

Laivojen sisäympäristön ja sisäilman laadun kehittäminen

Työsuojelurahaston hankkeen 220253 loppuraportti

**Camilla Vornanen, Elli Anttila, Leila Kakko, Alo Mikola,
Emmanuelle Castagnoli, Tuomas Alapieti, Eija Reunanen,
Sampo Saari, Gaetano Macaluso, Raimo Mikkola,
Pentti Kujala, Jarek Kurnitski, Heidi Salonen**

Laivojen sisäympäristön ja sisäilman laadun kehittäminen

Työsuojelurahaston hankkeen 220253 loppuraportti

Camilla Vornanen, Elli Anttila, Leila Kakko, Alo Mikola,
Emmanuelle Castagnoli, Tuomas Alapieti, Eija
Reunanen, Sampo Saari, Gaetano Macaluso, Raimo
Mikkola, Pentti Kujala, Jarek Kurnitski, Heidi Salonen

Aalto University publication series
Science, Technology 8/2025

© Camilla Vornanen, Elli Anttila, Leila Kakko, Alo Mikola, Emmanuelle Castagnoli, Tuomas Alapieti, Eija Reunanen, Sampo Saari, Gaetano Macaluso, Raimo Mikkola, Pentti Kujala, Jarek Kurnitski, Heidi Salonen

ISBN 978-952-64-2920-5 (pdf)
ISSN 1799-490X (pdf)

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-64-2920-5>

Teos on lisensoitu CC BY 4.0 -käyttöluvalla. Tarkastele käyttö lupaa osoitteessa
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>.

aaltodoc.aalto.fi
2025

Tiivistelmä

Risteilyalukset ovat sisäympäristöinä muihin työympäristöihin verrattuna hyvin erityisiä tilojen käyttötarkoituksen, ilmanvaihtojärjestelmän ja suuren ihmistiheyden vuoksi. Tämän tutkimushankkeen tavoitteena oli selvittää kokonaisvaltaisesti risteilyaluksen sisäympäristön erilaisia altisteita, sisäolosuhteita, ilmanvaihdon toimintaa erityisesti virusten leviämisen näkökulmasta sekä optimaalisia siivouskäytäntöjä ja pintojen puhtautta erilaisissa laivan tiloissa.

Tutkimusmenetelminä käytettiin standardoitua näytteenottoa, jatkuvatoimista monitorointia, henkilöstön kyselytutkimusta, koeasetelmia, siivoushenkilöstön haastattelututkimusta sekä olosuhteiden mallinnusta.

Sisäilman laadun osalta tutkitut tilat olivat melko samankaltaisia muihin tavanomaisiin suomalaisiin työympäristöihin verrattuina. Tilojen käyttötarkoitus ja erityispiirteet, kuten esimerkiksi ravintolatoiminta, erottuivat tuloksissa selvästi. Työolosuhteita laivalla voisi kehittää esimerkiksi parantamalla akustiikkaa ja lämpötilan säätömahdollisuuksia. Sisäilman laatuun satamassa ollessa on hyvä kiinnittää huomiota ja se olisi kiinnostava jatkotutkimuksen aihe.

Siivouksessa osa tutkituista pinnoista pitäisi puhdistaa huolellisemmin, jotta tavoiteltu puhtaustaso saavutetaan. Ilmanvaihdon tehokkuus oli lähes kaikissa tiloissa huomattavasti alhaisempi kuin tavoitellussa täydellisen sekoittumisen tilanteessa ja epäpuhtauslähteen sijainnilla oli merkittävä vaikutus patogeenien leviämiseen. Tuloilman ilmanjakoratkaisuissa on merkittävää kehittämispotentiaalia ilmanvaihdon tehokkuuden parantamiseksi.

Esipuhe

Laivojen sisäilman laadun ja sisäympäristön kehittäminen (LAIVA) -tutkimushankkeessa (1.2.2023—30.11.2025) selvitettiin monipuolisesti risteilyaluksen sisäympäristöolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä. Hankkeen toteuttivat Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitos (Aalto) ja Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) yhteistyössä Tallink Silja Oy:n, Tallinnan teknillisen yliopiston, Aalto-yliopiston meritekniikan tutkimusryhmän, Airlyse Oy:n, SOL Palvelut Oy:n ja Halton Marine Oy:n kanssa.

Tutkimuksen päärahoittaja oli Työsuojelurahasto (TSR), ja muita rahoittajia Aalto, TAMK, Sosiaali- ja terveysministeriö (STM), Halton Marine Oy sekä SOL Palvelut Oy. Hankkeen johtoryhmässä toimivat Anne-Marie Kurka (TSR), Vesa Pekkola (STM), Leila Kakko (TAMK), Johanna Weckström (Tallink Silja Oy), Mika Kirjavainen (Halton Marine Oy), Hans Haase (Airlyse Oy), Mirjam Rinne (SOL Palvelut Oy), Päivi Miilunpalo (Työterveyslaitos), Jarek Kurnitski (Aalto), Pentti Kujala (Aalto), Raimo Mikkola (Aalto), Camilla Vornanen (Aalto) ja Heidi Salonen (Aalto).

Aalto-yliopiston sisäympäristötekniikan tutkimusryhmässä hankkeen parissa työskentelivät Emmanuelle Castagnoli, Tuomas Alapieti, Camilla Vornanen, Raimo Mikkola, Elli Anttila, Vilma Mähönen, Niklas Korja ja Heidi Salonen, ja ilmanvaihtotekniikan tutkimusryhmässä Alo Mikola ja Jarek Kurnitski. Tampereen ammattikorkeakoulun tutkimusryhmässä työskentelivät Leila Kakko, Eija Reunanen, Sampo Saari, Sara Ekvist, Anu Niittykumpu, Tanja Kurttila ja Mari Söderholm. Aalto-yliopiston meritekniikan ryhmän tutkimusosuuden suorittivat Gaetano Macaluso ja Pentti Kujala.

Kiitokset kaikille hankkeen parissa työskennelleille tutkijoille, opinnäytetyöntekijöille ja yhteistyötahoille sekä johtoryhmän jäsenille hyvästä työskentelystä ja yhteistyöstä sekä rahoittajille hankkeen mahdollistamisesta.

Erityisen lämmin kiitos Tallink Silja Oy:n työkykypäällikkö Johanna Weckströmille erinomaisista järjestelyistä sekä sujuvasta ja paneutuvasta yhteistyöstä Silja Serenadella, jota saimme käyttää hankkeen tutkimuskohteena. Erityinen kiitos kuuluu myös Silja Serenaden mukavalle henkilökunnalle kaikesta avusta tutkimusten mahdollistamiseksi, myönteisestä ja kiinnostuneesta asenteesta tutkimusta kohtaan sekä vastaanottavaisesta ilmapiiiristä.

