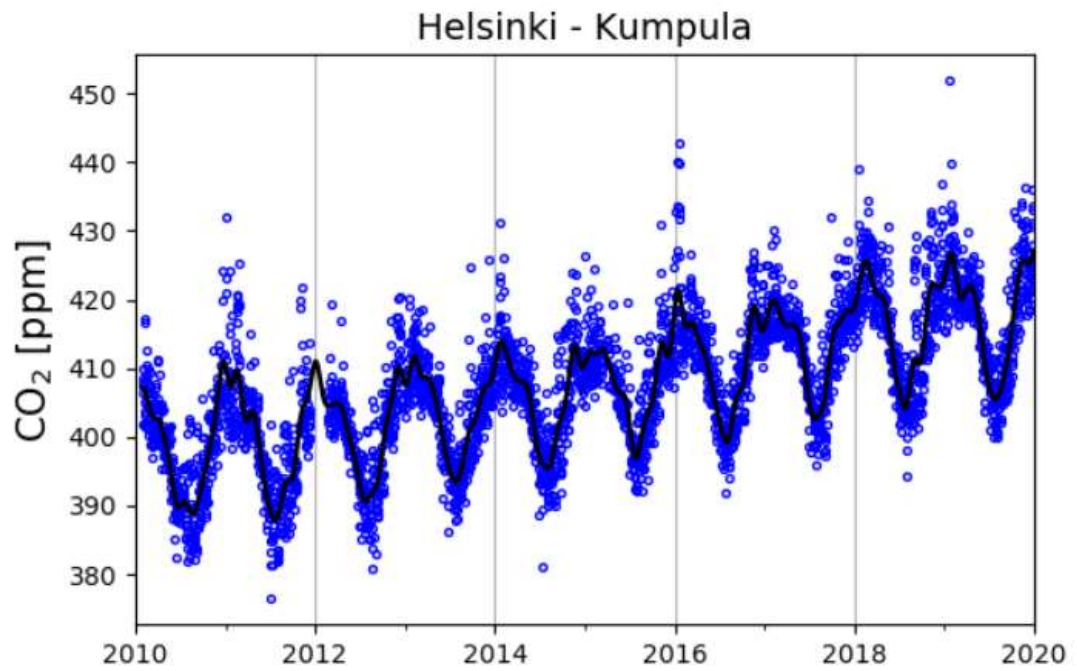
Ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen sisäilmastosta 5 § mukaan hetkelisen pitoisuuden suunnitteluarvo saa olla enintään 800 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus, ja 9 § mukaan ulkoilmavirran mitoituksen minimi on 6 l/s henkilöä kohden ja 0,35 l/s koko rakennuksen lattianeliometriä kohden (Ympäristöministeriö 1, 2017). Säästösten, standardien ja tutkimusten pohjalta on laadittu Sisäilmastosuositus 2018. Sisäilmastosuositus on tarkoitettu käytettäväksi apuna suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennusteollisuudessa tavoitteena rakentaa entistä terveellisempiä sekä turvallisempia rakennuksia. Sisäilmastosuositusta voidaan hyödyntää myös korjausrakentamisessa. Sisäilmastosuositus määrittelee tavoitearvot sisäilmastoluokille. (Rakennustieto Oy, 2018 s. 3).

Sisäilmastosuositus 2018 määrittelee hiilidioksidipitoisuuslisät. S1-luokassa on lisän oltava alle 350 ppm, eli jos ulkoilman taso on 400 ppm, tarkoittaa se, että pitoisuuden on oltava alle 750 ppm. S2 -luokassa lisän on oltava alle 550 ppm, eli 400 ppm ulkoilmatasolla pitoisuuden on oltava alle 950 ppm. S3 -luokassa lisä voi olla enintään 800 ppm, eli 400 ppm ulkoilmatasolla pitoisuuden pitää olla alle 1200 ppm. (Rakennustieto Oy, 2018 s. 7). Ilmanvaihdon määrästä henkilöä kohden sisäilmastosuositus määrittelee toimitiloille, joiden tilatehokkuus henkilöä kohden on normaali, eli välillä 10 m<sup>2</sup> ja 12 m<sup>2</sup>, että S1 -luokassa on ilmanvaihdon oltava vähintään 16 l/s henkilöä kohden, S2 luokassa vähintään 11 l/s henkilöä kohden ja S3 luokassa vähintään 6 l/s henkilöä kohden. Vastavasti, jos tilatehokkuus henkilöä kohden on suuri, eli välillä 6 m<sup>2</sup> ja 8 m<sup>2</sup>, on S1 -luokassa ilmanvaihdon oltava vähintään 14 l/s henkilöä kohden, S2 luokassa vähintään 9 l/s henkilöä kohden ja S3 luokassa vähintään 6 l/s henkilöä kohden. Minimi ilmamääristä lattianeliometriä kohden sisäilmastosuositus määrittelee siten, että toimitiloille, joiden tilatehokkuus henkilöä kohden on normaali, eli välillä 10 m<sup>2</sup> ja 12 m<sup>2</sup>, on luokassa S1 ilmamäärän oltava vähintään 1,5 l/s neliometriä kohden, ja luokissa S2 sekä S3 on oltava vähintään 1,0 l/s neliometriä kohden. Toimitiloille, joiden tilatehokkuus henkilöä kohden on suuri eli välillä 6 m<sup>2</sup> ja 8 m<sup>2</sup>, on lattianeliometriä kohden luokassa S1 ilmamäärän oltava vähintään 2,0 l/s neliometriä kohden, ja luokissa S2 sekä S3 sen on oltava vähintään 1,5 l/s neliometriä kohden. (Rakennustieto Oy, 2018 s. 16).

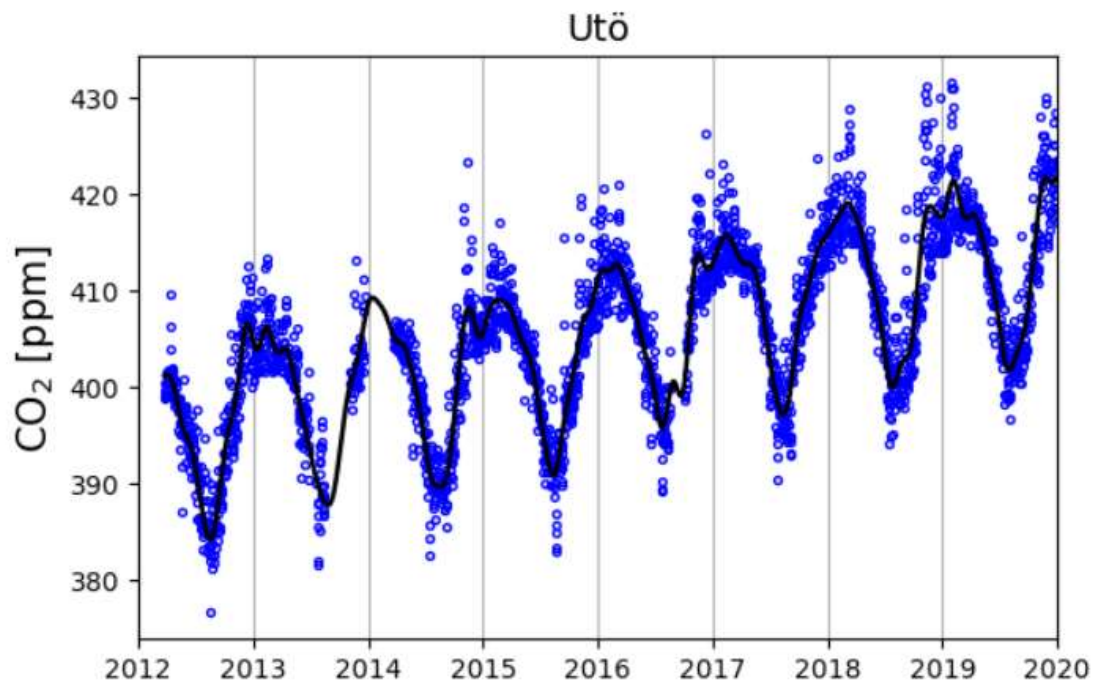
### 3.3 Hiilidioksidi ulkoilmassa

Ilmakehässä oleva hiilidioksidi on pääosin peräisin maaperästä, polttoprosesseista ja sementintuotannosta. Kasvien yhteyttäminen poistaa hiilidioksidia ilmakehästä. Meriveden hiilidioksidia liukenee paljon erityisesti maapallon kylmillä napamerialueilla. Hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä kasvaa noin 2 ppm eli kaksi miljoonasosaa vuodessa. Kasvien kasvukauden aikana ilmakehän hiilidioksidipitoisuus alenee, koska hiilidioksidia sitoutuu kasvien yhteyttämisessä. Pitoisuuteen vaikuttaa myös säätila, koska tiheään asutuilta alueilta voi kulkeutua korkeamman pitoisuuden ilmaa virtausten mukana. Vastavasti taas Atlantilta virtaavassa ilmassa hiilidioksidipitoisuus on alhaisempaa. Kesällä, kasvillisuuden nielu on suuri, koska kasvien yhteyttämistä tapahtuu paljon, ja silloin mantereisissa ilmamassoissakin pitoisuus voi olla pienempi. (Ilmatieteenlaitos, 2020a)

Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on Suomessa nykyisin keskimäärin noin 400 ppm eli 0,04% (Sandberg, 2016a s. 64). Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee ajankohdan ja paikan mukaan. Ilmakehän hiilidioksidin määrä kasvaa vuosittain päästöjen vuoksi. Ulkoilmapitoisuuksien esimerkkeinä tässä työssä on esitetty Helsingin Kumpulan ja Utön ilmakehän mitatut hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu sekä kasvu vuosina 2012- 2020. Esimerkit on esitetty kuvissa: Kuva 1. Hiilidioksidi ilmakehässä Helsinki-Kumpula . (Ilmatieteenlaitos, 2020a) ja Kuva 2. Hiilidioksidi ilmakehässä Utössä. (Ilmatieteenlaitos', 2020b).



Kuva 1. Hiilidioksidi ilmakehässä Helsinki-Kumpula (Ilmatieteenlaitos, 2020a).



Kuva 2. Hiilidioksidi ilmakehässä Utössä (Ilmatieteenlaitos, 2020b).

### 3.4 Hiilidioksidi sisäilmassa

Sisätilojen pääasiallinen hiilidioksidin lähde on ihmisen uloshengityksessä tuleva hiilidioksidi. Tuottoon vaikuttaa ihmisen aktiivisuus. (Sandberg, 2016b s. 63). Ihminen tuottaa hengittäessään hiilidioksidia, jonka määrä on riippuvainen mm. ihmisen koosta ja fyysisestä aktiivisuudesta. Yhden henkilön tuottama hiilidioksidin määrä kevyessä työssä on noin 24 l/s eli 6,7 cm<sup>3</sup>/s. (Sandberg, 2016a s. 101). Ihmisen tuottaman hiilidioksidin määrälle on myös olemassa laskentakaavoja, joilla saadaan tarkempia ihmisen fyysisen koon ja aktiivisuuden huomioivia määriä. Ympäristöministeriön laskentaopas antaa ihmisen tuottamalle hiilidioksidikuormalle kaavan 1, jossa  $V'_{CO_2}$  on yhden henkilön tuottaman hiilidioksidin tilavuusvirta [dm<sup>3</sup>/s], RQ on hengitysosamäärä, M on fyysisen aktiivisuuden luku (met) ja  $A_{keho}$  on ihmisen kehon pinta-ala.

$$V'_{CO_2} = RQ \times \frac{0,00276 \times A_{keho} \times M}{0,23 \times RQ + 0,77}$$

Kaava 1. Ihmisen tuottama hiilidioksidi. (Ympäristöministeriö 2, 2017).

Kaavassa hengitysosamäärä RQ kuvaa ihmisen hiilidioksidin tuoton ja hapenkulutuksen välistä suhdetta. Hengitysosamäärä vaihtelee aktiivisuuden mukaan ollen lukuarvona 0,7 ja 1,0 välillä. Ihmisen lepotilassa luku on 0,85 ja kevyessä toiminnassa 0,82 ja 0,83 välillä. Standardiarvona laskennassa voidaan käyttää lukua 0,83. Fyysisen aktiivisuuden luku M kuvaa ihmisen aineenvaihdunnan tehoa eri toiminnoissa, ja toimistotyössä luku M on 1,2 met. Ihmisen kehon pinta-alalle on annettu Ympäristöministeriön oppaassa kaksi tutkimukseen perustuvaa vaihtoehtoista kaavaa, DuBois-kaava 2 ja Monsteller-kaava 3. Kaavoissa W on henkilön paino kg:na ja H on pituus cm:nä. (Ympäristöministeriö 2, 2017 s. 8...9).

$$A_{keho} = \frac{W^{0,425} \times H^{0,725}}{139,1}, \quad (m^2)$$

Kaava 2. Ihmisen kehon pinta-alan DuBois-kaava. (Ympäristöministeriö 2, 2017).

$$A_{keho} = \frac{W^{0,5} \times H^{0,5}}{60}, \quad (m^2)$$

Kaava 3. Ihmisen kehon pinta-alan Monsteller-kaava. (Ympäristöministeriö 2, 2017).

Aikuisten työkäisten miesten keskimääräinen pituus oli vuonna 2017 tehdyn tutkimuksen mukaan 177 cm ja paino 87 kg. Vastaavasti työkäisten naisten pituus oli keskimäärin 163 cm ja paino 73 kg (Terveystieteiden tutkimuskeskus, 2018 s. 45...46). Jos naisten ja miesten määrä arvioidaan yhtä suureksi, voidaan laskea näiden keskiarvoiksi pituudelle 170 cm ja painolle 80 kg. Sijoittamalla paino ja pituus kaavoihin 2 ja 3 saadaan kehon pinta-ala  $A_{keho}$  DuBois -kaavalla 1,92 m<sup>2</sup> ja Monstaller -kaavalla vastaavasti 1,94 m<sup>2</sup>. Näillä kahdella kaavalla saaduilla arvoilla ei ole merkittäviä eroja. Kun kaikki edellä mainitut sijoitetaan kaavaan 1, voidaan laskea keskiverto työntekijän toimistotyössä tuottaman hiilidioksidin määrä keskimäärin seuraavasti:

$$V'_{CO_2} = 0,83 \times \frac{0,00276 \times 1,9 \times 1,2}{0,23 \times 0,83 + 0,77} = 5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Laskentakaavalla saatu keskiverto työntekijän toimistotyössä tuottaman hiilidioksidin määrä 5,4 cm<sup>3</sup>/s on pienempi, kuin yleisesti käytetty ihmisen keskimäärin tuottaman hiilidioksidin arvo 6,7 cm<sup>3</sup>/s.

### 3.5 Hiilidioksidipitoisuuden tasapainotilanne

Hiilidioksidipitoisuuden tasapainotilanne syntyy, kun tilaan tulevat ja sieltä poistuvat epäpuhtausvirrat ovat yhtä suuret ( $q_{ulko} = q_{sisä}$ ). Tarkastellaan tasapainotilanteeseen liittyviä kaavoja. Tasapainoyhtälön kaava on esitetty kaavassa Kaava 4. Tasapainoyhtälö

$$q_{ulko} \times C_{ulko} + G_{CO_2} = q_{sisä} \times C_{sisä}$$

Kaava 4. Tasapainoyhtälö (Sandberg, 2016a s. 101).

Kaavassa  $q_{ulko}$  on tuloilmavirtaus [l/s],  $C_{ulko}$  on tuloilman hiilidioksidipitoisuus,  $G_{CO_2}$  ihmisten tuottama hiilidioksidin kokonaismäärä [l/s] ja  $C_{sisä}$  sisällä olevan eli poistoilman hiilidioksidipitoisuus. Kun tilaan tulevat ja sieltä poistuvat epäpuhtausvirrat ovat yhtä suuret eli  $q_{ulko} = q_{sisä}$ , voidaan johtaa tasapainotilanteen kaava, joka on esitetty kaavassa, Kaava 5. Tulo- ja poistoilmavirta tasapainotilanteessa .

$$q_{ulko} = \frac{G_{CO_2}}{C_{sisä} - C_{ulko}}$$

Kaava 5. Tulo- ja poistoilmavirta tasapainotilanteessa (Sandberg, 2016a s. 101).

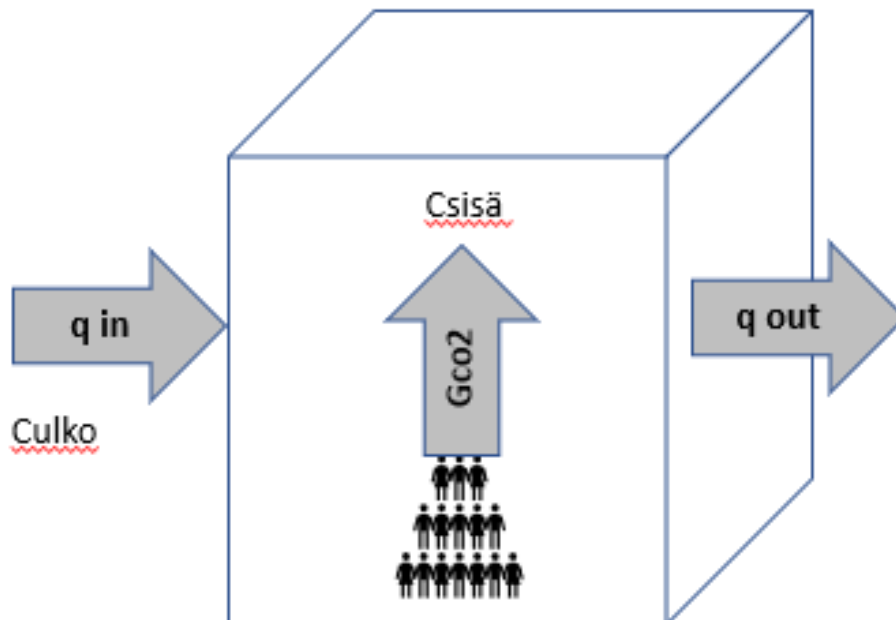


Myös tasapainopitoisuudelle voidaan johtaa aiemmista kaavoista edelleen kaava, joka on esitetty kaavassa, Kaava 6. Laskennallinen tasapainopitoisuus.

$$C_{sisä} = \frac{C_{ulko} \times q_{ulko} + G_{CO_2}}{q_{ulko}} = \frac{G_{CO_2}}{q_{ulko}} + C_{ulko}$$

Kaava 6. Laskennallinen tasapainopitoisuus (Sandberg, 2016a s. 101).

Ilmavirran tarve ei täten riipu tilan tilavuudesta, vaan tavoiteltavasta sisäilman hiilidioksidin enimmäispitoisuudesta, sekä tilassa olevien henkilöiden tuottamasta hiilidioksidin kokonaismäärästä eli henkilöiden lukumäärästä. Mitä matalampaa sisäilmapitoisuutta tavoitellaan, sitä suurempi tulee tuloilmavirran eli ilmanvaihdon olla. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus  $C_{sisä}$  ja tuloilman  $C_{ulko}$  pitoisuuksien erotus määrää pitoisuuden poiston tehokkuuden. Pitoisuuksien erotuksen kasvaessa poistotehokkuus kasvaa, ja vastaavasti poistotehokkuus laskee pitoisuuksien erotuksen pienentyessä. Kun pitoisuus on alhainen, myös poistettavan hiilidioksidin määrä pienenee, vaikka ilmanvaihdon määrä pysyy samana. Tasapainotilanne siis syntyy silloin kun poistettavan hiilidioksidin määrä ja ihmisten hiilidioksidin tuotto ovat yhtä suuret. Huoneen suuri tilavuus hidastaa muutosta. Periaate virroista on esitetty kuvassa, Kuva 3. Periaatekuva hiilidioksidin tuotto ja poisto. (Sandberg, 2016a s. 101).



Kuva 3. Periaatekuva hiilidioksidin tuotto ja poisto.

### Laskuesimerkki 1

Jos tavoitellaan sisäilman hiilidioksidin enimmäistasoa 950 ppm (S2), voidaan tuloilmavirta  $q_{\text{ulko}}$  laskea henkilöä kohden seuraavasti:

$$q_{\text{ulko}} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{C_{\text{sisä}} - C_{\text{ulko}}} = \frac{5,4 \text{ cm}^3/\text{s}}{(950 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm})} = 9,8 \text{ l/s henkilöä kohden.}$$

Lisäksi kun tiedetään tilaan tulevan ilmapvirran suuruus, esimerkiksi 250 l/s, voidaan laskea edellisen perusteella enimmäishenkilömäärä seuraavasti:

$$\frac{250 \text{ l/s}}{9,8 \text{ l/s henkilöä kohden}} = 25,5 \text{ henkilöä eli enintään 25 henkilöä.}$$

Henkilömäärä pyöristetään aina alaspäin. Vastaavasti, jos enimmäistavoitepitoisuudeksi asetetaan 750 ppm (S1) saadaan tuloilmavirraksi  $q_{\text{ulko}}$  15,4 l/s henkilöä kohden ja tuloilmavirran 250 l/s perustella edelleen maksimi henkilömääräksi 16 henkilöä. Tavoitepitoisuudelle  $C_{\text{sisä}}$  1200 ppm (S3) tuloilmavirraksi  $q_{\text{ulko}}$  saadaan 6,8 l/s ja edelleen sen perusteella maksimi henkilömääräksi 36 henkilöä.

### Laskuesimerkki 2

Kun tiedetään tuloilmavirtaukseksi 250 l/s ja henkilömääräksi 11 henkilöä, voidaan tällöin laskea tasapaino pitoisuus kaavan 6 avulla:

$$C_{\text{sisä}} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{q} + C_{\text{ulko}} = \frac{11 \text{ hlö} * 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s hlö}}{0,25 \text{ m}^3/\text{s}} + 400 \text{ ppm} = 638 \text{ ppm}$$

### 3.6 Hiilidioksidipitoisuuden muutokset ajanfunktiona

Pitoisuuden muutos  $C_t$  ajan hetkellä  $t$  noudattaa eksponentiaalista kuvaajaa, jonka yhtälö voidaan esittää kaavalla, Kaava 7. Pitoisuuden muutos  $C_t$  ajanhetkellä  $t$ .

$$C_t = C_0 e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)} + C_{\infty} (1 - e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)})$$

Kaava 7. Pitoisuuden muutos  $C_t$  ajanhetkellä  $t$  (Sandberg, 2016a s. 103).

Kaavassa 7  $C_t$  on hiilidioksidipitoisuuden muutos ajanhetkellä  $t$  ja  $C_0$  on alkupitoisuus ppm tai  $\text{cm}^3/\text{s}$ . Ulkoilmalle voidaan käyttää pitoisuuden likiarvona 400 ppm vaikka se hieman vaihtelee. Kaavassa  $C_\infty$  on tasapainotilanteen pitoisuus ppm, joka saadaan lasquemalla tasapainoyhtälön kaavan 3 mukaan, koska  $C_\infty = C_{\text{sisä}}$ . Kaavassa  $e$  on luonnollinen luku, ja  $t$  on ajan hetki, jolla tilannetta tarkistellaan. Ilmanvaihtuvuus voidaan laskea seuraavalla kaavalla 8, jossa  $q$  on virtaus,  $V$  on tilavuus ja  $\tau$  on aikavakio.

$$\text{Ilmanvaihtuvuus } n = \frac{q}{V}$$

Kaava 8. Ilmanvaihtuvuus (Sandberg, 2016a s. 103).

Aikavakio  $\tau$  voidaan laskea kaavasta 8 johdetulla kaavalla 9, jossa  $V$  on tilavuus ja  $q_v$  tulovirtaus.

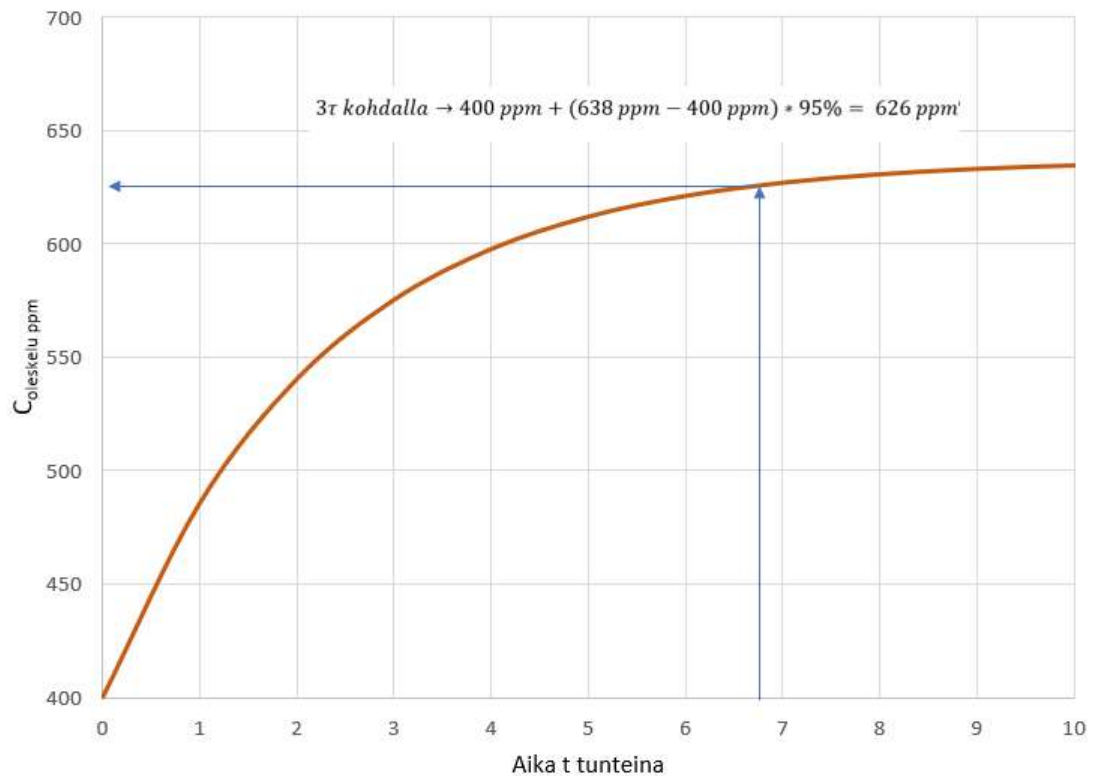
$$\tau = \frac{1}{n} \text{ eli } \frac{V}{q_v}$$

Kaava 9. Ilmanvaihdon aikavakio (Sandberg, 2016a s. 103).

Aikavakion  $\tau$  kuluttua kuvaaja on saavuttanut 63,2% noususta,  $2 \tau$  kuluttua kuvaaja on saavuttanut 86,5% noususta,  $3 \tau$  kuluttua kuvaaja on saavuttanut 95,0% noususta,  $4 \tau$  kuluttua kuvaaja on saavuttanut 98,2% noususta ja  $5 \tau$  kuluttua kuvaaja on saavuttanut 99,3% noususta (Sandberg, 2016a s. 103).

### **Mallinnus taulukkolaskennalla**

Epäpuhtauksien pitoisuuksia voidaan mallintaa yksinkertaisilla taulukkolaskentamenetelmillä. Tasapainotilanteen laskemisen lisäksi tällöin voidaan ratkaista myös aikariippuvia tilanteita. (Sandberg, 2016b s. 384). Pitoisuuden eksponentiaalinen kaava voidaan kirjoittaa taulukkolaskentaan, ja saada tällöin kuvattua aikariippuvia tilanteita, esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden nousu ajanfunktiona. Kuvassa, Kuva 4. Esimerkin hiilidioksidipitoisuuden kasvu  $C_{\text{sisä}}$  ajan funktiona., on esitetty esimerkki eksponentiaalisella kaavalla lasketusta pitoisuuden muutoksesta ajanfunktiona, kun henkilömäärä on 11 henkilöä, tilan tilavuus on  $2010 \text{ m}^3$  ja tuloilmavirtaus  $250 \text{ l/s}$ .



Kuva 4. Esimerkin hiilidioksidipitoisuuden kasvu  $C_{\text{sisä}}$  ajan funktiona.

Voidaan tarkistaa, onko kuvaaja piirretty oikein, laskemalla aikavakio  $\tau$  ja edelleen esimerkiksi se, että  $3\tau$  kuluttua kuvaaja on saavuttanut 95,0% noususta:

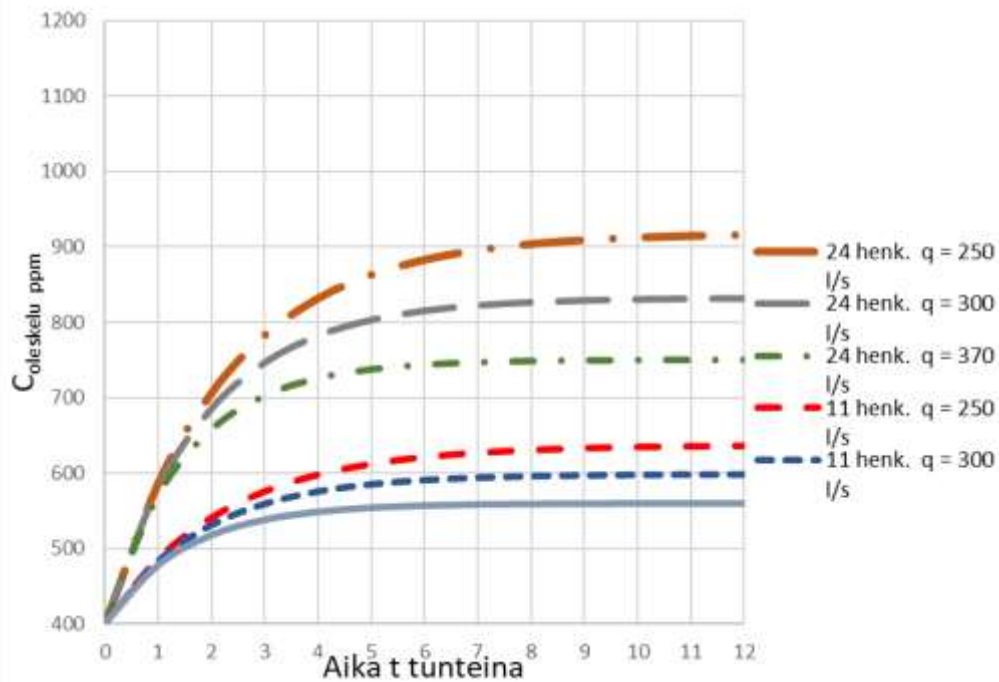
$$\tau = \frac{V}{q_v} = \frac{2010 \text{ m}^3}{250 * 3,6 \text{ m}^3/\text{h}} = 2 \text{ h } 14 \text{ min ja edelleen } 3\tau = 6 \text{ h } 42 \text{ min}$$

$$3\tau \text{ kohdalla} \rightarrow 400 \text{ ppm} + (638 \text{ ppm} - 400 \text{ ppm}) * 95\% = 626 \text{ ppm}$$

Saatu tulos täsmää kuvaajaan, joten voidaan todeta, että kuvaaja on piirretty oikein.

### 3.7 Henkilömäärän ja tuloilman virtauksen muutosten vaikutus $\text{CO}_2$ -pitoisuuteen

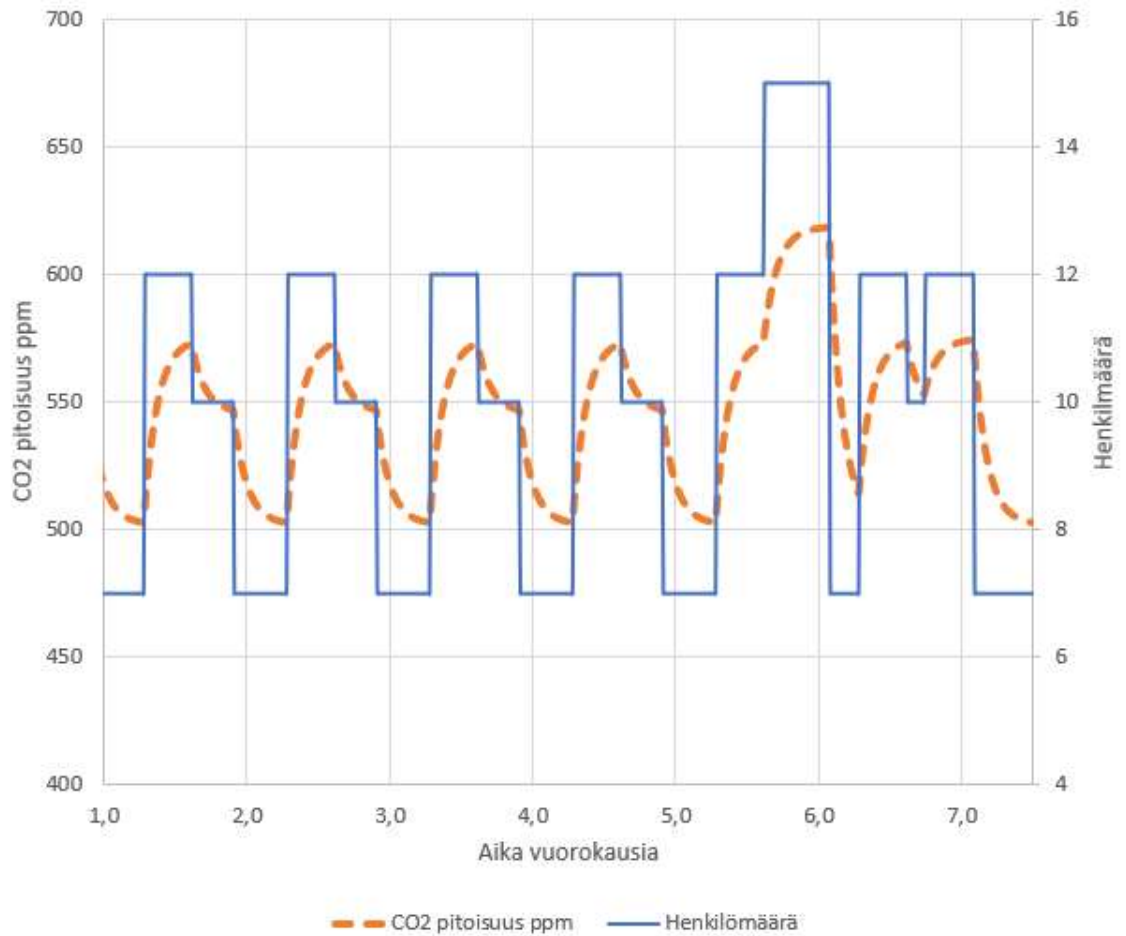
Huoneen ilmavirran tarve määräytyy tavoiteltavasta sisäilman hiilidioksidin enimmäispitoisuudesta, sekä tilassa olevien henkilöiden tuottamasta hiilidioksidin kokonaismäärästä. Laskettiin esimerkkinä tilan, jonka tilavuus on  $2010 \text{ m}^3$  hiilidioksidipitoisuuden muutoksia ajanfunktiona kahdella eri henkilömäärällä, 12 ja 24 henkilöllä, sekä kolmella eri ilmamäärällä 250, 300 ja 370 l/s. Laskennan tulosten kuvaajat on esitetty kuvassa Kuva 5. Henkilö- ja ilmamäärän vaikutus pitoisuuteen ajanfunktiona.