Espoossa 30.11.2025

Camilla Vornanen (projektipäällikkö) ja Heidi Salonen (hankkeen vastuullinen johtaja)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	1
Esipuhe	2
1. Johdanto.....	5
2. Risteilyaluksen sisäympäristön mitattu ja koettu laatu	7
2.1 Tausta ja tavoitteet	7
2.2 Aineisto ja menetelmät	7
2.2.1 Kemialliset yhdisteet ja elinkykyiset mikrobit	7
2.2.2 Jatkuvatoinen sisäilman laadun seuranta	10
2.2.3 Koettu sisäympäristön laatu.....	10
2.3 Keskeiset tulokset	11
2.3.1 Kemiallisten yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa	11
2.3.2 Elinkykyisten mikrobien lukumäärä sisäpinnoilla	12
2.3.3 Jatkuvatoinen sisäilman laadun seuranta	12
2.3.4 Koettu sisäympäristön laatu.....	13
2.4 Johtopäätökset	15
3. Risteilyaluksen puhtaanapito ja sisäympäristö.....	17
3.1 Tausta ja tavoitteet	17
3.2 Aineisto ja menetelmät	17
3.2.1 Risteilyaluksen siivouskäytännöt	17
3.2.2 Risteilyaluksen pintojen puhtaus ja pyyhintämenetelmät.....	18
3.2.3 Risteilyaluksen pintapuhtausnäytteet ja virusten	
esiintyminen pinnoilla.....	18
3.2.4 Sisäilmastodatan analysointi.....	19
3.3 Keskeiset tulokset	19
3.3.1 Risteilyaluksen siivouskäytännöt	19
3.3.2 Risteilyaluksen pintojen puhtaus ja pyyhintämenetelmät.....	19
3.3.3 Risteilyaluksen pintapuhtausnäytteet ja virusten	
esiintyminen pinnoilla.....	20
3.3.4 Sisäilmastodatan analysointi	21
3.4 Johtopäätökset.....	22
4. Ilmanvaihdon tehokkuus tartuntariskin tilanteessa	24
risteilyaluksella.....	24
4.1 Tausta ja tavoitteet	24
4.2 Aineisto ja menetelmät	25
4.2.1 Risteilyaluksen yhteistilat	25

4.2.2 Mittauslaitteet	26
4.2.3 Ilmanvaihdon epäpuhtauksien poistotehokkuuden laskenta	27
4.3 Keskeiset tulokset.....	28
4.4 Johtopäätökset	32
5. Ilmanpuhdistus LVI-järjestelmän avulla risteilyaluksella	34
5.1 Tausta ja tavoitteet	34
5.2 Aineisto ja menetelmät.....	34
5.3 Keskeiset tulokset.....	35
5.4 Johtopäätökset	36
Hankkeessa tuotetut julkaisut.....	37

1. Johdanto

Suomessa on tutkittu laajasti erilaisten työympäristöjen sisäolosuhteita, mutta risteilyaluksilla ei vastaavia kokonaisvaltaisia sisäympäristön laadun tutkimuksia ole tehty. Sisäympäristöinä ne ovat kuitenkin hyvin erityisiä tilojen, ilmanvaihdon ja suuren ihmistiheyden vuoksi. Laivojen sisäilman ja sisäympäristön tekijöiden tuntemus on tärkeää, koska suomalainen merenkulku työllistää suoraan yli 7000 työntekijää [1], joiden lisäksi laivoilla matkustaa vuosittain valtavasti matkustajia. Vuonna 2024 Suomen matkustajaliikenteessä kuljetettiin 13,5 miljoonaa matkustajaa [2].

Koronapandemian aikana laivojen terveysturvallisuus nousi erityiseksi huolenaiheeksi, ja ilmanvaihdon merkitys ilmapölyisten virustartuntojen leviämisen hallinnassa nostettiin esille uudella tavalla [3]. Sen lisäksi pandemia muistutti laajasti myös pintahygienian merkityksestä mikrobien leviämisen estämisessä, mikä näkyy edelleen esimerkiksi julkisten tilojen käsidesipisteinä. Puhtaanapito ja siivousmenetelmät liittyvät myös nykytutkimuksessa erityisen vahvasti esillä olevaan yleiseen tavoitteeseen välttää yhä tehokkaammin turhaa kemikaalialtistusta erilaisissa ympäristöissä. Kokonaisuutena sisäympäristön materiaaleista ja ihmisten toiminnoista lähtöisin olevat erilaiset altisteet sekä ilmanvaihdon toiminta muodostavat laivalla päivittäin erityiset sisäympäristöolosuhteet tuhansille ihmisille.

Tämän tutkimushankkeen tavoitteena oli selvittää kokonaisvaltaisesti risteilyaluksen sisäympäristön erilaisia altisteita, sisäolosuhteita, ilmanvaihdon toimintaa erityisesti virusten leviämisen näkökulmasta sekä optimaalisia siivouskäytäntöjä ja pintojen puhdistusta erilaisissa tiloissa. Tutkimusmenetelmät ja osakohtaiset tavoitteet on kuvattu tarkemmin luvuissa 2–5.

Tutkimuskohteena oli Itämerellä Helsingin ja Tukholman välillä seilaava Tallink Silja Oy:n risteilyalus Silja Serenade (Kuva 1.1). Laiva on rakennettu vuonna 1990 ja sen matkustajakapasiteetti on 2800 henkilöä [4].



Kuva 1.1. Tutkimuskohteena hankkeessa oli suomalainen risteilyalus Silja Serenade [4].

Tässä loppuraportissa esitellään tiivistetysti hankkeen keskeinen sisältö ja tulokset. Raportti koostuu neljästä eri tutkimusosa-alueiden mukaisesta luvusta (luvut 2–5). Tarkemmin tutkimustuloksia on käsitelty hankkeesta tuotetuissa julkaisuissa, joista on luettelo raportin lopussa, ja niitä käsitellään myös hankkeen päättymisen jälkeen vielä tekeillä olevissa uusissa tieteellisissä julkaisuissa.

Viitteet

1. Traficom. 2025. Merimiestilasto 2024. Traficomin tilastojulkaisuja 1/2025. Liikenne- ja viestintäministeriö Traficom. ISBN 978-952-311-965-9. Saatavilla: <https://tieto.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Merimiestilasto-2024.pdf>
2. Tilastokeskus. 2025. Suomen virallinen tilasto (SVT): Ulkomaan meriliikenne [verkkojulkaisu]. ISSN=2670-1987. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 21.11.2025]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/uvliik>
3. REHVA. 2021. COVID-19 guidance, version 4.1. Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. Saatavilla: <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance> [Viitattu: 21.11.2025].
4. Tallink Silja Oy. 2025. Saatavilla: <https://www.tallink.com/fi/laivalla/laivat/silja-serenade>. [Viitattu: 30.11.2025]

2. Risteilyaluksen sisäympäristön mitattu ja koettu laatu

2.1 Tausta ja tavoitteet

Sisäilman ja -ympäristön laatua erilaisissa työympäristöissä on tutkittu viime vuosikymmenen aikana hyvin kattavasti, mutta matkustaja- tai rahtilaivoilla vastaava tutkimus on vielä puutteellista [1,2,3,4]. Laivan miehistö viettää laivassa pitkiä yhtäjaksoisia aikoja, joten laivan sisäympäristöllä on merkittävä vaikutus heidän hyvinvointiinsa [5]. Erityisesti laivojen polttoaineen päästöjen on todettu olevan merkittävä ilman epäpuhtauksien lähde laivalla, ja laivailman epäpuhtauksina on havaittu esimerkiksi hiilimonoksidia, hiilidioksidia, hiukkasia ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä [6].