Kuva 5. Henkilö- ja ilmamäärän vaikutus pitoisuuteen ajanfunktiona.

Kuvaajasta ilmenee pitoisuuden kehittyminen sekä tasapainotilanteen asettuminen, kun pidempään tyhjillään olleeseen tilaan, jonka pitoisuus on laskenut ulkoilman tasolle 400 ppm, tulee henkilöitä. Kuvaajasta havaittiin tuloilman määrän vaikutus sekä henkilömäärän vaikutus tasapainopitoisuuteen, eli tasoon, jossa hiilidioksidin tuotto ja poisto ovat yhtä suuret.

Lisäksi tarkasteltiin esimerkkinä teoreettista tilannetta, jossa henkilömäärä vaihtelee merkittävästi työvuorojen ja viikonpäivien tarpeen mukaan. Ilmamäärä pysyy vakiona 250 l/s ja samoin tilavuus, joka on 2010 m<sup>3</sup>. Ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$  laskettiin 2 h 14 min. Yhden henkilön hiilidioksidintuottona käytettiin aiemmin laskettua 5,4 cm<sup>3</sup>/s. Alin henkilömäärä kuvaajassa on 7 ja ylin 15 henkilöä. Piirrettiin kuvaaja taulukkolaskennalla. Laskennan tulos on esitetty kuvassa, Kuva 6. Esimerkki henkilömäärän vaihtelun vaikutuksesta CO<sub>2</sub> pitoisuuteen.



Kuva 6. Esimerkki henkilömäärän vaihtelun vaikutuksesta CO2 pitoisuuteen.

Kuvaajasta oli havaittavissa huoneen tilavuuden vaikutus hidastavasti pitoisuuden muutoksiin. Kuvaajasta myös havaittiin, että jos vuorojen pituus eli henkilömäärän muutosten väli olisi esimerkkilaskussa käytetyssä kohteessa 8 h, niin se olisi noin 3,6 kertaa aikavakio 2 h 14 min pituinen aika, ja muutos olisi jo saavuttanut lähes kokonaan tasapainoarvon, koska jo kolme kertaa aikavakion kuluttua olisi saavutettu jo 95% muutoksesta.

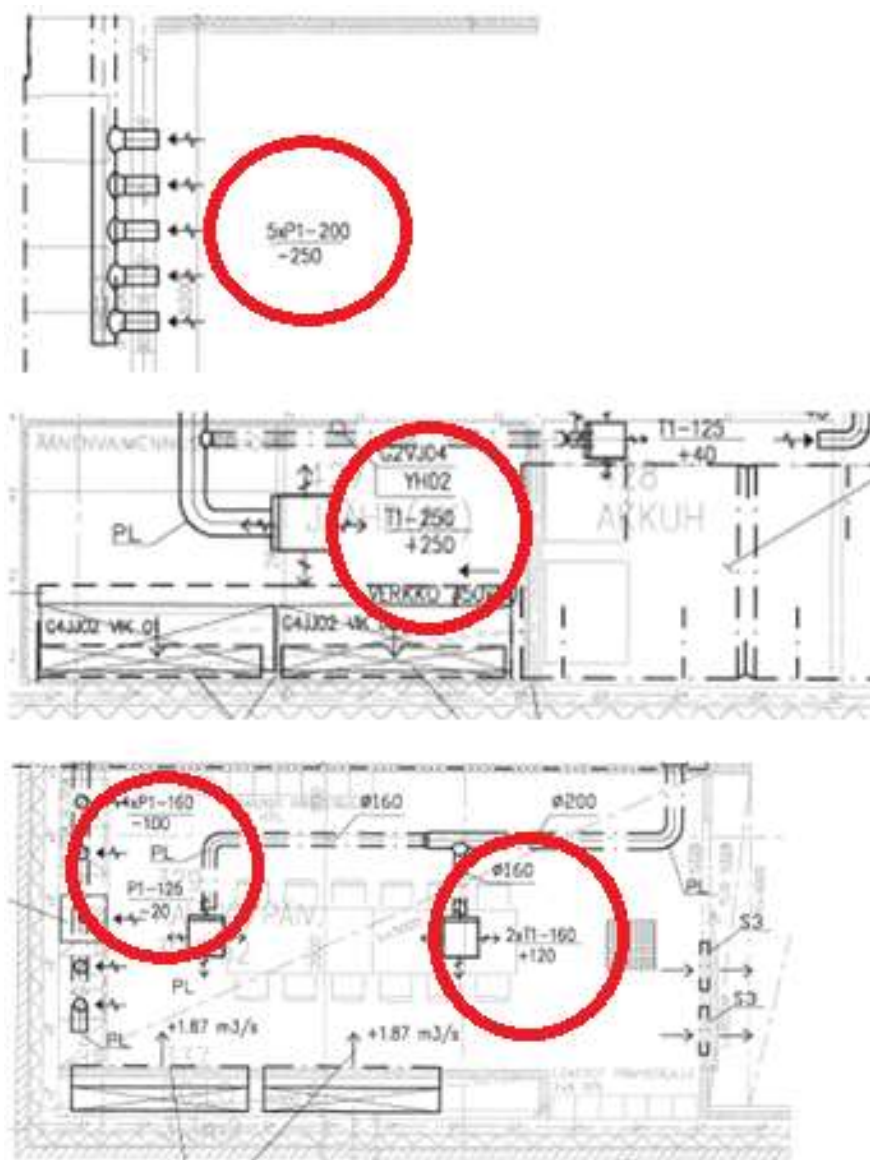
## 4 PÄIVYSTYSSALIEEN ILMAMÄÄRIEN RIITTÄVYYS

Tässä kappaleessa on kuvattu käytetyt työmenetelmät päivystyssalien ilmamäärän riittävyyden arviointiin hiilidioksidipitoisuuksien perusteella. Kohteiden ilmanvaihdon lähtötietojen koostamiseen käytettiin ilmanvaihto- ja rakennuspiirustuksia. Pohjakuvista kerättiin niissä mainitut ilmanvaihdon määrälliset arvot, jotka ovat perustana myös ilmanvaihdon huollossa ja niihin kuuluvissa tarkistusmittauksissa. Koska huolloissa ei ollut havaittu merkittäviä poikkeamia, arvioitiin, että piirustusten tietoja voidaan käyttää lähtötietoina. Päivystyssalien tilaavuudet laskettiin pohja- ja leikkauskuvista saaduilla mitoilla. Menetelmänä käytettiin hätäkeskusten ilmamäärän laskennallista mallintamista kerättävien kohteen lähtötietojen ja teorian avulla. Laskentatulosten perusteella arvioitiin ilmanvaihdon riittävyyttä. Lisäksi valittiin esimerkkikohteeksi keskikokoinen hätäkeskuksen päivystyssali, jonka hiilidioksidipitoisuus mitattiin mittalaittein viikon jaksolta. Hätäkeskusten mitoitusperusteet ovat olleet yhtenevät, joten arvioitiin yhden esimerkkikohteen mittaamisen olevan riittävä tapa todentaa, laskennallisen menetelmän soveltuvuus ilmamäärän riittävyyden tarkasteluun. Ajalta hankittiin myös kiinteistöautomaation mittaustiedot. Mittausjakson ajalta selvitettiin myös todelliset toteutuneet henkilömäärät, jonka perusteella mallinnettiin hiilidioksidipitoisuuden muutokset. Mittaustuloksia verrattiin laskennallisesti mallinnettuihin tuloksiin mallinnuksen soveltuvuuden ja käyttökelpoisuuden varmistamiseksi. Päivystyssalien ilmanvaihdon riittävyydestä annettiin sanallinen arvio hiilidioksiditasojen, henkilömäärien ja sisäilmastoa koskevien suosituksien perusteella. Tässä työssä ei arvioida hiilidioksidipitoisuuden lisäksi muita Sisäilmastoluokitus 2018 mukaisia sisäilman laadullisia tekijöitä, kuten esimerkiksi, radon-pitoisuutta, lämpötilaa ja kosteutta.

### 4.1 Päivystyssalien ilmamäärän riittävyys laskennallisesti

Päivystyssalien ilmamäärät, pinta-alat sekä tilavuudet koostettiin ja osin laskettiin kohteista löydetyistä sekä vuokranantajilta lainaan saaduista ilmanvaihdon piirustuksista ja dokumenteista. Myös saliin kiinteästi liittyvien tiivistämättömin liukuovien erotettujen taukotilojen ilmamäärät selvitettiin laskentaa varten. Esimerkki kohteen ilmanvaihdon piirustuksista kerättyistä tiedoista on koostettu kuvaan, Kuva 7. Esimerkki ilmanvaihdon tasokuvan tiedoista. Turvallisuussyistä tässä työssä ei esitetä pohjakuvia. Hätäkeskuksen rakennuspiirustukset ovat salassa pidettäviä julkisuuslain 24 § kohdan 7 ja kohdan 8

perusteella, koska ne ovat turvajärjestelyjen toteuttamiseen vaikuttavia asiakirjoja, ja niistä tiedon antaminen vaarantaisi turvajärjestelyjen tarkoituksen toteutumisen. Lisäksi rakennuspiirustukset ovat osaltaan kohteen onnettomuuksiin tai poikkeusoloihin varautumista, väestönsuojelun toteuttamista sekä poikkeusoloihin varautumista varten (Julkisuuslaki 621/1999, 1999). Tietoturvallisuusasetuksen 11§ mukaisesti suojaustasoon IV kuuluvat asiakirjat oli varustettu merkinnällä "KÄYTTÖ RAJOITETTU" (Tietoturvallisuusasetus 681/2010, 2010). Häätäkeskukset ovat turvallisuusviranomaisten viestikeskuksia, ja niiden tulee huolehtia toiminastaan myös poikkeusoloissa (Valmiuslaki 1552/2011, 2011).



Kuva 7. Esimerkki ilmanvaihdon tasokuvan tiedoista.



Kerätyillä lähtötiedoilla laskettiin kohteittain maksimi henkilömäärät sisäilmastuosituksen luokkien enimmäishiilidioksiditasojen perusteella. Lähtötiedot on esitetty taulukossa, Taulukko 1. Sisäilmastoluokilla lasketut maksimi henkilömäärät. Yhden henkilön keskimääräisenä hiilidioksidin tuoton arvona on käytetty aikaisemmin tässä työssä laskettua keskimääräistä  $5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$  arvoa.

Taulukko 1. Sisäilmastoluokilla lasketut maksimi henkilömäärät.

Kohde	Tuloilmavirta [q] l/s	S1 400+350 =750ppm, enintään henkilöä	S2 400+550 = 950ppm, enintään henkilöä	S3 400+800 = 1200ppm, enintään henkilöä
Kerava	790	51	80	117
Kuopio	250	16	25	37
Oulu	300	19	31	44
Pori	250	16	25	37
Turku	250	16	25	37
Vaasa	250	16	25	37

Lähtötiedoilla laskettiin myös päivystyssalien ilmanvaihtuvuus  $n$  ja ilmanvaihdon aikavakio  $\tau$ . Ilmanvaihdon aikavakiot ja ilmanvaihtuvuudet on esitetty taulukossa, Taulukko 2. Päivystyssalien lasketut ilmanvaihdon vaihtuvuus ja aikavakiot. Kolme kertaa aikavakio  $\tau$  aikana on jo saavutettu 95 % muutoksesta. Laskelmista havaittiin, että tämä aika on melko lähellä keskimääräisen 8 tunnin työvuoron pituutta, jolloin pitoisuuden muutos on jo melkein kokonaan saavutettu. Aikavakioiden perusteella todettiin laskennallisten tasapainoarvojen olevan käytännössä riittäviä pitoisuuksia eri henkilömäärillä arvioitaessa.

Taulukko 2. Päivystyssalien lasketut ilmanvaihdon vaihtuvuus ja aikavakiot.

Kohde	Pinta- ala [A] m <sup>2</sup>	Tila- vuus [V] m <sup>3</sup>	Tuloilma- virta [q] l/s	Ilman- vaihtu- vuus [n = q/V] 1/h	Ilman- vaihdon aikava- kio [τ = 1/n] 63,2% h	2 * τ 86,5% h	3 * τ 95,0% h	4 * τ 98,2% h	5 * τ 99,3% h
Kerava	447	2915	790	0,98	1,02	2,05	3,07	4,10	5,12
Kuopio	237	1540	250	0,58	1,71	3,42	5,13	6,84	8,56
Oulu	330	2145	300	0,50	1,99	3,97	5,96	7,94	9,93
Pori	237	1540	250	0,58	1,71	3,42	5,13	6,84	8,56
Turku	340	2010	250	0,45	2,23	4,47	6,70	8,93	11,17
Vaasa	237	1540	250	0,58	1,71	3,42	5,13	6,84	8,56

Kohteiden käyttöasteen vaikutusta huoneilman hiilidioksidipitoisuuksiin arvioitiin laske-  
malla 50 %, 75 % ja 100 % -miehityksillä tasapainopitoisuudet. Yhden henkilön hiilidiok-  
sidin tuoton arvona käytettiin aikaisemmin työssä laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s ar-  
voa. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa, Taulukko 3. Päivystyssalien hiilidioksidi-  
pitoisuus eri henkilömäärillä. Tuloksista havaittiin kaikkien kohteiden täyttävän puolella  
miehityksellä hiilidioksidipitoisuuden osalta sisäilmastoluokan S1 vaatimukset. 75 % ja  
100 % miehityksellä todettiin kohteiden täyttävän vähintään sisäilmastoluokan S2 vaati-  
mukset.

Päivystyssalin yhteydessä olevan, liukuovella erotetun taukotilan, eli kahvion sisäilman  
oletettiin sekoittuvan salin sisäilmaan, silloin kun tilojen väliset liukuovet ovat auki. Liu-  
kuovi ei ole tiivis, joten ilma pääsee osin sekoittumaan myös silloin kun ovi on suljettu.  
Tämän arvioitiin lisäävän kokonaisilmanvaihtoa. Lassilan mukaan esimerkkinä neuvot-  
teluhuoneen sisäilman hiilidioksidipitoisuus saatiin laskemaan 1100 ppm:stä 800  
ppm:ään avaamalla aulaan johtanut ovi (Lassila, 2014 s. 167). Hätäkeskusten päivys-  
tyssalien ovea ei voida avata muihin tiloihin, kuin ainoastaan salin taukotilaan, joka on  
samalla korotetun tason turva-alueella kuin sali (Katakri, 2015 s. 19).

Taulukko 3. Päivystyssalien hiilidioksidipitoisuus eri henkilömäärillä.

Päivystyssali	Tuloilma-virta [q] l/s	Pöytä-määrä kpl	50% miehitys CO2 pitoisuus ppm	75% miehitys CO2 pitoisuus ppm	100% miehitys CO2 ppm
Kerava	790	40	537	605	673
Kuopio	250	24	659	789	918
Oulu	300	19	571	657	742
Pori	250	19	605	708	810
Turku	250	24	659	789	918
Vaasa	250	19	605	708	810

Laskettiin hätäkeskusten hiilidioksiditasapainopitoisuudet eri miehityksillä huomioiden myös taukotilan lisäilmanvaihto. Lasketut tulokset on esitetty taulukossa, Taulukko 4. Päivystyssalien hiilidioksidipitoisuus lisäilmalla eri henkilömäärillä.

Taulukko 4. Päivystyssalien hiilidioksidipitoisuus lisäilmalla eri henkilömäärillä.

Kohde	Tuloilma-virta [q] l/s	Salin taukotilan lisätuloilmavirta [q] l/s	Tuloilma-virta yht. [q] l/s	Pöytä-määrä kpl	50% miehitys CO2 pitoisuus ppm	75% miehitys CO2 pitoisuus ppm	100% miehitys CO2 pitoisuus ppm
Kerava	790	0	790	40	537	605	673
Kuopio	250	80	330	24	596	695	793
Oulu	300	125	425	19	521	581	641
Pori	250	80	330	19	555	633	711
Turku	250	120	370	24	575	663	750
Vaasa	250	80	330	19	555	633	711

Tuloksista havaittiin, että salin taukotilan ja salin välisen oven pitäminen auki parantaa ilmanlaatua, Keravaa lukuun ottamatta, koska siellä ei salin yhteydessä ole enää nykyisellään taukotilaa. Salin taukotila poistettiin aikanaan salin laajennuksen yhteydessä, jolloin myös lisättiin salin tuloilman määrää huomattavasti alkuperäisestä. Keravan tuloilman määrä on nykyisessä muutetussa ratkaisussa huomattavan suuri muihin hätäkeskuksiin nähden jopa suhteessa henkilömäärään. Laskelman mukaan Kuopion hiilidioksidin laskennallinen pitoisuus voi ylittää 750 ppm rajan, nousten sisäilmastoluokan S2 puolelle. Myös Turun laskennalliset pitoisuudet ovat 750 ppm rajalla. Muiden osalta lukemat jäävät selvästi alle 750 ppm rajan.

Taukokuoneen ja salin välisen oven aukipitämisen ja edelleen lisäilman vaikutusta salin ilmanvaihtuvuuteen ja ilmanvaihdon aikavakioon verrattiin laskemalla, joka on esitetty taulukossa, Taulukko 5. Lisäilman vaikutus ilmanvaihtuvuuteen ja ilmanvaihdon aikavakioon. Tuloksista havaittiin, että salin taukotilan ja salin välisen oven pitäminen auki kasvattaa ilmanvaihtuvuutta ja lyhentää ilmanvaihdon aikavakiota pl. Kerava, jossa taukotilaa ei salin yhteydessä enää nykyisellään ole. Arvioitiin, että taukotilan tilavuus oli salin tilavuuteen suhteessa niin pieni, ettei sen tilavuutta huomioitu laskelmissa.

Taulukko 5. Lisäilman vaikutus ilmanvaihtuvuuteen ja ilmanvaihdon aikavakioon.

Kohde	Pinta-ala [A] m <sup>2</sup>	Tilavuus [V] m <sup>3</sup>	Tuloilmavirta [q] l/s	Ilmanvaihtuvuus [n = q/V] 1/h	Ilmanvaihdon aikavakio [τ] h	Salin taukotilan lisätuloilmavirta [q] l/s	Tuloilmavirta lisäilmalla [q] l/s	Ilmanvaihtuvuus lisäilmalla [n = q/V] 1/h	Ilmanvaihdon aikavakio lisäilmalla [τ] h
Kerava	447	2915	790	0,98	1,02	0	790	0,98	1,02
Kuopio	237	1540	250	0,58	1,71	80	330	0,77	1,30
Oulu	330	2145	300	0,50	1,99	125	425	0,71	1,40
Pori	237	1540	250	0,58	1,71	80	330	0,77	1,30
Turku	340	2010	250	0,45	2,23	120	370	0,66	1,51
Vaasa	237	1540	250	0,58	1,71	80	330	0,77	1,30

(Huomautus taulukon ajat ovat desimaalimuodossa)

Ulkoilmavirtojen lasketut suhteelliset arvot on esitetty taulukossa, Taulukko 6. Tuloilmavirta neliometriä ja henkilöä kohden. Päivystyssalien tilatehokkuus täydellä miehityksellä vaihtelee keskuksittain 9,9 m<sup>2</sup> ja 17,7 m<sup>2</sup> välillä henkilöä kohden. Ilmamäärät vastaavasti vaihtelevat täydellä henkilömäärällä 10,4 ja 19,8 l/s henkilöä kohden ja 1,09 l/s ja 1,77 l/s neliometriä kohden. Laskettujen tilatehokkuuksien perusteella todettiin, että päivystyssalit voidaan toimitilana luokitella luokkaan normaali tilatehokkuus. Sisäilmasto-suositus määrittelee näille toimitiloille ilmanvaihdon määrästä, että S1 -luokassa ilmanvaihdon on oltava vähintään 16 l/s henkilöä kohden, S2 luokassa vähintään 11 l/s henkilöä kohden ja S3 luokassa vähintään 6 l/s henkilöä kohden. Minimi ilmamäärästä lattia-neliometriä kohden sisäilmastoluokitus määrittelee siten, että lattianeliometriä kohden on luokassa S1 ilmamäärän oltava vähintään 1,5 l/s neliometriä kohden, ja luokassa S2 sekä S3 on oltava vähintään 1,0 l/s neliometriä kohden.

Taulukko 6. Tuloilmavirta neliometriä ja henkilöä kohden.

Kohde	Pinta-ala [A] m <sup>2</sup>	Pöytä-määrä kpl	Tuloilmavirta [q] l/s	Tilatehokkuus, m <sup>2</sup> /hlö	l/s, hlö 100% käyttöaste	l/s, m <sup>2</sup>
Kerava	447	40	790	11,2	19,8	1,77
Kuopio	237	24	250	9,9	10,4	1,05
Oulu	330	19	300	17,4	15,8	0,91
Pori	237	19	250	12,5	13,2	1,05
Turku	340	24	250	14,2	10,4	0,74
Vaasa	237	19	250	12,5	13,2	1,05

Laskettiin lisäksi vastaavat arvot tilanteessa, jossa taukotilan ilmanvaihto voitaisiin hyödyntää lisäämään päivystyssalin ilmanvaihdon kokonaismäärää. Laskelma on esitetty taulukossa, Taulukko 7. Tuloilmavirta neliometriä ja henkilöä kohden lisäilmalla.

Taulukko 7. Tuloilmavirta neliometriä ja henkilöä kohden lisäilmalla.

Kohde	Pinta-ala [A] m <sup>2</sup>	Pöytä- määrä kpl	Tuloilma- virta [q] l/s	Tilatehok- kuus, m <sup>2</sup> /hlö	l/s, hlö 100% käyt- töaste	l/s, m <sup>2</sup>
Kerava	447	40	790	11,2	19,8	1,77
Kuopio	237	24	330	9,9	13,8	1,39
Oulu	330	19	425	17,4	22,4	1,29
Pori	237	19	330	12,5	17,4	1,39
Turku	340	24	370	14,2	15,4	1,09
Vaasa	237	19	330	12,5	17,4	1,39

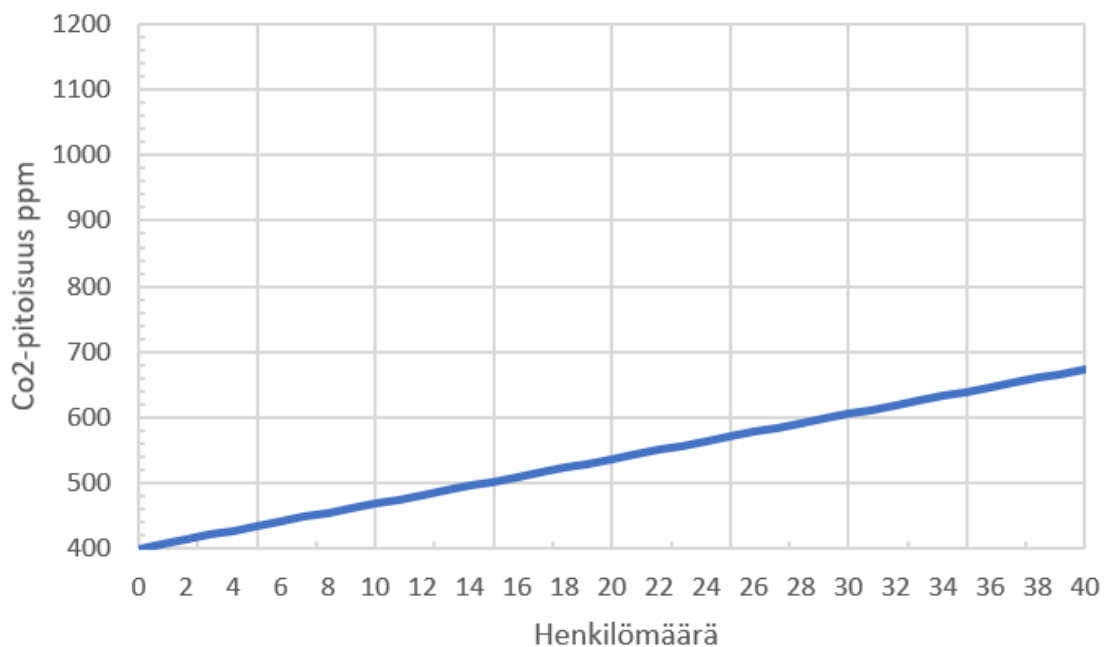
Ympäristöministeriön asetuksen uuden rakennuksen sisäilmastosta 9 § mukaan, ulkoilmavirran mitoituksen minimi on 6 l/s henkilöä kohden ja 0,35 l/s lattianeliötä kohden. (Ympäristöministeriö 1, 2017). Vaikka asetus koskeekin uutta rakennusta, voitiin asiaa tarkastella nykyisten salien osalta. Havaittiin, että minimivaatimus 6 l/s henkilöä kohden täyttyy hyvin kaikkien kohteiden osalta. Alimmat arvot täysillä henkilömäärillä laskettiin olevan Kuopion ja Turun saleissa, ollen noin 10 l/s henkilöä kohden, ja suurimmat, eli parhaat, Keravan salissa, ollen noin 20 l/s henkilöä kohden. Taukotilan tuloilman arviotiin parantavan salin sisäilmaa. Tässä työssä ei tarkasteltu koko rakennuksen vaatimusta 0,35 l/s neliometriä kohden.

Tuloksista havaittiin, ettei kaikki hätäkeskusten päivystyssalit täyttäisi nykyisiä sisäilmasuosituksessa annettuja tuloilmavirran vähimmäismääriä lattianeliometriä kohden. Tällä ei katsottu olevan merkitystä henkilömäärät ja käyttötarkoitukset huomioiden. Tässä työssä ei arvioida hiilidioksidipitoisuuden lisäksi muita Sisäilmastoluokitus 2018 mukaisia sisäilman laadullisia tekijöitä, kuten esimerkiksi radon-pitoisuutta, lämpötilaa tai kosteutta.

#### 4.1.1 Keravan päivystyssali

Keravan päivystyssalin laskennallisina lähtötietoina olivat pinta-ala 447 m<sup>2</sup>, tilavuus 2915 m<sup>3</sup>, päivystäjän työpisteitä 40 kpl ja tuloilman määrä yhteensä 790 l/s. Lähtötiedoilla laskettiin ilmanvaihtuvuudeksi n 0,98 1/h ja ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$ , 1 h 2 min. Yhden henkilön hiilidioksidin tuoton arvona käytettiin aiemmin työssä laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s arvoa. Lähtötiedoilla laskettiin ja piirrettiin kuvaaja henkilömäärän vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuden tasapainoarvoon. Tulos on esitetty kuvassa Kuva 8. Keravan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

Kuva 8. Keravan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

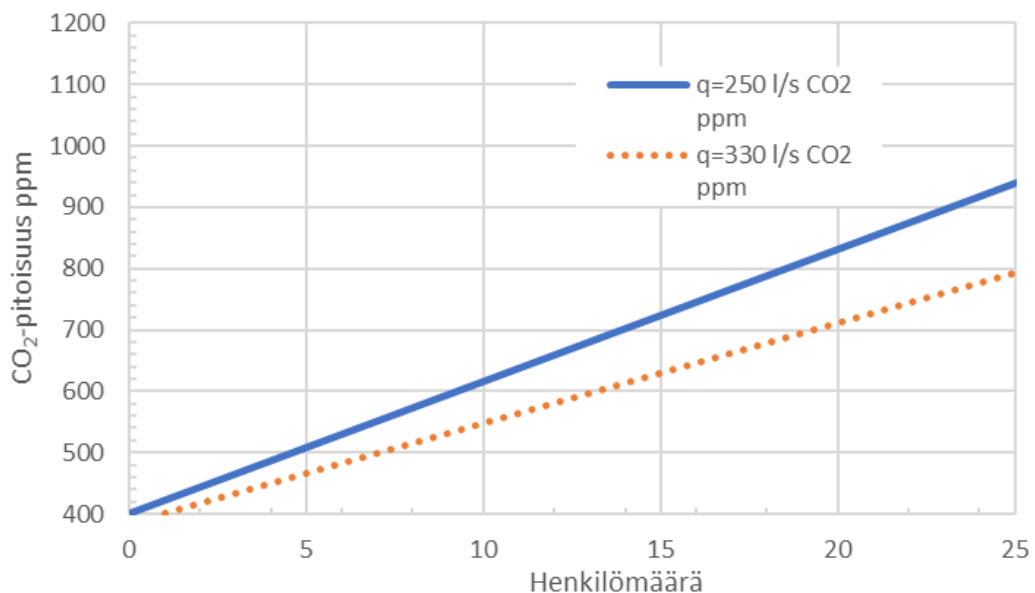


Kuva 8. Keravan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

Havaittiin, että Keravan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuus täyttää sisäilmastoluokituksen tason S1, koska jopa täydellä 40 hengen kuormituksella laskennallinen pitoisuus 667 ppm jää alle 750 ppm rajan. Keravan päivystyssalin ilmanlaatu arvioitiin erittäin hyväksi täydelläkin miehityksellä.

#### 4.1.2 Kuopion päivystyssali

Kuopion päivystyssalin laskennallisina lähtötietoina olivat pinta-ala 237 m<sup>2</sup>, tilavuus 1540 m<sup>3</sup>, päivystäjän työpisteitä 24 kpl ja tuloilman määrä 250 l/s sekä salin taukotilan kautta mahdollisesti saatavan lisäilman määrä 80 l/s, eli kokonaisilmanvaihto on yhteensä 330 l/s. Lähtötiedoilla laskettiin ilmanvaihtuvuudeksi 0,58 1/h ja lisäilmalla 0,77 1/h sekä ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$  1 h 43 min ja lisäilmalla 1 h 18 min. Yhden henkilön hiilidioksidin tuoton arvona käytettiin aiemmin laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s arvoa. Lähtötiedoilla laskettiin ja piirrettiin kuvaaja henkilömäärän vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuden tasapainoarvoon, joka on esitetty kuvassa, Kuva 9. Kuopion päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.



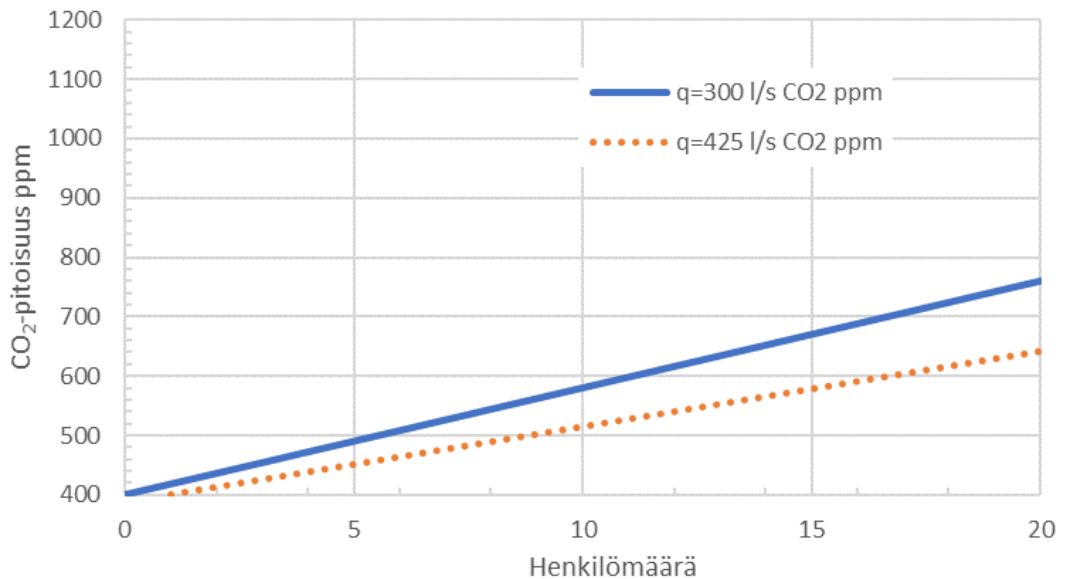
Kuva 9. Kuopion päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

Havaittiin, että Kuopion päivystyssalin hiilidioksidipitoisuus täyttää sisäilmastoluokituksen tason S2, koska täydellä 24 hengen kuormituksella laskennallinen pitoisuus oli 918 ppm. Lisäilmalla arvoksi saatiin 793 ppm, joka on myös tasolla S2. Kuopion päivystyssalin ilmanlaatu arvioitiin hyväksi täydelläkin miehityksellä. Normaali miehityksillä ilman laatu arvioitiin erittäin hyväksi. Taukotilan ja salin välisten ovien aukipitäminen ja lisäilman sekoittuminen kiertoon paransi laskelmien mukaan ilman laatua.