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kemiallisten yhdisteiden ja elinkykyisten mikrobien esiintymistä laivan eri työskentelytiloissa ja tavanomaisiin julkisiin rakennuksiin verrattuna sekä laivan työntekijöiden kokemaa sisäympäristön ja sisäilman laatua. Tutkimus sisälsi seuraavat osa-alueet:

- Kemiallisten yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa
- Elinkykyisten mikrobien määrä pinnalta otetuissa pyyhintänäytteissä
- Jatkuva toiminen sisäilman laadun seuranta
- Kysely henkilökunnalle koetusta sisäilman laadusta eri työpisteissä

2.2 Aineisto ja menetelmät

2.2.1 Kemialliset yhdisteet ja elinkykyiset mikrobit

Tutkimukset tehtiin Silja Serenadella yhteensä viidellä edestakaisella Helsinki–Tukholma–Helsinki-risteilyllä, joiden ajankohdat olivat marraskuu 2023, helmikuu 2024, kesäkuu 2024, elokuu 2024 ja kesäkuu 2025. Kaksi risteilyä ajoittui siis talviajalle ja kolme kesäajalle. Näytteet otettiin kuudesta eri tilasta eri osista laivaa:

- Travel Superstore -myymälä (kassa-alue), laivan keskiosa, 6. kansi
- Grande Buffet -ravintola (keittiö ja ruokailusali), laivan peräosa, 6. kansi
- Sea Pub -baari (baaritiskin henkilökunnan puoli), laivan peräosa, 7. kansi
- Grill House -ravintola (kassatiski ruokailualueen vieressä), laivan peräosa, 7. kansi
- Infopiste (henkilökunnan puoli), laivan keskiosa, 7. kansi
- Starlight Palace -yökerho (baaritiskin henkilökunnan puoli), laivan keulaosa, 8. kansi

Kuvassa 2.1 on esitetty kansien 6–8 kansikartat, joissa näkyvät tutkitut tilat.



Kuva 2.3. Infopisteellä ilmanäytteet otettiin tiskin takaa henkilökunnan työtasolta ja Buffet-ravintolan keittiössä ylempään astiahyllyn nurkasta.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet määritettiin aktiivisilla ilmanäytteillä standardin ISO 16017-2:2003 mukaisesti. Näytteet kerättiin ACTI-VOC (Markes International, UK) tai Pocket Pump TOUCH (SKC, US) -ilmapumpuilla Tenax TA-Carbo-graph 5D -absorptioputkiin. Kunkin näytteen koko oli 8 L ja näytteenotto kesti 40 minuuttia (virtausnopeus 200 ml/min). Näytteet analysoitiin standardin ISO 16000-6 mukaisesti kaasukromatografisesti termodesorptiolla ja massaelektiivisellä ilmaisimella (TD-GC-MS). Määritysraja oli noin 4 ng/näyte. Yhdisteet tunnistettiin vertailemalla niitä puhtaisiin vertailuaineisiin ja/tai Wiley- ja NIST-massaspektritietokantoihin.

Karbonyylien pitoisuudet määritettiin aktiivisilla ilmanäytteillä standardin ISO 16000-3:2011 mukaisesti. Näytteet kerättiin ilmapumpun AirChek TOUCH (SKC, US) avulla 2,4-dinitrofenyylihydratsiinilla päällystettyihin SepPak C18 -patruunakeräimiin. Näytteen koko oli 100 L, ja näytteenotto kesti 100 minuuttia (virtausnopeus 1 L/min). Näytteet analysoitiin nestekromatografisesti standardiin ISO-16000-3:2022 perustuen. Kolmen toista aldehydinin pitoisuudet määritettiin puhtaita vertailuaineita käyttäen. Määritysraja oli $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Elinkykyisten mikrobien lukumäärän määrittämiseksi otettiin tutkittavien tilojen seiniltä pintapyyhintänäytteet. Näytteet otettiin tyhjiä tiloista risteilymatkojen aikana laivan ollessa satamassa. Näytteet voitiin ottaa hiljaisina ajankohtina, koska ne eivät liittyneet hetkelliseen toimintaan tiloissa, vaan edustivat pidemmän aikavälin kertymää. Näytteenottopinnaksi valittiin tavanomaisesta käytännöstä poiketen pystypinta eli seinä, koska laivalla vaakapintoja pyyhitään jatkuvasti eikä niille pääse laskeutumaan pölyhiukkasia, jotka ovat näytteenoton kannalta olennaisia. Kuvassa 2.4 on esitetty Grill House -ravintolan seinäpinta, jolta näytteet otettiin.

Pyyhintänäytteen keräämiseksi seinälle kiinnitettiin steriili sabluuna, joka rajasi 100 cm^2 :n kokoisen näytteenottoalueen. Vastaava toistettiin neljästä lähekkäisestä kohdasta, jolloin kokonaisnäytteenottoala oli 400 cm^2 . Jokainen näyte kerättiin uudella puhtaalla tikulla, joka pyyhittiin eri kasvatusainetta sisältäviin petrimaljoihin, jotka suljettiin tiiviisti. Näytteet analysoitiin suoraviljelymenetelmällä semikvantitatiivisesti. Käytetyt kasvatusaineet ja kasvatusolosuhteet olivat seuraavat: 2-%:nen mallasuuteagar (M2-agar)

(+25 °C, 7 vrk), Dikloran-glyseroliagar (D1G18-agar) (+ 25 °C, 7 vrk), Rose Bengal -malasuuteagar (Hagem-agar) (+ 25 °C, 7 vrk) ja Tryptoni-hiivauute-glukoosi-agar (THG-agar) (+25 °C, 7–14 vrk).

Kaikki näytteet analysoitiin Työterveyslaitoksella FINAS-akkreditoidussa testauslaboratoriossa.



Kuva 2.4. Grill House -ravintolan seinäpintaa, josta mikrobiologinen näyte otettiin.