#### 4.1.3 Oulun päivystyssali

Oulun päivystyssalin laskennallisina lähtötietoina olivat pinta-ala 330 m<sup>2</sup>, tilavuus 2145 m<sup>3</sup>, päivystäjän työpisteitä 19 kpl ja tuloilman määrä 300 l/s sekä salin taukotilan kautta mahdollisesti saatavan lisäilman määrä 125 l/s eli yhteensä 425 l/s. Lähtötiedoilla laskettiin ilmanvaihtuvuudeksi 0,50 1/h ja lisäilmalla 0,71 1/h sekä ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$ , 2 h 00 min ja lisäilmalla 1 h 24 min. Yhden henkilön hiilidioksidin tuoton arvona käytettiin aiemmin laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s arvoa. Lähtötiedoilla laskettiin ja piirrettiin kuvaaja henkilömäärän vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuden tasapainoarvoon, joka on esitetty kuvassa, Kuva 10. Oulun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

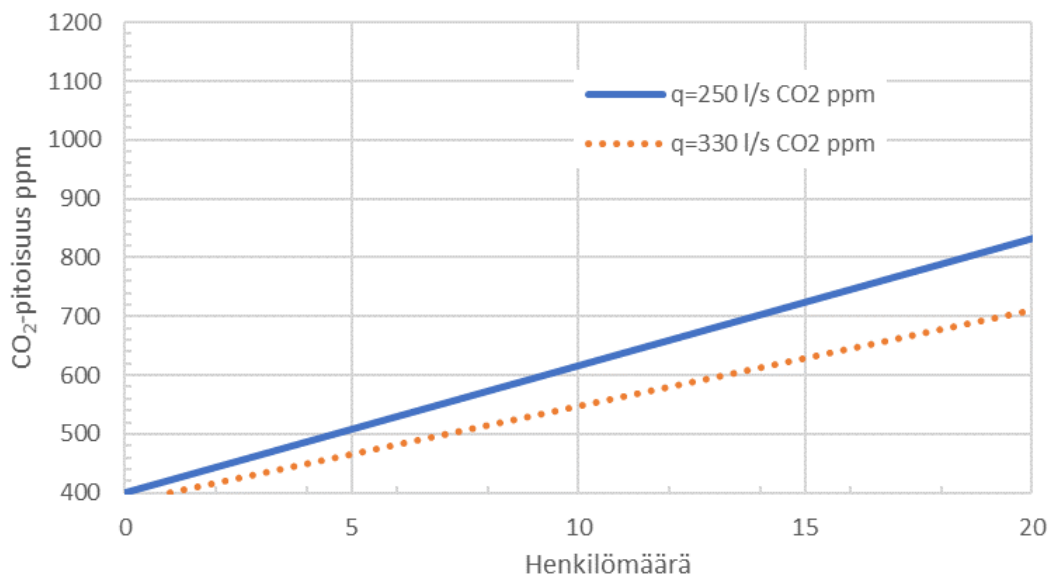


Kuva 10. Oulun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

Havaittiin, että Oulun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuus täyttää sisäilmastoluokituksen tason S1. Jopa täydellä 19 hengen kuormituksella laskennallinen pitoisuus 742 ppm jää alle 750 ppm rajan. Lisäilmalla tasapainopitoisuudeksi saatiin 643 ppm, joka jäi myös alle 750 ppm rajan. Päivystyssalin arvioitiin täyttävän sisäilmastoluokituksen tason S1 hiilidioksidipitoisuuden osalta. Oulun päivystyssalin ilmanlaatu arvioitiin täydelläkin miehityksellä erittäin hyväksi. Taukotilan ja salin välisten ovien aukipitäminen ja lisäilman sekoittuminen kiertoon paransi laskelmien mukaan ilman laatua.

#### 4.1.4 Porin päivystyssali

Porin päivystyssalin laskennallisina lähtötietoina olivat pinta-ala 237 m<sup>2</sup>, tilavuus 1540 m<sup>3</sup>, päivystäjän työpisteitä 19 kpl ja tuloilman määrä 250 l/s sekä salin taukotilan kautta mahdollisesti saatavan lisäilman määrä 80 l/s, eli yhteensä 330 l/s. Lähtötiedoilla laskettiin ilmanvaihtuvuudeksi 0,58 1/h ja lisäilmalla 0,77 1/h sekä ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$ , 1 h 43 min ja lisäilmalla 1 h 18 min. Yhden henkilön hiilidioksidin tuoton arvona käytettiin aiemmin laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s arvoa. Lähtötiedoilla laskettiin ja piirrettiin kuvaaja henkilömäärän vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuden tasapainoarvoon, joka on esitetty kuvassa, Kuva 11. Porin päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

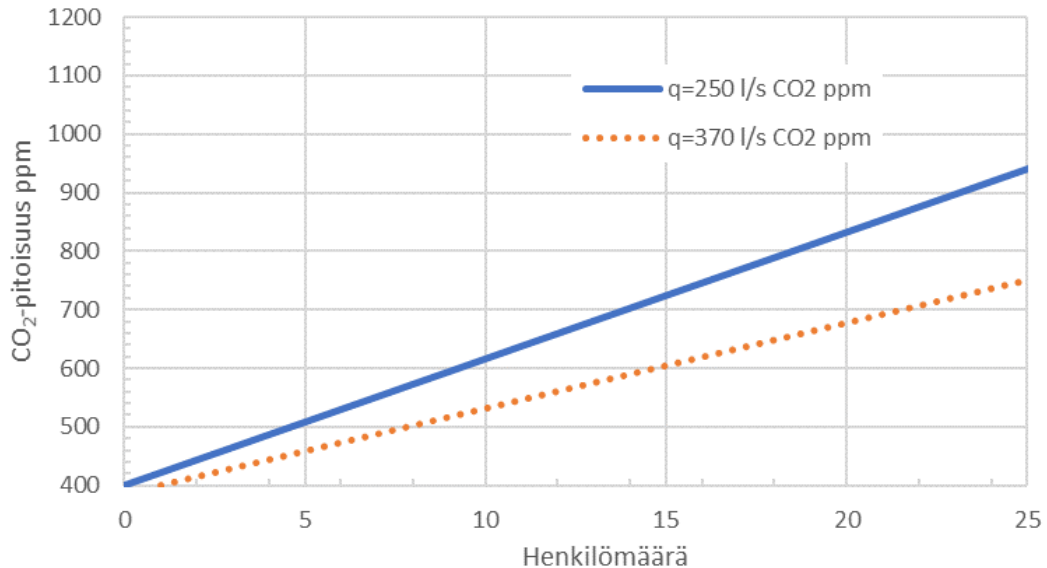


Kuva 11. Porin päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

Havaittiin, että Porin päivystyssalin hiilidioksidipitoisuus täyttää sisäilmastoluokituksen tason S2, koska täydellä 19 hengen kuormituksella laskennallinen pitoisuus 810 ppm jää alle 950 ppm rajan. Vastaavasti lisäilmalla tasapainopitoisuudeksi saatiin 711 ppm, joka jäi alle 750 ppm rajan, jolloin taukotilan lisäilmalla päivystyssalin arvioitiin täyttävän hiilidioksidipitoisuuden osalta jopa sisäilmastoluokituksen tason S1. Porin päivystyssalin ilmanlaatu arvioitiin hyväksi täydellä miehityksellä. Normaali miehityksillä ilman laatu todettiin erittäin hyväksi. Taukotilan ja salin välisten ovien aukipitäminen ja lisäilman sekoittuminen kiertoan paransi laskelmien mukaan ilman laatua.

#### 4.1.5 Turun päivystyssali

Turun päivystyssalin laskennallisina lähtötietoina olivat pinta-ala  $340 \text{ m}^2$ , tilavuus  $2010 \text{ m}^3$ , päivystäjän työpisteitä 24 kpl ja tuloilman määrä  $250 \text{ l/s}$  sekä salin taukotilan kautta mahdollisesti saatavan lisäilman määrä  $120 \text{ l/s}$  eli yhteensä  $370 \text{ l/s}$ . Lähtötiedoilla laskettiin ilmanvaihtuvuudeksi  $0,45 \text{ 1/h}$  ja lisäilmalla  $0,66 \text{ 1/h}$  sekä ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$ ,  $2 \text{ h } 14 \text{ min}$  ja lisäilmalla  $1 \text{ h } 31 \text{ min}$ . Yhden henkilön hiilidioksidin tuoton arvona käytettiin aiemmin laskettua keskimääräistä  $5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$  arvoa. Lähtötiedoilla laskettiin ja piirrettiin kuvaaja henkilömäärän vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuden tasapainoarvoon, joka on esitetty kuvassa, Kuva 12. Turun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

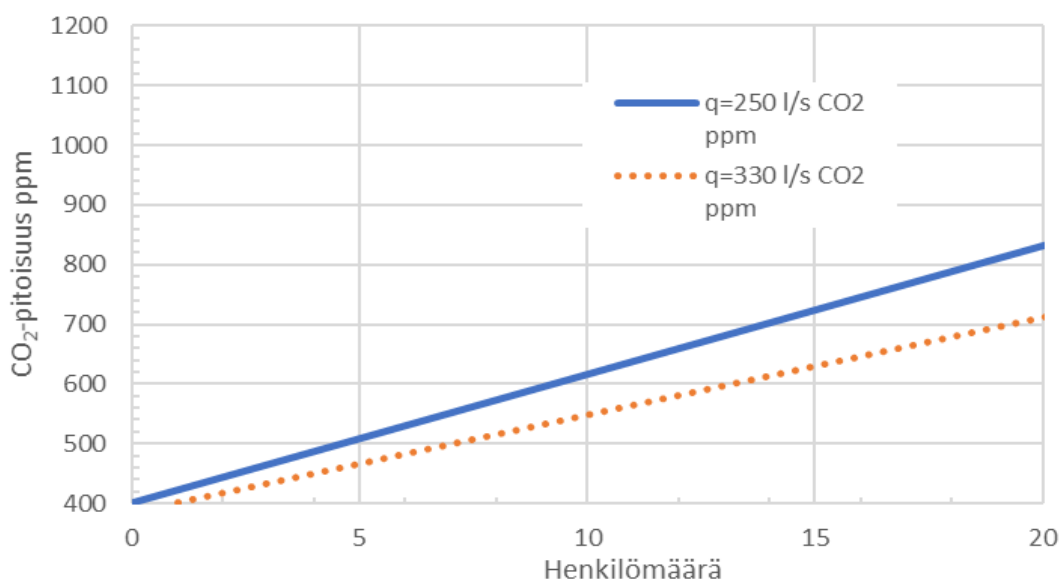


Kuva 12. Turun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

Havaittiin, että Turun päivystyssalin hiilidioksidipitoisuus täyttää sisäilmastoluokituksen tason S2, koska jopa täydellä 24 hengen kuormituksella laskennallinen pitoisuus  $918 \text{ ppm}$  jää alle  $950 \text{ ppm}$  rajan. Vastaavasti lisäilmalla tasapainopitoisuudeksi saatiin  $750 \text{ ppm}$ , joka on juuri  $750 \text{ ppm}$  rajalla, jolloin taukotilan lisäilmalla päivystyssalin arvioitiin täyttävän käytännössä sisäilmastoluokituksen tason S1 hiilidioksidipitoisuuden osalta. Turun päivystyssalin ilmanlaatu arvioitiin hyväksi täydelläkin miehityksellä. Normaali miehityksillä ilman laatu todettiin erittäin hyväksi. Taukotilan ja salin välisten ovien auki pitäminen ja lisäilman sekoittuminen kiertoon paransi laskelmien mukaan ilman laatua.

#### 4.1.6 Vaasan päivystyssali

Vaasan päivystyssalin laskennallisina lähtötietoina olivat pinta-ala 237 m<sup>2</sup>, tilavuus 1540 m<sup>3</sup>, päivystäjän työpisteitä 19 kpl ja tuloilman määrä 250 l/s sekä salin taukotilan kautta mahdollisesti saatavan lisäilman määrä 80 l/s eli yhteensä 330 l/s. Lähtötiedoilla laskettiin ilmanvaihtuvuudeksi 0,58 1/h ja lisäilmalla 0,77 sekä ilmanvaihdon aikavakioksi  $\tau$ , 1 h 43 min ja lisäilmalla 1 h 18 min. Yhden henkilön hiilidioksidin tuoton arvona käytettiin aiemmin laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s arvoa. Lähtötiedoilla laskettiin ja piirrettiin kuvaaja henkilömäärän vaikutuksesta hiilidioksidipitoisuuden tasapainoarvoon, joka on esitetty kuvassa, Kuva 13. Vaasan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.



Kuva 13. Vaasan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuudet eri henkilömäärillä.

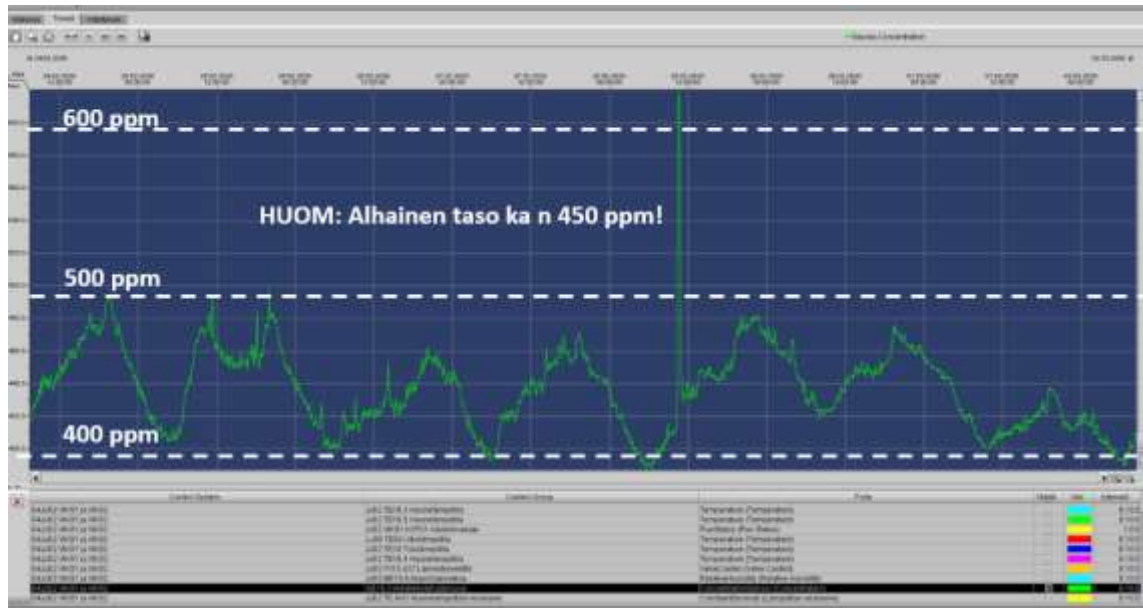
Havaittiin, että Vaasan päivystyssalin hiilidioksidipitoisuus täyttää jopa täydellä 19 hengen kuormituksella sisäilmastoluokituksen tason S2, koska laskennallinen pitoisuus 810 ppm jää alle 950 ppm rajan. Vastaavasti lisäilmalla tasapainopitoisuudeksi saatiin 711 ppm, joka jäi alle 750 ppm rajan, jolloin taukotilan lisäilmalla päivystyssalin arvioitiin täyttävän hiilidioksidipitoisuuden osalta jopa sisäilmastoluokituksen tason S1. Vaasan päivystyssalin ilmanlaatu arvioitiin hyväksi täydelläkin miehityksellä. Normaali miehityksillä ilman laatu todettiin erittäin hyväksi. Taukotilan ja salin välisten ovien aukipitäminen ja lisäilman sekoittuminen kiertoan paransi laskelmien mukaan ilman laatua.

## 4.2 Hiilidioksidipitoisuuksien todentaminen mittauksilla

Koska tiedettiin, että kaikkien hätäkeskusten ilmamäärät on mitoitettu samojen laskentaperiaatteiden mukaisesti, otettiin esimerkkikohteeksi keskikokoinen hätäkeskuksen päivystyssali. Kohteeksi valikoitui Turun hätäkeskus. Turun valintaa puolsi lisäksi myös se, että kyseistä kohteesta oli saatavilla hiilidioksidipitoisuuden mittaustietoa myös kiinteistöautomaatiojärjestelmästä. Hiilidioksidipitoisuuden mittausjaksoksi vallittiin aikaväli 24.2.2020 kello 8:00 ja 2.3.2020 kello 8:00. Jakso määräytyi sen mukaan, milloin laitteet olivat mahdollista saada lainaksi, sekä sen mukaan, milloin asentaminen oli mahdollista. Mittausten lisäksi samalta mittausjaksolta selvitettiin myös kiinteistöautomaation mittamat pitoisuudet, sekä salin todelliset toteutuneet henkilömäärät, joiden perusteella laskettiin mallinnus hiilidioksidipitoisuuden muutoksista. Päivystyssalien ilmastointi on toteutettu varmistetuilla vakioilmastointijärjestelmillä. Vakioilmastointijärjestelmän tarkoituksena on salin sisäilman täydellinen sekoittuminen ja pitoisuuksien ja lämpötilojen taasaaminen. Turun salin ilmastointijärjestelmän piirustuksista todettiin sisäilmaa kierrätettävän suunnitelmien mukaan 3750 l/s, ja tuloilman määräksi todettiin 250 l/s.

### 4.2.1 Kiinteistöautomaatiojärjestelmästä saatu mittaustrendi

Turun hätäkeskuksen kiinteistöautomaatiojärjestelmästä tallennettiin päivystyssalin hiilidioksidi mittaustrendi, eli kuvaaja aikaväliltä 24.2.2020 kello 7:30 ja 2.3.2020 kello 8:30. Kuvaaja on esitetty kuvassa, Kuva 14. Kiinteistöautomaatiosta saatu mittaustieto.



Kuva 14. Kiinteistöautomaatiosta saatu mittaustieto.

Työn aikana havainnoitiin kiinteistöautomaatiosta saadun hiilidioksidipitoisuuden melko alhainen keskimääräinen taso, jonka vuoksi oli suoritettu jo aikaisemmin 11.12.2019 kello 10:30 tarkistusmittaus kalibroidulla mittalaitteella, DeltaOHM HD 21ABE17, jolla oli saatu mittausarvoksi 15 minuutin mittausjaksolla vakaa 575 ppm, ja vastaavasti kiinteistöautomaatiosta arvo vastaavalla ajalla oli 453 ppm. Kiinteistöautomaatiosta saadun hiilidioksidipitoisuuden mittaustiedon arvioitiin siten olevan noin 100 ppm liian alhainen.