2.2.2 Jatkuvatoiminen sisäilman laadun seuranta

Sisäolosuhteita seurattiin jatkuvatoimisilla mittausensoreilla (Airlyse Oy) marraskuun 2023 ja tammikuun 2025 välisenä aikana eri puolilla laivaa seuraavista tiloista: komentosilta, infopiste, buffet-ravintolan keittiö ja ruokailusali, Grill House -ravintolan avokeittiö, henkilökunnan ruokailutila (messi), henkilökunnan hytti, henkilökunnan kuntosali, henkilökunnan vaatevarasto, yökerhot New York ja Starlight Palace sekä Sea Pub -baari. Sensorit mittasivat seuraavia parametreja: lämpötila (T), suhteellinen ilmankosteus (RH), hiilidioksidi (CO₂), haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä (TVOC) ja pienhiukaset kahdessa eri kokoluokassa (PM_{1,0} ja PM_{2,5}).

2.2.3 Koettu sisäympäristön laatu

Laivan työntekijöiden kokemuksia sisäympäristön laadusta kartoitettiin kyselytutkimuksen avulla loka-marraskuussa 2023 [7]. Kysely perustui MM40/Örebro-tutkimukseen ja toteutettiin anonymisti Webropol-palvelussa. Työnantaja toimitti koko henkilökunnalle vastauslinkin, joten tutkijat eivät käsitelleet henkilöstön yhteystietoja. Kyselyssä pyydettiin vastaajaa valitsemaan pääasialliset työpisteensä viimeisten kolmen kuukauden ajalta, ja sen jälkeen kysyttiin näiden tilojen sisäympäristön olosuhteista (Kuva 2.5.). Lopuksi vastaajan oli mahdollista antaa täydentävää tietoa avoimissa vastauskentissä.

Onko sinua haitannut jokin seuraavista tekijöistä viimeisen kolmen kuukauden aikana?

	Kyllä	Joskus	Ei
Liian korkea lämpötila	☐	☐	☐
Liian matala lämpötila	☐	☐	☐
Voimakas lämpötilan vaihtelu	☐	☐	☐
Liian voimakas ilmanvaihto	☐	☐	☐
Puutteellinen ilmanvaihto	☐	☐	☐
Tunkkainen ilma	☐	☐	☐
Kuiva ilma	☐	☐	☐
Kostea ilma	☐	☐	☐
Homeen tai maakellarin haju	☐	☐	☐
Tupakansavu	☐	☐	☐
Muut hajuhaitat	☐	☐	☐
Melu	☐	☐	☐
Heikko valaistus	☐	☐	☐
Havaittava pöly tai lika	☐	☐	☐
Heijastukset	☐	☐	☐

Kuva 2.5. Laivan henkilökunnalle tehdyn sisäympäristökyselyn kysymykset [7].

2.3 Keskeiset tulokset

2.3.1 Kemiallisten yhdisteiden pitoisuus sisäilmassa

Näytteistä tunnistettiin yhteensä 90 eri **VOC-yhdistettä**. Eniten erilaisia VOC-yhdisteitä ja suurimmat pitoisuudet havaittiin avokeittiöisestä Grill House -ravintolasta ja buffet-ravintolan suljetusta keittiöstä. Ruuan valmistuksessa vapautuu luonnollisesti paljon yhdisteitä. Avokeittiöravintolasta mitattiin suuremmat pitoisuudet yhdisteitä kuin suljetusta keittiöstä [8]. Vähiten yhdisteitä ja pienimmät yksittäisten yhdisteiden ja TVOC-pitoisuudet havaittiin Travel Superstore -myymälän näytteistä (pienin mitattu TVOC-pitoisuus $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja infopisteellä. Yksittäisten yhdisteiden yhteenlasketut määrät olivat myös matalimpia myymälässä ja korkeimmillaan avokeittiöisen ravintolan ruokailutilassa. Yksittäisten yhdisteiden yhteenlaskettu pitoisuus voi erota tolueeniekvivalenttina saadusta TVOC-pitoisuudesta, koska osa yhdisteistä on määritetty niiden omilla vasteilla.

Yksiarvoisten alkoholien VOC-ryhmä kattoi merkittävän osuuden näytteiden kokonaispitoisuuksista, ja ne olivat pitoisuudeltaan suurin VOC-ryhmä lähes kaikissa näytteissä. Seuraavaksi eniten havaittiin moniarvoisia alkoholeja ja orgaanisia happoja. Alkoholeja esiintyi runsaimmin tiloissa, joissa tarjoiltiin alkoholijuomia eli ravintoloissa, Sea Pubissa ja Starlight Palacessa. Etanolin esiintymistä näytteissä selittää myös käsidesin käyttö mittauspisteiden lähellä. Ruuanvalmistuksen päästöihin liittyen orgaanisia happoja havaittiin eniten avonaisen ravintolan ja buffet-ravintolan keittiöissä.

Yleisellä tasolla yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat matalia ($<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Etanoli-pitoisuudet vaihtelivat välillä $15\text{--}830 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Korkeimmillaan ne olivat ruokaravintoloissa ($600\text{--}800 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja pienimmillään myymälässä ($15\text{--}75 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Erityisen korkeita etanolipitoisuuksia havaittiin avokeittiöisen ravintolan ruokailutilassa, mihin luultavasti vaikuttavat alkoholin tarjoilu ravintolassa ja mittauslaitteiden sijainti lähellä käsidesinfiointiainetta, kuten aiemmin kuvattiin. Etanoli kuitenkin sijaitsee TVOC-alueen

ulkopuolella ja läpäisee keräimen helposti, minkä vuoksi etanolipitoisuudet ovat vain suuntaa antavia. Toistuva ihokosketus nestemäisen etanolin kanssa voi kuivattaa ihoa ja aiheuttaa ärsytysihottumaa.

Muihin tavanomaisista suomalaisista julkisista tiloista ja työympäristöistä tunnettuihin pitoisuuksien tasoihin verrattuna mitatut pitoisuudet olivat vastaavalla tasolla, ja alittivat myös kansalliset raja-arvot asunnoille ja muille oleskelutiloille [9], vaikka laivaympäristöä ei aivan suoraan voi tavanomaiseen oleskelutilaan verrata esimerkiksi ilmanvaihdon toimintaperiaatteiden ja tiloissa tapahtuvien toimintojen vuoksi.

Infopisteen satamassaolon aikana otetussa näytteessä (marraskuu 2023) TVOC-pitoisuus oli selvästi korkeampi ($380 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin muissa näytteissä infopisteeltä, mikä saattaa viitata erilaisiin sisätiloihin kulkeutuviin päästöihin, kun laiva seisoo satamassa (esimerkiksi autoliikenne laivaan ja ulos) eikä ilmanvaihto ole normaalissa käytönaikaisessa toiminnassa. Satamassaolon aikaisia olosuhteita olisikin kiinnostavaa selvittää tarkemmin jatkotutkimuksissa.

Karboonylien osalta näytteistä havaittiin eniten asetaldehydia ja asetonia, mutta maltillisin pitoisuuksin (asetaldehydin pitoisuudet olivat välillä $8\text{--}39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja asetonin välillä $8\text{--}17 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Formaldehydiä havaittiin myös ja sen pitoisuudet olivat keskimäärin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (suurin mitattu pitoisuus $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mikä on vertailuarvona käytettyä kansallista raja-arvoa [9] merkittävästi pienempi pitoisuus.

Yhteenvedona voidaan todeta, että kemiallisten yhdisteiden pitoisuudet ilmanäytteissä vaihtelivat eri tilojen välillä (ravintolatiloiissa selvästi korkeammat pitoisuudet kuin muissa tiloissa), ja erityisesti etanolin pitoisuudet erottuivat näytteissä kaikista tutkituista tiloista. Muihin vastaaviin työympäristöihin tai vertailuaineistona käytettyihin raja-arvoihin verrattuna pitoisuudet pysyivät hyväksyttävällä tasolla kaikissa näytteissä. Muihin työympäristöihin verrattuna on kuitenkin tärkeää huomata, että laivalla työskentelevät henkilöt altistuvat sisäilman tekijöille pidempiä ajanjaksoja kuin muissa työympäristöissä.

2.3.2 Elinkykyisten mikrobien lukumäärä sisäpinnoilla

Pintapyyhintänäytteiden elinkykyisten mikrobien määrä oli vähäinen. Useimmissa kerätyissä näytteissä ei ollut lainkaan tai niissä oli vain niukasti elinkelpoisia mikrobeja. Risteilyjen välillä ei ollut havaittavissa selkeitä eroja.

Eniten elinkykyisiä mikrobeja todettiin helmikuun 2024 risteilyllä avokeittiöisen ravintolan ruokailutilassa. Yleisesti ottaen ravintolatiloiissa harvemmin siivotuilla pinnoilla olevien elinkykyisten mikrobien määrä on luonnollisesti suurempi niissä tapahtuvien toimintojen takia (ruoka-aineiden ja biojätteiden käsittely ja ruuanlaitto, ajoittain korkea ilmankosteus ja lämpötila).

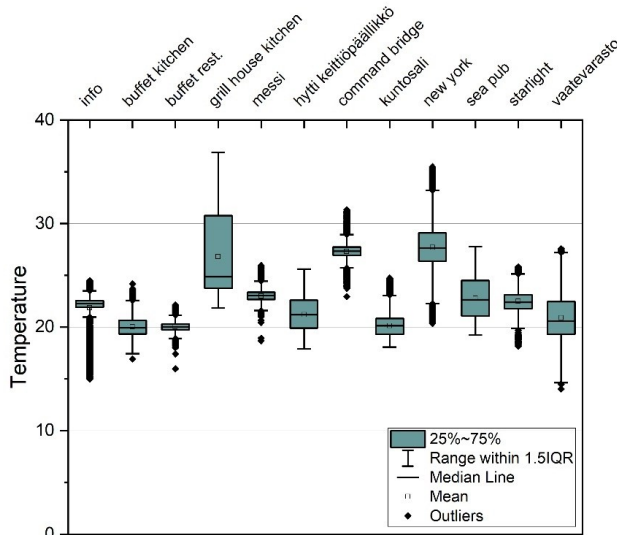
2.3.3 Jatkuvatoiminen sisäilman laadun seuranta

Jatkuvatoimisten sensoreiden tuloksista voidaan tehdä päätelmiä olosuhteiden muutoksista tai pitoisuuksien tasoista pidemmältä aikaväliltä. Tuloksia ei voi suoraan verrata standardoituihin menetelmiin tai virallisiin raja-arvoihin. Olosuhteet ja pitoisuudet pysyivät yleisesti ottaen tavanomaisissa rajoissa kaikissa seuratuissa tiloissa, eikä merkittäviä hyväksyttävän tason ylityksiä havaittu eri mittausparametrien kohdalla. Tulokset kuvastivat hyvin tilojen käyttöä tai olosuhteita: esimerkiksi ravintoloissa, yökerhoissa tai

voimakkaalle auringonvalolle altistuissa tiloissa, kuten komentosilta tai New York -yökerho, lämpötila nousi ajoittain jonkun verran tavoitetasoja korkeammalle (Kuva 2.6). Tutkitussa hytissä hiukkasten pitoisuus oli muita tiloja korkeammalla tasolla, mikä todennäköisesti selittyy sillä, että kyseessä on hyvin pieni tila, josta ilmanvaihto ei ehdi huuhtoa hetkellisesti kohoavia materiaali-, hygieniatuote- ja ihmisperäisiä hiukkasia yhtä tehokkaasti pois kuin yleisissä tiloissa.

Ravintoloissa muun muassa lämpötilan, pienhiukkasten ja kemiallisten yhdisteiden pitoisuudet olivat odotetusti korkeampia [8]. Ruoan valmistus tuottaa lämpöä, ja raaka-aineet sekä ruoan valmistusmenetelmät vapauttavat ilmaan pienhiukkasia ja erilaisia kemiallisia yhdisteitä [10]. Lämpötilojen vaihtelut sekä TVOC- ja pienhiukkaspitoisuudet seurasivat ravintoloiden käyttöastetta odotetusti: buffet-ravintolassa lämpötilat ja pitoisuudet kohosivat aamuisin ja iltaisin kattausten aikana, ja avokeittiöisessä ravintolassa illalliskattauksen aikana. Tästä huolimatta lämpötilat sekä TVOC- ja pienhiukkaspitoisuudet pysyivät pääsääntöisesti hyväksyttävissä rajoissa.

Tarvittaessa olosuhteisiin voitaisiin vaikuttaa esimerkiksi mahdollisin ilmanvaihdon muutoksin, ilman suodatuksella ja lämpötilojen tarkemmilla säätömahdollisuuksilla esimerkiksi hyteissä.



Kuva 2.6. Jatkuvatoimisesti mitatun sisälämpötilan tilastollinen tarkastelu eri mittauspisteissä reilun vuoden mittausjakson aikana. Vihreällä palkilla on esitetty taso, jolla tietyn tilan mittaustulokset pääasiassa pysyivät ja poikkeaviilla tulosten mediaani.

2.3.4 Koettu sisäympäristön laatu

Kyselyyn vastasi 124 henkilöä ja vastausprosentti oli 32 %. Kyselytutkimuksen perusteella yleisimmin jonkinasteista haittaa aiheuttava sisäympäristön tekijä oli melu: 67,9 % vastaajista koki melun haitanneen vähintään joskus viimeisen kolmen kuukauden aikana. Vähiten tyytymättömyyttä koettiin heijastusten ja tupakan hajun suhteen.