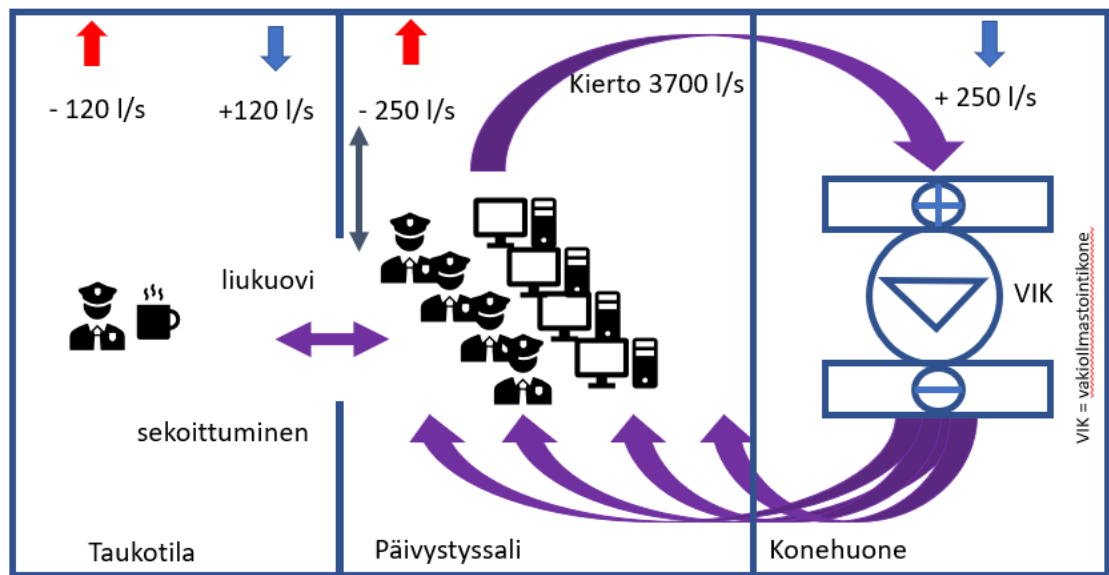
#### 4.2.2 Mittalaittein mitatut pitoisuudet

Koska arvioitiin, ettei luotettavaa mittaustulosta ollut kiinteistöautomaatiosta saatavilla, päädyttiin suorittamaan esimerkkikohteen vertailumittaus. Mittausjaksoksi vallittiin aikaväli 24.2.202 kello 8:00 ja 2.3.2020 kello 8:00. Mittarien tyyppi oli *WÖHLER CDL 210 CO2-DATALOGGER*, jonka datalehti on liitteenä 2. Mittarit ja niiden tilapäisasennus on esitetty kuvassa, Kuva 15. Mittalaitteet asennuskohteessa.



Kuva 15. Mittalaitteet asennuskohteessa.

Vakioilmastointikonehuone on osa salin ilmatilaa. Tilan arvioitiin kiertoilman ja täydellisen sekoittumisen vuoksi soveltuvan hyvin salin pitoisuuden mittauspaijaksi. Periaatekuva järjestelmästä on esitetty kuvassa, Kuva 16. Päivystyssalin vakioilmastoinnin periaate. Salin ilmaa kierrätetään suurella ilmamäärällä n.  $3,7\text{m}^3/\text{s}$  vakioilmastointikoneiden läpi. Salin tuloilma  $+250\text{ l/s}$  tuodaan ilmankiertoon vakioilmastointikonehuoneeseen. Salista poistetaan ilmaa  $-250\text{ l/s}$ . Salin taukotilaan tuodaan  $+120\text{ l/s}$  ja sieltä poistetaan  $-120\text{ l/s}$ .



Kuva 16. Päivystyssalin vakioilmastoinnin periaate.

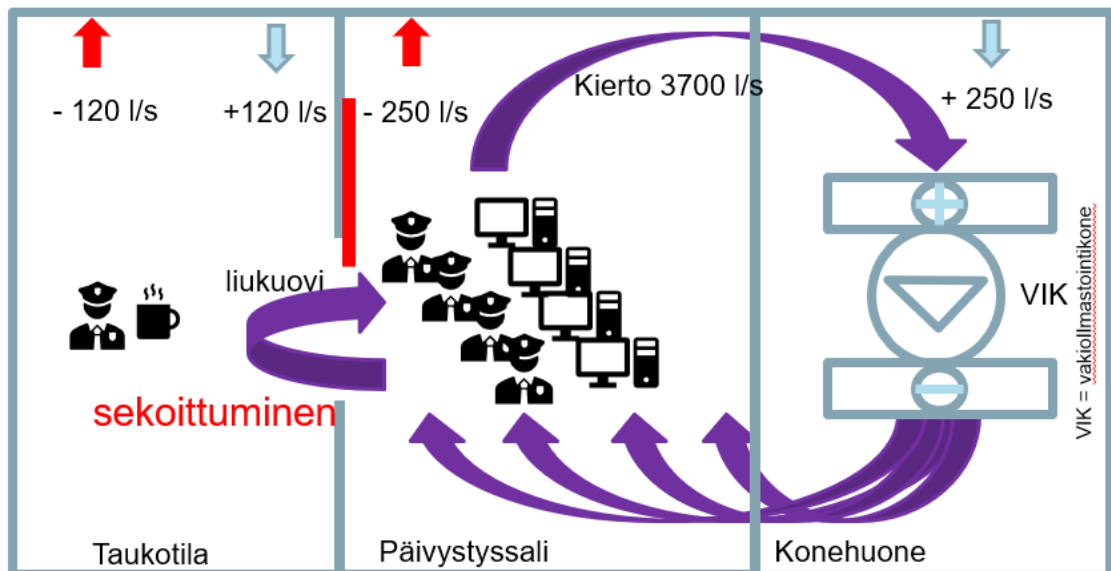
Mittalaitteet sijoitettiin tuntemattomina tietoteknisinä laitteina päivystyssalin sijaan vakioilmastointikonehuoneeseen, josta ei ole näkö- ja kuuloyhteyttä päivystystilaan. Mittalaitteet sijoitettiin salista tulevan kiertoilman eteen siten, ettei vakioilmastointikoneiden päältä ilmankiertoon tuotava puhdas tuloilma vääristäisi mittaustuloksia. Asennuspaikka on esitetty kuvassa, Kuva 17. Mittalaitteiden asennuspaikka.



Kuva 17. Mittalaitteiden asennuspaikka.



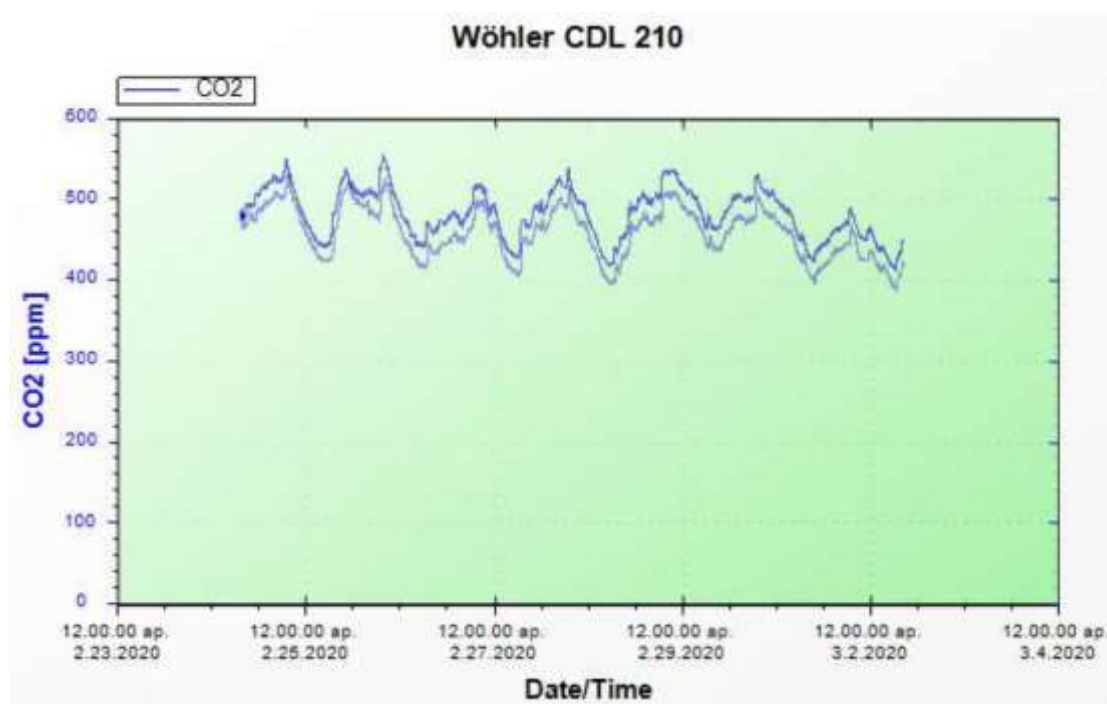
Konehuoneeseen asennettiin tilapäisesti kannettava tietokone, johon asennettiin Wöhlerin CDL Series PC INT 1.2.8 -ohjelma. Työasema liitettiin usb-liitännällä toiseen mittalaitteeseen. Työasema otettiin etähallintaan havainnoinnin mahdollistamiseksi konehuoneen ulkopuolelta. Seurannassa havaittiin, 24.2.2020 noin kello 11:00, hiilidioksidipitoisuuden selkeä nousu. Saman aikaisesti havaittiin kahden henkilön siirtyminen salin yhteydessä olevaan taukotilaan, sekä taukotilan ja salin välisen liukuoven sulkeminen. Henkilöiden vähenemisen olisi teoriassa pitänyt laskea pitoisuutta. Vastaavasti myöhemmin henkilöiden palaaminen taotuksen jälkeen saliin ja oven avaaminen laski hiilidioksidipitoisuutta. Sama havainto toistui muutaman kerran havaintopäivän aikana. Tarkkoja muutoksien mittaustuloksia ei havainnoinnin lisäksi tehty, mutta oli havaittavissa kuvaajasta kyseisen päivän kohdalta. Yhden henkilön poistumisella ja tulemisella salista muualle ei havaittu selkeitä pitoisuuden muutoksia. Koska muita muutoksia ilmamäärissä tai henkilömäärissä ei ollut, arvioitiin syyksi se, ettei taukotilan tuloilma +120 l/s enää sekoittunut oven sulkemisen jälkeen päivystyssalin tuloilmaan +250 l/s, ja lisännyt salin tuloilman kokonaismäärää. Tulos arvioitiin saman suuntaiseksi Lassilan tutkimusten havaintojen kanssa. (Lassila, 2014 s. 167).



Kuva 18. Taukotilan ilman sekoittuminen.

Mittausjakson jälkeen mittalaitteiden keräämä data purettiin sekä ajettiin ohjelmasta mittausraportit. Analysointorien lukemat olivat hyvin yhteneviä pientä hajontaa lukuunottamatta. Kuvaajat on esitetty yhdistetyssä kuvassa, Kuva 19. Mittalaitteilla mitatut

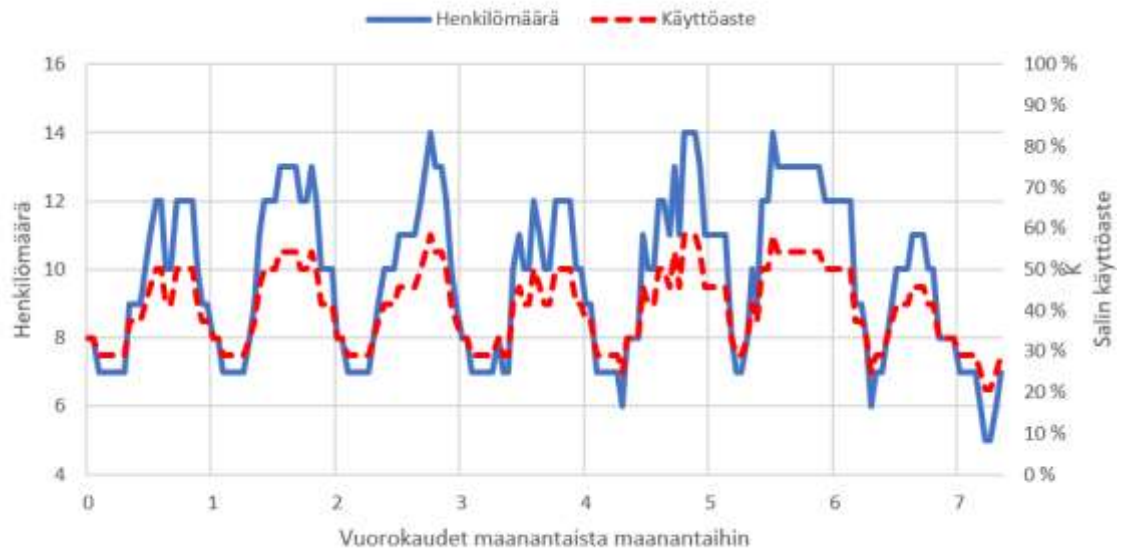
pitoisuudet. Kuva laadittiin laittamalla raporttien kuvat graafisesti päällekkäin. Molempien mittalaitteiden ohjelmasta saadut mittauspöytäkirjat ovat liitteessä 1.



Kuva 19. Mittalaitteilla mitatut pitoisuudet.

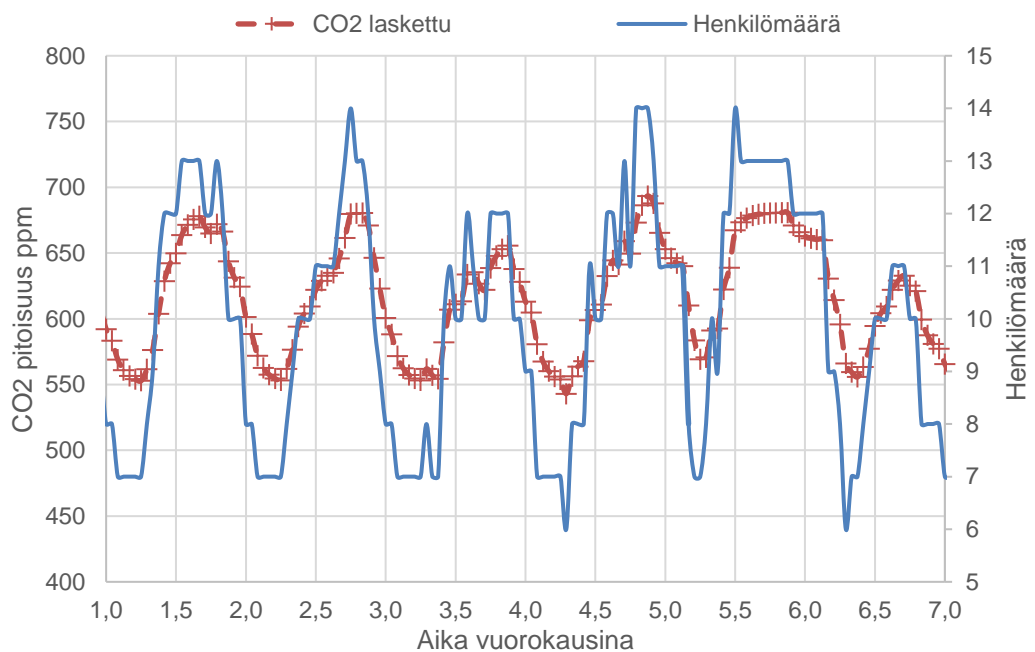
#### 4.3 Vuorovahvuuden muutosten vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen

Hiilidioksidipitoisuuksien mittausjakso oli 24.2.2020 kello 07:30 ja 2.3.2020 kello 08:30 välisenä aikana. Mittausjaksosta päätettiin tehdä mallinnus todellisten henkilömäärien muutosten perusteella. Jotta mallinnus voitiin tehdä, eli arvioida laskennallisesti henkilömäärän vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen mittausjakson aikana, hankittiin mittausjaksolta todelliset vuorovahvuudet. Tiedot saatiin ajanhallintasovelluksesta toteutuneiden todellisten salissa tehtyjen työtuntien mukaan (Talka, 2020). Toteutuneet henkilömäärät on esitetty kuvassa Kuva 20. Mittausjakson henkilömäärät ja käyttöaste. Käyttöasteella tässä tarkoitetaan salissa tarkasteluhetkellä olleiden henkilöiden lukumäärän suhdetta enimmäishenkilömäärään prosentteina.



Kuva 20. Mittausjakson henkilömäärät ja käyttöaste.

Henkilömäärän muutosten perustella mallinettiin taulukkolaskennalla mittausjakson hiilidioksidipitoisuudet. Tuloilmavirran arvo oli 250 l/s ja tilavuuden 3010 m<sup>3</sup>. Ihmisen hiilidioksidintuoton määränä laskemassa käytettiin aiemmin laskettua keskimääräistä 5,4 cm<sup>3</sup>/s arvoa. Kuvassa, Kuva 21. Vuorovahvuuden muutosten vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen., on esitetty mallinnus.