Koetut haitat vaihtelivat merkittävästi työpisteittäin. Kommentosillalla sisäympäristöön oltiin tyytyväisimpiä, mikä voi johtua luonnollisesti siitä, että siellä ei ole väenpaljoutta tai matkustajia, ja työn ulkopuolisia ärsykeitä on vähän. Poikkeuksena oli kuivaksi koettu ilma, mikä vastaa jatkuvatoimisilla mittareilla saatuja tuloksia. Yökerhoissa ja

infopisteellä työntekijät raportoivat eniten sisäympäristöön liitettyjä haittoja, mutta pienen vastausmäärän vuoksi infopisteen osalta ei voida tehdä varmoja johtopäätöksiä. Yökerhojen osalta tulokset korreloivat työympäristön oletettujen ajoittaisten suuresta asiakasmäärästä johtuvien epämukavuustekijöiden, kuten melu, lämpötila ja kuormittavat työtilanteet, kanssa.

Sisäympäristön laadun kokemuksta voitaisiin mahdollisesti parantaa esimerkiksi asentamalla akustisia paneeleita melun vähentämiseksi, tehostamalla ilmanvaihtojärjestelmiä, parantamalla valaistusolosuhteita, huomioimalla pölyyn ja likaan liittyvät huolet siivouksessa sekä hallitsemalla lämpötilavaihteluita tehokkaammin, esimerkiksi parantamalla henkilökunnan mahdollisuuksia säätää hyttien lämpötilaa. [7,11]. Tuloksia on esitetty taulukoissa 2.1 ja 2.2.

Taulukko 2.1. Sisäympäristökyselyn vastaukset yhdistettyinä (n=289) [7].

	Kyllä %	Joskus %	Ei %
Liian korkea lämpötila	20,4	27,4	52,3
Liian matala lämpötila	17,7	34,3	48,1
Voimakas lämpötilan vaihtelu	15,6	24,1	60,3
Liian voimakas ilmanvaihto	8,5	18,5	73,0
Puutteellinen ilmanvaihto	26,4	27,8	45,8
Tunkkainen ilma	22,2	19,7	58,1
Kuiva ilma	35,3	19,9	44,8
Kostea ilma	13,2	16,4	70,5
Homeen tai maakellarin haju	9,5	14,1	76,3
Tupakansavu	6,4	11,0	82,7
Muut hajuhaitat	16,4	23,9	59,6
Melu	37,1	30,8	32,2
Heikko valaistus	17,3	14,8	67,8
Heijastukset	7,1	8,9	84,0
Havaittava pöly tai lika	24,3	29,2	46,5

Taulukko 2.2. Sisäympäristökyselyn vastaukset eri työpisteiltä (*työpistekohtaiset vastaukset, yksittäisiä vastaajia 124 kpl) [7].

	Koko laivan keskiarvo N = 289*	Kansityöntekijät N = 37	Annikeluravintolat N = 44	Ruokaravintolat N = 127	Myymälät N = 19
Liian korkea lämpötila	20,4	2,7	38,6	20,2	0,0
Liian matala lämpötila	17,7	2,8	29,5	16,5	31,6
Voimakas lämpötilan vaihtelu	15,6	13,5	25,0	14,2	10,5
Liian voimakas ilmanvaihto	8,5	8,3	7,0	7,1	15,8
Puutteellinen ilmanvaihto	26,4	13,9	43,2	25,6	15,8
Tunkkainen ilma	22,2	13,5	36,4	17,8	15,8
Kuiva ilma	35,3	24,3	43,2	34,1	42,1
Kostea ilma	13,2	0,0	20,5	12,6	0,0
Homeen tai maakellarin haju	9,5	8,1	9,1	10,2	0,0
Tupakansavu	6,4	5,6	7,0	4,7	15,8
Muut hajuhaitat	16,4	8,6	22,7	14,4	21,1
Melu	37,1	21,6	65,9	34,1	31,6
Heikko valaistus	17,3	8,3	38,6	14,8	0,0
Heijastukset	7,1	8,6	11,4	3,9	0,0
Havaittava pöly tai lika	24,3	27,0	25,0	22,5	36,8

2.4 Johtopäätökset

- Tutkituissa tiloissa ei havaittu ei havaittu tavanomaisen julkisen tilan tai työympäristön sisäilmasta poikkeavia kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksia. Suurimmat pitoisuudet havaittiin ravintolatiloihin sekä silloin, kun laiva seisoivat satamassa.
- Mikrobien määrät seinäpinnoilla vaihtelivat paljon eri risteilyillä, mutta erityistä huomiota herättäviä löydöksiä ei tehty. Näissäkin näytteissä ravintolatiloihin löytyi eniten elinkykyisiä mikrobeja, mikä selittyy tilojen käyttötarkoituksella (korkea henkilökuormitus, ruoka-aineiden käsittely, biojätteet).
- Jatkuvatoimisten mittausten perusteella olosuhteet eri tiloissa olivat tavanomaisella julkisten sisätilojen tasolla, ja tavoitetasot ylittyivät vain hetkittäin. Tavoitetasojen ylittyminen liittyi yleensä tilan käyttöasteeseen tai toimintoihin (esimerkiksi ravintolatilojen lämpötilan, pienhiukkasten ja kemiallisten yhdisteiden korkeammat, vaikkakin hyväksyttävällä tasolla pysyvät, pitoisuudet).
- Kyselytutkimuksen mukaan eniten tyytymättömyyttä aiheuttivat melu, ilman kuivuus ja havaittava lika tai pöly. Tyytymättömyys sisäympäristöön vaihteli selvästi työpisteittäin: komentosillalla ja muilla työpisteillä, joilla ei ollut suurta väenpaljoutta, haittoja koettiin vähemmän, kun taas yökerhojen työntekijät kokivat eniten sisäympäristöhaittoja. Työympäristöä voisi parantaa esimerkiksi lisäämällä akustiikkaa parantavia ratkaisuja ja parantamalla lämpötilan säätömahdollisuuksia.
- Satamassaolonaikaiset kemiallisten yhdisteiden ja pienhiukkasten pitoisuudet ja muut sisäympäristöolosuhteet olisivat kiinnostava jatkotutkimusaihe.