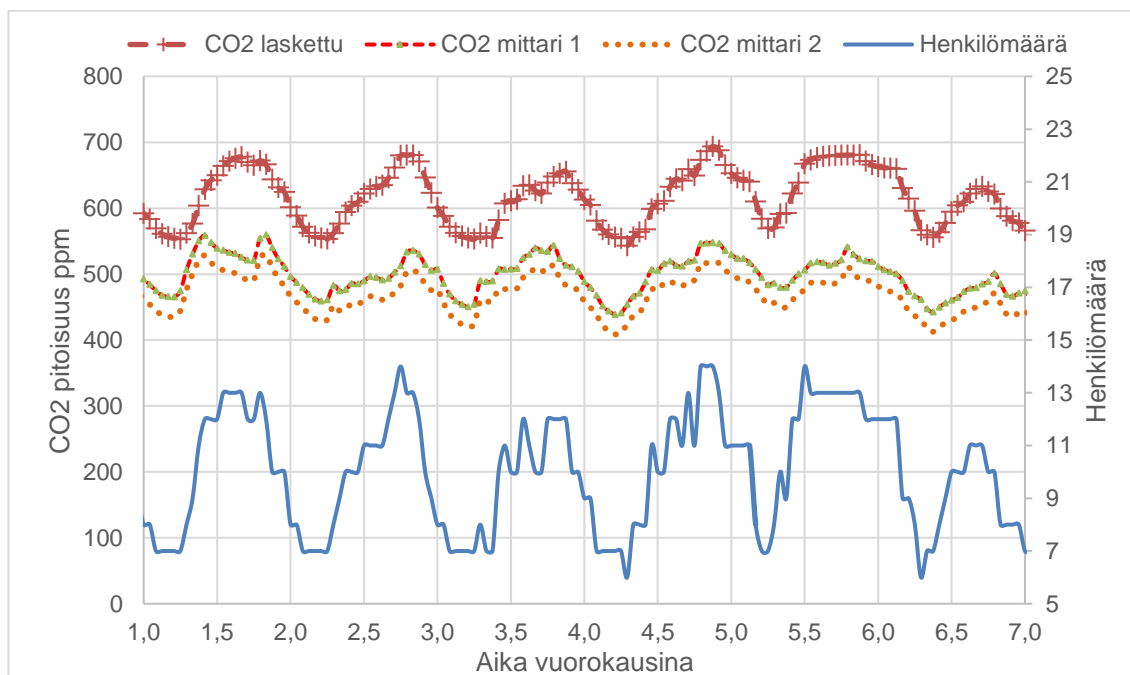
Kuva 21. Vuorovahvuuden muutosten vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen.

Tuloksista havaittiin hiilidioksidipitoisuuden mukailevan pienellä viiveellä henkilömäärän kuvaajaa, koska huoneen tilavuus vaikuttaa ilmanvaihdon aikavakioon eli edelleen muutoksenopeuteen. Mitä suurempi on huoneen tilavuus, sitä hitaammin muutos tapahtuu.

Tarkasteltiin kuvaajasta esimerkkinä kohtia, joissa vuorovahvuus on ollut 14 henkilöä. 14 henkilön tasapainopitoisuudeksi laskettiin 702 ppm. Ilmanvaihdon aikavakio  $\tau$ , oli 2 h 14min, ja laskettiin 3 kertaa aikavakio  $\tau$ , ja saatiin ajaksi 6 h 42 min. Tämän ajan kuluttua on jo 95% muutoksesta, eli lähes koko muutos. Tämä havaittiin niissä kohdin kuvaajaa siten, että kohdat, joissa 14 henkilön maksimi oli kestänyt pidempään, kuin mainittu 3 kertaa aikavakio, oli kuvaajan tangentin kulmakerroin jo hyvin pieni, ja oli jo saavutettu melkein 702 ppm tasapainopitoisuus.

## 5 LASKENTATULOSTEN JA MITTAUSTEN VERTAILU

Kun samaan kuvaan yhdistetään sekä mittausjakson laskennallinen tarkastelu henkilö-  
määrien vaikutuksista, että saadut mittaustulokset, voidaan arvioida niiden yhteneväi-  
syyttä ja eroavaisuuksia, sekä esittää mahdollisia arvioita syistä eroihin. Kuvassa Kuva  
22. Lasketun ja mittausten vertailu on esitetty tulokset vertailemiseksi.

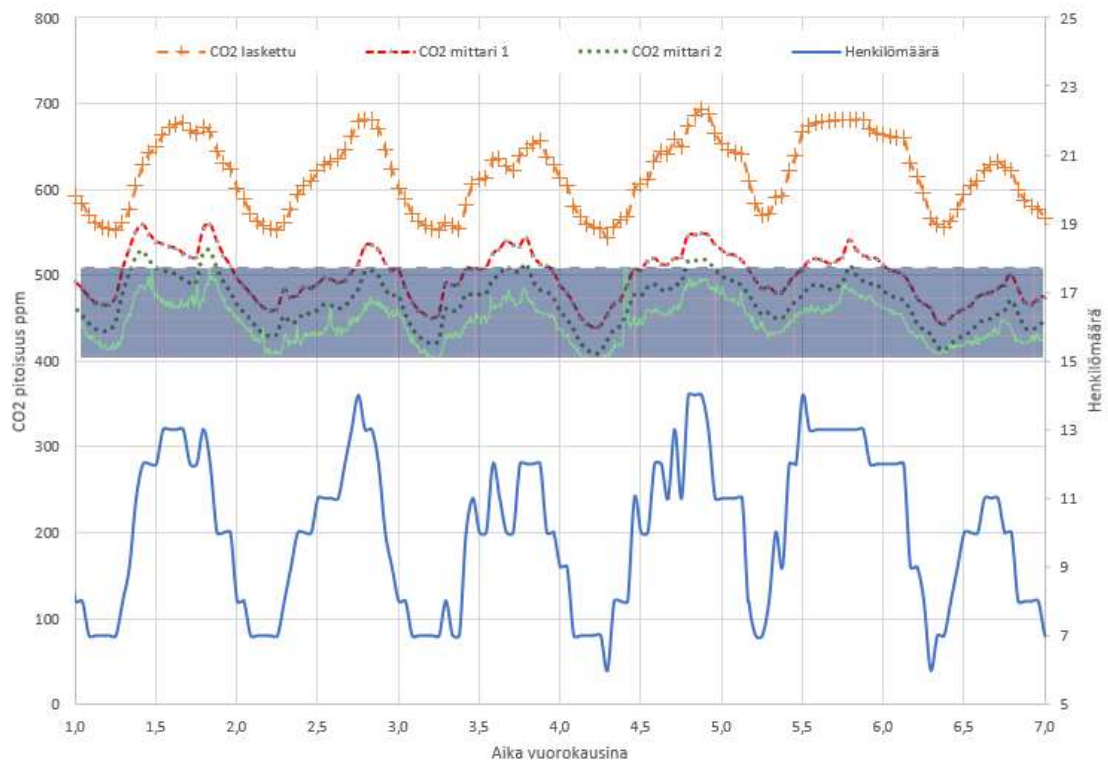


Kuva 22. Lasketun ja mittausten vertailu

Kuvasta on havaittavissa kahdella eri mittalaitteella tehtyjen mittaustulosten yhteneväi-  
syyttä. Pienet erot selittynevät laitteiden mittaustarkkuudella sekä kalibroinnilla. Havai-  
taan, että laskennallinen kuvaaja on muodoltaan yhtenevä mittausten kanssa, mutta sen  
arvot ovat noin 100 ppm korkeammalla tasolla kuin mitattu pitoisuus. Tähän voisi teori-  
assa olla syynä kyseisen huoneen puhtaan tuloilman huomattavasti suunniteltua suu-  
rempi määrä, mutta tätä ei pidetty kovinkaan todennäköisenä, koska huollon tarkistus-  
mittauksissa ei merkittäviä poikkeamia ole havaittu. Mitattujen tulosten alhaisempaan  
tasoon verrattuna kaavoilla laskettuihin pitoisuuksiin, yhdeksi mahdolliseksi syyksi arvi-  
oitiin muista tiloista tai ulkoa vuotavaa ylimääräistä tuloilmaa. Salin, ja se yhteydessä  
olevan taukotilan välisen tiivistämättömän liukuoven vuotoilman määrä sekä ajoittainen  
auki oleminen, voisi olla merkittävin syy mitatun hiilidioksiditason laskentaa alhaisem-  
paan tulokseen. Salin tuloilman määrä on 250 l/s ja taukotilan 120 l/s, joten sen

sekoittuminen salin ilmaan laskee salin hiilidioksidipitoisuutta huomattavasti. Myös yhden henkilön tuottama laskennallinen keskimääräinen hiilidioksidin määrä  $5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$ , voi olla hieman liian korkea. Tähän voidaan arvioida syyksi sitä, että vaikka hätäkeskuspäivystäjän työ on henkisesti erittäin kuormittavaa, on työn fyysinen intensiteetti jopa normaalia toimistotyötä alhaisempi. Työ on sidottu hyvin kiinteästi päivystäjän työpisteeseen. Myös henkilöiden tauottaminen muissa tiloissa vähentää salin hiilidioksidikuormitusta.

Vertailtaessa mittaustuloksia kiinteistöautomaatiosta saatuihin tuloksiin, on kuvaajissa havaittavissa selvä yhdenmuotoisuus. Kiinteistöautomaation virheeksi oli aikaisemmin tarkistusmittauksissa todettu sen olevan noin  $-100 \text{ ppm}$ , eli näyttäen liian alhaista lukemaa. Mittausjakson aikana tehtyjen ja kiinteistöautomaation mittaustulosten eroissa ei kuitenkaan ole havaittavissa niin suurta tasoeroa, vaan kuvaajien perustella virhe olisi alle  $-40 \text{ ppm}$  ja  $-50 \text{ ppm}$  välillä. Kuvassa Kuva 23. Kiinteistöautomaation ja tehtyjen mittausten ero, on yhdistetty graafisesti kiinteistöautomaation arvo, näkyen harmaalla pohjalla vihreällä kuvaajalla.



Kuva 23. Kiinteistöautomaation ja tehtyjen mittausten ero.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn mittausten ja laskelmien perusteella tehtiin johtopäätös, että laskennallinen hiilidioksiditasapainopitoisuuksien todentaminen, on riittävä menetelmä hiilidioksidin enimmäispitoisuuksien arviointiin. Myös hiilidioksiditasapainopitoisuuksien laskenta pelkääntään enimmäishenkilömäärällä on riittävä nykyisen mitoitusperiaatteen mukaisilla päivystysalien ilmanvaihtokertoimilla ja aikavakioilla. Lisäksi todettiin, että hätäkeskuspäivystäjien työn osalta voidaan käyttää keskimääräisenä henkilön tuottaman hiilidioksidin laskennallisena määränä  $5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$ , vaikka mittausten perusteella tämä arvo on hieman liian korkea, koska tällöin saadaan riittävän turvallinen marginaali pitoisuuden arviointiin.

Johtopäätöksenä myös todettiin, että hätäkeskusten ilmamäärä on riittävä nykyisiin henkilömääriin. Yhdessäkään kohteessa ei ylitetä suosituksia tai määräyksiä täydellään henkilömäärällä. Normaaleilla henkilömäärillä, eli käyttöasteilla, ilman laatu on aina erittäin hyvä. Lisäksi voidaan todeta se, että esimerkkikohteen mittauksilla saadut pitoisuudet olivat selvästi laskettuja alhaisempia, jolloin todelliset hiilidioksidipitoisuudet muissakin kohteissa ovat todennäköisesti laskettua alhaisempi. Tämän perusteella voisi jopa todeta, että kaikkien kohteiden ilman laatu on todellisuudessa kaikilla miehityksasteilla erittäin hyvä.

Hätäkeskusten osalta voidaan antaa erillinen suositus henkilömääristä ilmanlaatuun suhteutettuna ja suunniteltaessa ennakkoon salien käyttöasteeseen liittyviä muutoksia ja kuormitustilanteita. Päivystysalien yhteydessä olevien taukotilojen ilmanvaihtoa voidaan varauksin hyödyntää välioven auki pitämisellä tilanteissa, joissa on maksimi henkilömäärä käytössä. Keravan yhteydessä ei salin erillistä taukotilaa ole, mutta sen ilmanvaihto on monin kertainen muihin nähden, eikä ilmamäärän lisäämiseen ole missään tilanteessa edes tarvetta.

Kiinteistön ylläpidon osalta tulee varmistaa tarvittavat huoltotoimet ja kunnossapito niin, ettei tuloilman määrä vähene ja heikennä tilannetta. Päivystysalit olisi siksi hyvä varustaa erillisellä kiinteistöautomaatiosta riippumattomalla sisäilman seurantajärjestelmällä, joka mahdollistaisi seurannan huollon puutteiden ja vikojen havaitsemiseksi.

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää hätäkeskusten ilmamäärän riittävyyttä nykyiselle henkilömäärälle, ja tarvittaessa kohteittain arvioida henkilömäärille tavoiterajat, sekä antaa sanallinen arvio ilman riittävyydestä tulosten perusteella. Ilmamäärien riittävyyteen arvioinnissa perustana käytettiin hiilidioksidipitoisuutta, koska se on korkeina pitoisuuksina vaarallinen ihmiselle, ja lisäksi se korreloi hyvin huoneilmassa oleviin ihmisten tuottamiin päästöihin ja epäpuhtauksiin.

Menetelmänä käytettiin hätäkeskusten ilmamäärän laskennallista mallintamista kerättävien kohteen lähtötietojen ja teorian avulla. Laskentatulosten perusteella arvioitiin ilmanvaihdon riittävyyttä. Valittiin esimerkkikohte, jonka hiilidioksidipitoisuus mitattiin viikon mittausjaksolta. Samalta ajalta hankittiin kiinteistöautomaation mittaustiedot. Mittausjakson ajalta selvitettiin lisäksi todelliset toteutuneet henkilömäärät, jonka perusteella mallinnettiin hiilidioksidipitoisuuden muutokset. Mittaustuloksia verrattiin laskennallisesti mallinnettuihin tuloksiin mallinnuksen soveltuvuuden ja käyttökelpoisuuden varmistamiseksi. Päivystyssalien ilmanvaihdon riittävyydestä annettiin sanallinen arvio hiilidioksiditasojen, henkilömäärien ja sisäilmastoa koskevien suositusten perusteella.

Lähtötietojen saaminen osoittautui haastavaksi mm. piirustusten salassapito vaatimusten vuoksi. Esimerkkikohteen hiilidioksidipitoisuuden mittaaminen osoittautui myös haastavaksi, koska mittauksen suorittaminen tietoturvallisesti salitilassa, mihin ei saa asentaa hyväksymättömiä tietoteknisiä laitteita, vaati pohtimaan tietoturvallisesti hyväksyttävän ratkaisun. Ratkaisuksi valittiin mittalaitteiden sijoittaminen konehuoneeseen, joka on kiertoilman vuoksi osa salin ilmatilaa. Myös mittalaitteiden saaminen lainaksi osoittautui haastavaksi. Mittaus onnistui suunnitellusti.

Kiinteistöautomaatiojärjestelmästä saatiin hiilidioksidipitoisuuden mittaustulokset samalta mittausjaksolta vain kuvaajana, eikä toivottuna datana. Tähän oli syynä kiinteistöautomaation vanha ohjelmistoversio. Todellinen henkilömäärien toteumataulukko mittausjaksolta saatiin paperilla, ja tiedot oli syötettävä taulukkolaskentaa käsin, mutta siihen käytetty työmäärä oli vain joitain tunteja.

Mittaus-, laskenta- ja mallinnustuloksia vertailtiin keskenään. Osa vertailusta tehtiin graafisesti kuvaajia vertaamalla, koska osa tiedoista oli käytettävissä ainoastaan kuvana. Tällä menetelmällä saatiin kuitenkin riittävä tarkkuus vertailua varten. Kun samaan



kuvaan yhdistettiin sekä mittausjakson laskennallinen tarkastelu henkilömäärien vaikutuksesta pitoisuuksiin, että mittaustulokset, voitiin arvioida niiden yhteneväisyyttä, eroavaisuuksia, sekä esittää mahdollisia arvioita syistä eroihin. Mittalaitteiden arvojen eroihin arveltiin syyksi laitteiden mittaustarkkuuden sekä kalibrointierot tai -virheet. Todettiin, että laskennallinen kuvaaja oli muodoltaan yhtenevä mittausten kanssa, vaikka lasketut arvot olivat hieman mitattuja pitoisuuksia korkeammalla tasolla. Tähän arveltiin mahdollisena syynä sitä, että kyseisen huoneen tuloilman määrä olisi huomattavasti suunniteltua suurempi, mutta tätä ei pidetty kuitenkaan todennäköisenä, koska huollon tarkistusmittauksissa ei merkittäviä poikkeamia ollut havaittu. Todennäköisemmäksi syyksi arveltiin muista tiloista tai ulkoa vuotavaa ylimääräistä tuloilmaa. Salin ja se yhteydessä olevan taukotilan ja salin välisen tiivistämättömän liukuoven aiheuttaman vuotoilman määrää sekä ajoittaista aukioloa, arveltiin mahdolliseksi yhdeksi syyksi mitatun hiilidioksiditason laskentaa alhaisempaan tulokseen.

Voidaan myös arvioida, että laskukaavoilla saatu henkilön tuottaman keskimääräinen hiilidioksidin määrä, voi olla hieman liian korkea. Vaikka päivystäjän työ on henkisesti hyvin kuormittavaa, voi fyysinen intensiteetti olla jopa normaalia toimistotyötä alhaisempi, koska työ on sidottu niin kiinteästi päivystäjän työpisteeseen. Myös henkilöiden tauottamista muissa tiloissa arveltiin vähentävän salin hiilidioksidikuormitusta.

Työn tutkimusosio ei ehkä laajuuden osalta täytä tieteellisen tutkimuksen vaatimuksia, mutta opinnäytetyön tekijän mielestä se oli tarkoitukseensa riittävä. Mittaustulosten hajoitus osoitti kirjoittajan mielestä sen, että mittaukseen käytettävien mittalaitteiden tarkkuus voisi olla parempi, mutta kalliiden mittalaitteiden saatavuus lainaan tai käyttöön on haastavaa. Työssä käytettyjen mittalaitteiden tarkkuutta pidettiin riittävänä pitoisuustasojen arviointiin.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin teoriaan ja mittauksiin perustuva arvio hätäkeskusten päivystyssalien ilmamäärien riittävydestä sekä laadusta. Hiilidioksidipitoisuuden mallinnus taulukkolaskennalla syötettyjen lähtötietojen ja henkilömäärien avulla osoittautui työn tekijän omasta mielestä onnistuneeksi, koska yhteneväisyys oli tunnistettavissa mittaustuloksiin.

Arvioitiin, että laskennallinen hiilidioksiditasapainopitoisuuksien todentaminen on riittävä menetelmä hiilidioksidin enimmäispitoisuuksien arviointiin. Hiilidioksiditasapainopitoisuuksien laskenta pelkästään enimmäishenkilömäärällä on riittävä nykyisen mitoitusperiaatteen mukaisilla päivystyssalien ilmanvaihtokertoimilla ja aikavakioilla.

Hätäkeskuspäivystäjien työn osalta voidaan käyttää keskimääräisenä henkilön tuottaman hiilidioksidin laskennallisena määränä 5,4 cm<sup>3</sup>/s, joka antaa riittävän turvallisen marginaalin pitoisuuden arviointiin.

Hätäkeskuksien ilmamäärän arvioitiin olevan riittävä myös nykyisiin pöytämaarista johduttuihin päivystäjien enimmäismääriin, eikä yhdessäkään kohteessa ylitetä suosituksia tai määräyksiä missään tilanteessa. Normaleilla käyttöasteilla ilmanlaatu on myös hyvä tai erittäin hyvä. Lisäksi voidaan todeta se, että mittauksilla saadut pitoisuudet olivat selvästi laskettuja alhaisempia, jolloin todelliset hiilidioksidipitoisuudet muissakin kohteissa ovat todennäköisesti laskettua alhaisempia, ja ilmalaatu siten erittäin hyvä.

Hätäkeskusten osalta voidaan tarvittaessa antaa tämän opinnäytetyön pohjalta erillinen suositus henkilömäärästä ilmanlaatuun suhteutettuna ja suunniteltaessa ennakkoon salien käyttöasteeseen liittyviä muutoksia ja kuormitustilanteita. Päivystyssalien yhteydessä olevien taukotilojen ilmanvaihtoa voidaan varauksin hyödyntää välioventin auki pitämisellä tilanteissa, joissa on maksimi henkilömäärä käytössä. Keravan yhteydessä ei salin erillistä taukotilaa ole, mutta sen ilmanvaihto on moninkertainen muihin nähden, eikä ilmamäärän lisäämiseen ole missään tilanteessa edes tarvetta.

Kiinteistön ylläpidon osalta tulee varmistaa tarvittavat huoltotoimet ja kunnossapito niin, ettei tuloilman määrä vähene ja heikennä tilannetta. Päivystyssalit olisi hyvä varustaa erillisellä kiinteistöautomaatiosta erotetulla sisäilman seurantajärjestelmällä, jotta huollon ongelmat ja viat olisi havaittavissa.

## 8 LÄHDELUETTELO

**Hirsjärvi, Sirkka & Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula. 2009.** *Tutki ja kirjoita*. 21. Helsinki : Tammi, 2009. s. 464. ISBN 978-951-31-4836-2.

**Hätäkeskuslaitos. 2016.** *HAK; Valtion toimitilastrategian toimeenpano Hätäkeskuslaitoksessa 2016-2020 HAK-2016-979*. Pori : Hätäkeskuslaitos, 2016. Osa/vuosik. 2017.

**Hätäkeskuslaki 692/2010.** Laki. *Laki hätäkeskustoiminnasta 20.8.2010/692*. Helsinki : Suomen säädöskokoelma.

**Ilmatieteenlaitos. 2020a.** Kasvihuonekaasujen-pitoisuudet Kumpula. [Online] 2020a. [Viitattu: 27. 2 2020.] <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-pitoisuudet#kumpula>.

**Ilmatieteenlaitos. 2020b.** Kasvihuonekaasujen-pitoisuudet Utö. [Online] 2020b. [Viitattu: 11. 3 2020.] <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kasvihuonekaasujen-pitoisuudet#uto>.

**Julkisuuslaki 621/1999. 1999.** Laki viranomaisten toiminnan julkisuudesta 24.1§ k7 ja 8. s.l. : Suomen säädöskokoelma, 1999.

**Katakri. 2015.** *Katakri 2015, Tietoturvallisuuden arviointityökalu viranomaisille*. Helsinki : Puolustusministeriö, 2015. ISBN: 978-951-25-2682-6.

**Lassila, Ari-Pekka. 2014.** *Sisäilman laadun parantaminen - Olosuhteiden tasaaminen tilojen välillä*. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tampere : s.n., 2014. s. 167, Tutkimus. ISBN 978-952-15-3358-3.

**Poliisi & Oikeus. 2017.** Adrenaliinia aamuyöhön. [Online] 2017. [Viitattu: 11. 3 2020.] [http://www.spjl.fi/files/3063/PO0117\\_PDF-WWW.pdf](http://www.spjl.fi/files/3063/PO0117_PDF-WWW.pdf).

**Rakennustieto Oy. 2018.** *Sisäilmastoluokitus 2018 RT 07-11299*. [toim.] Rakennusteosaatiö RTS. Espoo : Rakennustieto Oy, 2018. RT 07-11299.

**Sandberg, Esa. 2016a.** *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1. 2*. Forssa : Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2016a. s. 415. ISBN 978-952-99770-8-6.

**Sandberg, Esa´. 2016b.** *Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. 2.* Forssa : Talotekniikan-Julkaisut Oy, 2016b. s. 647. ISBN 978-952-99770-9-3.

**Talka, Juha. 2020.** Henkilömäärät salissa Kieku-ajanhallinta raportti 6.3.2020. 2020.

**Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2018.** *Terveys, toimintakyky ja hyvinvointi Suomessa, FinTerveys 2017 tutkimus.* s.l. : Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2018. Tutkimus. ISBN 978-952-343-105-8.

**Tietoturvallisuusasetus 681/2010. 2010.** Asetus. *Valtioneuvoston asetus tietoturvallisuudesta valtionhallinnossa.* s.l. : VN, 2010.

**Valmiuslaki 1552/2011. 2011.** Valmiuslaki 29.12.2011/1552. s.l. : Suomen säädöskokoelma, 2011.

**Valtiovarainministeriö. 2014.** *Valtioneuvoston periaatepäätös valtion toimitilastrategiaksi.* Helsinki : Valtiovarainministeriö, 2014. VM/2544/00.00.02/2014.

**WÖHLER. 2020.** <https://www.woehler-international.com>. [Online] WÖHLER GMB, 2020. [Viitattu: 11. 3 2020.] <https://www.woehler-international.com/shop/products/measuring-instruments/ventilation-and-air-quality/cdl-210-co2-datalogger.html>.

**Ympäristöministeriö 1, YM. 2017.** Asetus 1009/2017 Uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki : Suomen säädöskokoelma, 2017. 1009/2017.

**Ympäristöministeriö 2, YM. 2017.** *Laskentaopas, Tilan ulkoilmavirranmitoitus hiilidioksidi kuormituksen perusteella.* Helsinki : Ympäristöministeriö, 2017.

# Liite Mittauspöytäkirjatulosteet

Measuring Protocol  
Wöhler CDL 210



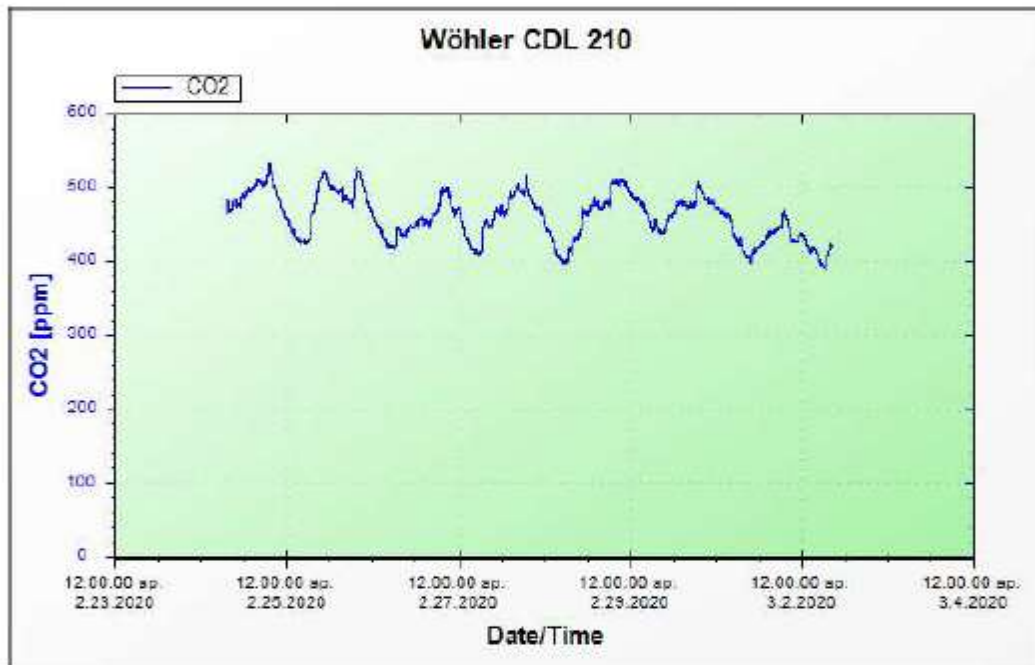
Hätäkeskuslaitos  
Pulstokatu 5 b Turku

0295 480112

hatakeskuslaitos@112.fi  
www.112.fi

## Protocol

CO2 Measurement



CO2 Level: VDI 6022-3



Start time: 24.2.2020 7.27.58

Note:

Stop time: 2.3.2020 8.25.58

Lograte: 120 s

Values: 5070

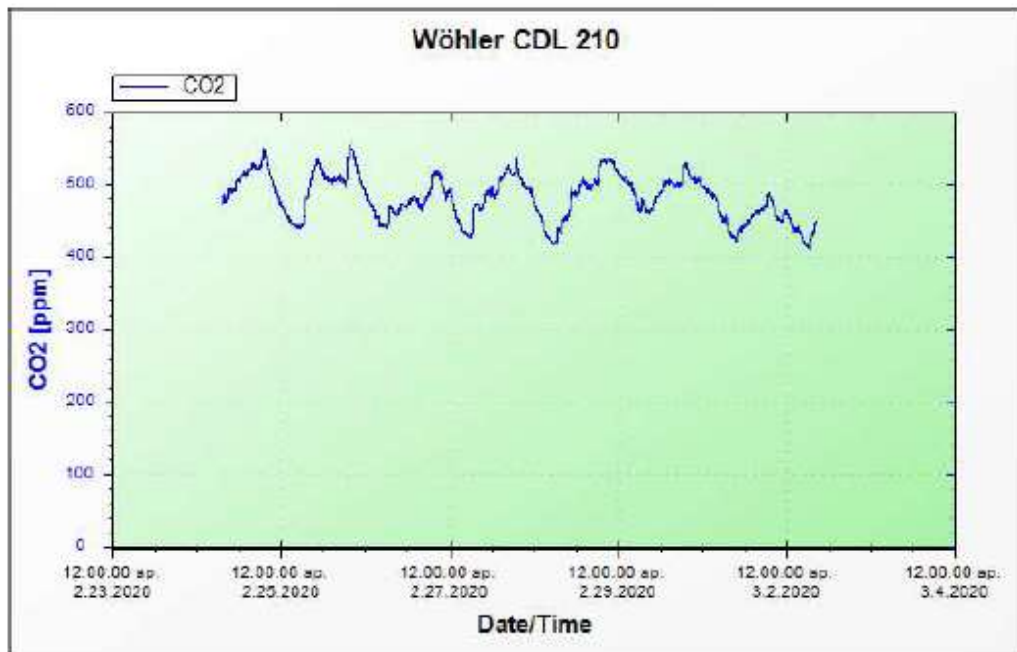
Serial Number: 12345678

Address, Date	Inspector, Company	Signature / Stamp

2.3.2020, Protocol Wöhler CDL 210

# Protocol

## CO2 Measurement



CO2 Level: VDI 6022-3

<= 1000 ppm

1001 - 1500 ppm

1501 - 2000 ppm

> 2000 ppm

Start time: 24.2.2020 7.29.46

Note:

Stop time: 2.3.2020 8.33.46

Lograte: 120 s

Values: 5073

Serial Number: 12345678

Address, Date	Inspector, Company	Signature / Stamp

2.3.2020, Protocol Wöhler CDL 210

## Liite Wöhler CDL 210 CO<sub>2</sub> -Dalaogger datalehti

**WÖHLER**

TECHNICAL DATA | WÖHLER CDL 210

### Wöhler CDL 210 CO<sub>2</sub>-Datalogger

**TECHNICAL DATA****CO<sub>2</sub>-Measurement**

Range 0 - 2,000 ppm  
Resolution: 1 ppm  
Accuracy:  $\pm 50 \text{ ppm} \pm 5 \%$

**°C-Measurement**

Range -10 °C...+60 °C  
Resolution: 0,1 °C  
Accuracy:  $\pm 0,6 \text{ °C}$

**Measurement of air humidity**

Range 5 - 95 % rH  
Resolution: 0,1 % rH  
Accuracy: 10-90 %, 25 °C:  $\pm 3 \%$  rH;  
otherwise:  $\pm 5 \%$  rH

**List of measurement readings**

5,300 total  
Logrates: 3/10/30 Sec.  
1/3/10/30 min.  
1/3/4 h.

Esimerkki mittalaitteen lokitiedostosta.

Logger: Woehler CDL 210  
 Start time: 24.2.2020 7.27.58  
 Lograte: 120 s  
 Records: 5070  
 Measuring Celsius  
 Serial Numr 12345678  
 Note:

Data Set	Date:	Time:	CO2:	Temperatu	rel. Humid	Dew Point:
1	24.2.2020	7.27.58	482	22,1	23,4	0,3
2	24.2.2020	7.29.58	485	22,2	20,9	-1,2
3	24.2.2020	7.31.58	485	22,1	20,7	-1,4
4	24.2.2020	7.33.58	476	22,2	20,7	-1,3
5	24.2.2020	7.35.58	468	21,8	21	-1,5
6	24.2.2020	7.37.58	468	21,8	20,7	-1,7
7	24.2.2020	7.39.58	465	21,7	20,8	-1,7
8	24.2.2020	7.41.58	477	21,7	21	-1,6
9	24.2.2020	7.43.58	481	21,8	21,1	-1,4
10	24.2.2020	7.45.58	479	22	21	-1,3
11	24.2.2020	7.47.58	470	21,9	20,9	-1,5
12	24.2.2020	7.49.58	473	21,7	20,9	-1,6
13	24.2.2020	7.51.58	475	21,7	21	-1,6
14	24.2.2020	7.53.58	476	21,7	21	-1,6
15	24.2.2020	7.55.58	470	21,6	20,9	-1,7
16	24.2.2020	7.57.58	469	21,6	20,8	-1,8
17	24.2.2020	7.59.58	469	21,5	20,9	-1,8
18	24.2.2020	8.1.1958	469	21,6	20,8	-1,8
19	24.2.2020	8.3.1958	467	21,5	20,8	-1,8
20	24.2.2020	8.5.1958	468	21,5	20,9	-1,8
21	24.2.2020	8.7.1958	469	21,5	20,9	-1,8
22	24.2.2020	8.9.1958	470	21,5	20,9	-1,8
23	24.2.2020	8.11.1958	470	21,5	20,9	-1,8
24	24.2.2020	8.13.58	469	21,4	20,9	-1,9
25	24.2.2020	8.15.58	468	21,4	20,9	-1,9
26	24.2.2020	8.17.58	468	21,4	20,8	-1,9
27	24.2.2020	8.19.58	466	21,4	20,9	-1,9
28	24.2.2020	8.21.58	466	21,4	20,8	-1,9
29	24.2.2020	8.23.58	468	21,4	20,8	-1,9
30	24.2.2020	8.25.58	467	21,4	20,8	-1,9
31	24.2.2020	8.27.58	466	21,4	20,8	-1,9
32	24.2.2020	8.29.58	468	21,4	20,8	-1,9
33	24.2.2020	8.31.58	466	21,4	20,8	-1,9
34	24.2.2020	8.33.58	469	21,5	20,8	-1,8
35	24.2.2020	8.35.58	468	21,4	20,7	-2
36	24.2.2020	8.37.58	468	21,5	20,7	-1,9
37	24.2.2020	8.39.58	469	21,5	20,7	-1,9
38	24.2.2020	8.41.58	469	21,5	20,7	-1,9
39	24.2.2020	8.43.58	469	21,5	20,7	-1,9
40	24.2.2020	8.45.58	471	21,5	20,7	-1,9
41	24.2.2020	8.47.58	472	21,5	20,7	-1,9
42	24.2.2020	8.49.58	475	21,4	20,7	-2