Viitteet

1. Mandin, C., Trantallidi, M., Cattaneo, A., Canha, N., Mihucz, V.G., Szigeti, T., Mabilia, R., Perreca, E., Spinazzè, A., Fossati, S., De Kluizenaar, Y., Cornelissen, E., Sakellaris, I., Saraga, D., Hänninen, O., De Oliveira Fernandes, E., Ventura, G., Wolkoff, P., Carrer, P., Bartzis, J. Assessment of indoor air quality in office buildings across Europe – The OFFICAIR study. *Sci. Total Environ.* 579 (2017) 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.238>
2. Branco, P., Sousa, S., Dubzińska, M., Ruzgar, D.G., Mutlu, M., Panaras, G., Papadopoulos, G., Saffell, J., Scutaru, A.M., Struck, C., Weersink, A. 2024. A review of relevant parameters for assessing indoor air quality in educational facilities, *Environ. Res.* 261, 119713. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119713>
3. Ibrahim, F., Samsudin, E.Z., Ishak, A.R., Sathasivam, J. 2022. Hospital indoor air quality and its relationships with building design, building operation, and occupant-related factors: A mini-review, *Front Public Health.* 10, 1067764. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1067764>
4. Kim, S.S. & Lee, Y.G. (2010) Field measurements of indoor air pollutant concentrations on two new ships. *Building and Environment*, 45(10), 2141–2147. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.03.013>.
5. Mouchtouri, V.A., Nichols, G., Rachiotis, G., Kremastinou, J., Arvanitoyannis, I.S., Riemer, T., Jaremin, B., Hadjichristodoulou, C. SHIPSAN partnership. 2010. State of the art: public health and passenger ships, *Int Marit Health.* 61, 2 (2010) 49–98.
6. Langer, S., Österman, C., Strandberg, B., Moldanová, J., Fridén, H. 2020. Impacts of fuel quality on indoor environment onboard a ship: From policy to practice, *Transp. Res. D Transp. Environ.* 83, 102352. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102352>
7. Korja, N. 2023. Mitattu ja koettu sisäympäristön laatu risteilyaluksella. Diplomityö. Aalto-yliopisto. URN:NBN:fi:aalto-202403172794
8. Mähönen, V. 2024. Ravintolatyöntekijöiden altistuminen sisäilman epäpuhtauksille. Diplomityö. Aalto-yliopisto. URN:NBN:fi:aalto-202406164421
9. Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. 545/2015 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2015/545>
10. Abdullahi, K., Delgado-Saborit, J., Harrison, R. 2013. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: A review. *Atmospheric Environment*. Vol. 71. s. 260–294. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.061>
11. Anttila, E., Korja, N., Vornanen, C., Mikkola, R., Salonen, H. 2025. Perceived and Measured Indoor Environment Quality on a Cruise Ship. *Healthy Buildings Europe 2025. Proceedings of an ISIAQ International conference 8th - 11th June 2025 Reykjavík University, Iceland.*

3. Risteilyaluksen puhtaanapito ja sisäympäristö

3.1 Tausta ja tavoitteet

Laivoilla matkustajat ja miehistön jäsenet viettävät suurimman osan ajastaan sisätiloissa, jolloin sisäympäristön olosuhteet vaikuttavat olennaisesti matkustajien ja miehistön jäsenten terveyteen [1]. Merkittävimmät sisäilman epäpuhtauksien lähteet laivoilla ovat polttoaineiden pakokaasut ja hiukkaset, joiden vaikutusta voi lisätä tehoton ilmanvaihto. [2, 3]

Laki laivaväen työ- ja asuinympäristöstä sekä ruokahuollosta aluksella (395/2012) ja sen asetus (103/2025) määrittelee mm. ilmanvaihdosta seuraavaa: Koneellinen ilmanvaihto on pidettävä toimintakunnossa ja ilmanvaihtojärjestelmässä oleva lika ja muut epäpuhtaudet on puhdistettava säännöllisesti. Järjestelmän on toimittava niin, että laivaväen terveydelle ei aiheudu haittaa tai vaaraa. [4,5]

WHO:n ohjeissa [6] ei mainita pintojen puhtausnäytteiden keräämistä, eikä risteilyalusten pintojen puhtaudesta ole erityisiä määräyksiä. Risteilyalukset ovat kuitenkin merkittäviä virusten leviämisen lähteitä pandemioiden ja muiden epidemioiden aikana. Mouchtouri et al. [7] totesivat, että ihmisestä toiseen tarttuvien norovirusepidemioiden tehokas ehkäisy ja hallinta on haastavaa risteilyaluksilla.

Siivous on tärkeää sisäilman kannalta ja se, miten siivotaan, vaikuttaa sisäilman laatuun. Sisäilman huomioivissa siivoustavoissa pitää huomioida pölynsidonta. Pöly koostuu erilaisista kiinteistä hiukkasista, jotka ovat liittyneet yhteen ja laskeutuneet pinnoille. Pahimmillaan huonosti toteutettu siivous nostaa valtavan hiukkasmäärän sisäilmaan. Siivouksen ajankohta tulee huomioida, jotta pöly ehtii laskea pinnoille siivottavaksi. [8]

Kertakäyttöiset mikrokuitupyyhkeet ovat usein hieman ohuempia, mutta toimivat Vile-dan tutkimuksen mukaan yhtä hyvin kuin kestokäyttöisetkin pyyhkeet [9]. Myös kertakäyttöisiä mikrokuitupyyhkeitä tulisi kostuttaa, taitella ja käännellä sekä vaihtaa tarpeeksi usein esimerkiksi pöytiä pyyhittäessä.

Tällä osatutkimuksella oli neljä päätavoitetta:

1. Kartoittaa tutkimuksen kohteena olevan risteilyaluksen siivouskäytännöt.
2. Tutkia erilaisia pyyhintämenetelmiä ja pintojen puhtautta.
3. Tutkia pintapuhtautta ja virusten esiintymistä pinnoilla.
4. Analysoida kerättyä sisäilmastodataa.

3.2 Aineisto ja menetelmät

3.2.1 Risteilyaluksen siivouskäytännöt

Ensimmäisessä osatutkimuksessa kartoitettiin risteilyaluksen siivouskäytäntöjä. Risteilyaluksia siivotaan sekä maissa että risteilyjen aikana. Satamissa siivouksen tekee tehtävään valitun palveluntuottajan siivoushenkilöstö ja risteilyn aikana laivan oma siivous- ja tarjoilohenkilöstö.

Tutkimuksessa haastateltiin satamassa laivasiivousta tekeviä palvelutuottajan työntekijöitä puolistrukturoiduilla haastatteluilla (11 henkilöä) ja siivoojien työskentelyä myös havainnoitiin paikan päällä. Lisäksi siivouksesta vastaaville palveluntuottajan esihenkilöille tehtiin erikseen oma sähköinen kysely. Vertaisarvioinnin näkökulmasta käytiin tutustumassa myös toisen laivayhtiön laivasiivoukseen, jossa palvelun tuottajana toimi sama siivousyritys.

3.2.2 Risteilyaluksen pintojen puhtaus ja pyyhintämenetelmät

Toisessa osatutkimuksessa vertailtiin kolmen erilaisen siivouspyyhkeen puhdistuskykyä. Puhdistusmenetelminä käytettiin nihkeitä ja kosteita siivousmenetelmiä, joissa vertailtavat siivouspyyhkeet kostutettiin joko pelkällä vesijohtovedellä tai puhdistusaineliuoksella. Kohteista otettiin kolme ATP- (luminometri) menetelmän pintapuhtausnäytettä pintaa kohti sekä ennen että jälkeen pyhinnän. Luminometrinäytteet kirjattiin heti paikan päällä taulukkoon. Näytteitä otettiin yhteensä 96 kpl.

3.2.3 Risteilyaluksen pintapuhtausnäytteet ja virusten esiintyminen pinnoilla

Kolmannessa osatutkimuksessa keskityttiin ajantasaiseen pintojen puhtauteen, jonka toteamiseksi pinnoilta otettiin ATP-näytteitä (Kuva 3.1), joiden tulokset kirjattiin heti taulukkoon. ATP-mittausta käytetään pintapuhtauden yleismittarina. Näytteitä otettiin kaikkiaan kolmella eri risteilyllä, kaikkiaan 68 kpl. Näytteidenottokohteet olivat samat joka risteilyllä.



Kuva 3.1. Pyyhkäisynäytteiden keräystä risteilyaluksella virusten esiintymisen tutkimiseksi pinnoilla.

ATP-mittaus ei pysty mittaamaan virusten esiintymistä näytteissä. Tämän takia virusten havaitsemiseksi pinnoilta otettiin myös pyyhkäisynäytteitä, jotka analysoitiin qPCR- (kvantitatiivinen polymeerasiketjureaktio) menetelmällä. Menetelmällä pystytään havaitsemaan tarkasti viruksen nukleinihappoa, joka indikoi viruksen esiintymistä pinnoilla. Huomioitavaa on, että menetelmä ei osoita viruksen infektiokykyisyyttä. Näytteitä otettiin kolmella eri risteilyllä yhteensä 50 kpl.

3.2.4 Sisäilmastodatan analysointi

Laivan sisäilman laatua seurattiin valikoiduissa tiloissa jatkuvatoimisilla mittalaitteilla (Airlyse Oy) kymmenen kuukauden ajan (3/2024–1/2025). Laitteen anturit mittaavat useita eri sisäilman laadun parametrejä, kuten hiilidioksidipitoisuus (CO₂), pienhiukkaset (PM_{2.5} ja PM₁₀), suhteellinen kosteus (RH), lämpötila (T) sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Näistä tarkastellaan tässä tutkimuksessa hiilidioksidia ja pienhiukkasia.

3.3 Keskeiset tulokset

3.3.1 Risteilyaluksen siivouskäytännöt

Ensimmäisen osatutkimus toi esille satamassa tehtävän laivasiivouksen kehityskohteita, erityisesti siivousvälineiden ja niiden laadun osalta, sekä korosti perehdytyksen ja koulutuksen merkitystä. Monikulttuurisuus ja sen tuomat haasteet oli huomioitu hyvin. Siivousvälineiden saatavuutta ja valikoimaa tulisi parantaa ammattimaisempaan suuntaan. Näin vaikutettaisiin työn laatuun ja sen kautta työstä tulisi tehokkaampaa, ergonomisempaa ja myös sisäilman laatu parantuisi. [10]

3.3.2 Risteilyaluksen pintojen puhtaus ja pyyhintämenetelmät

Toisessa osatutkimuksessa osoitettiin, että kestäkäyttöiset puhdistusaineella kostutetut mikrokuitupyyhkeet olivat tehokkaampia kuin kertakäyttöiset tuotteet. Pyyhinnän tehokkuus osoitettiin luminometrin pintapuhtaustulosten perusteella. Tällä näytemäärällä vaikuttaa siltä, että vesijohtovedellä saatiin jopa parempia tuloksia kuin puhdistusainetta käyttämällä. Oikeat pyyhintämenetelmät ovat välttämättömiä hyvän hygienian ylläpitämiseksi. Hyväksi/puhtaaksi pinta arvioitiin, mikäli RLU (Relative Light Unit) oli alle 20, hyväksyttäväksi/varoittavaksi RLU 21–50 ja huonoksi yli 50. Mittaustuloksille ei ole olemassa virallisia raja- tai ohjearvoja, vaan ne on määritelty tässä työssä tutkijoiden toimesta. Taulukossa 3.1 on esimerkki tuloksista.

Taulukko 3.1. Pintapyyhinnän tuloksia [11].

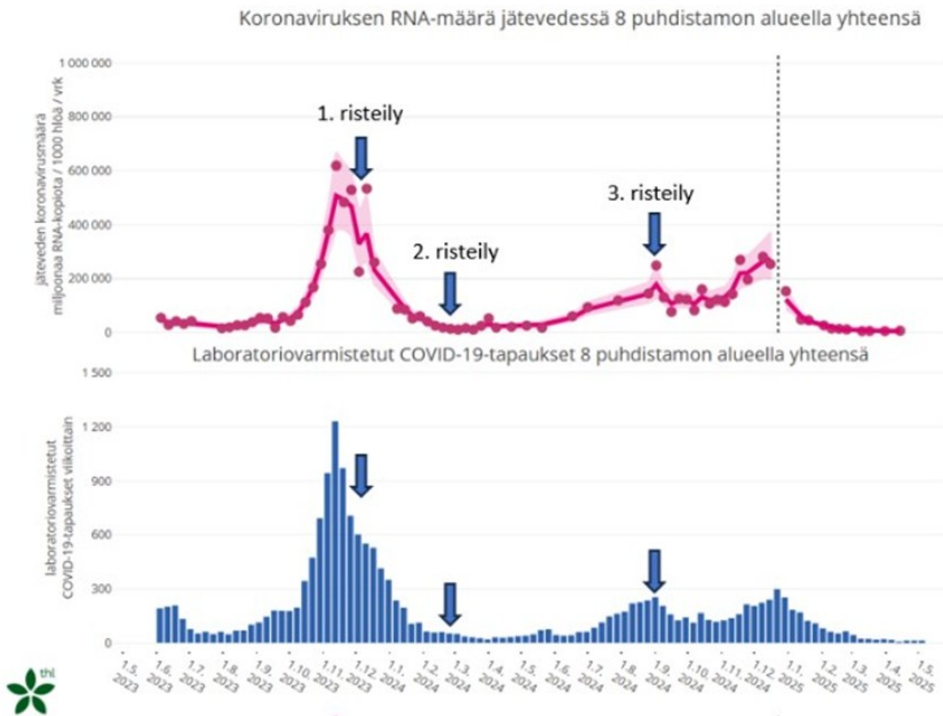
Ennen pyyhintää (RLU)			Pyyhe	Menetelmä	Liuos	Pyyhinnän tulos (RLU)		
256	57	92	Kertakäyttö	Kostea	Vesi	27	31	26
258	67	163	Kertakäyttö	Kostea	Puhdistusaine	61	41	49
38	115	26	Mikrokuitu, kestäkäyttö	Nihkeä	Vesi	14	0	45
41	211	114	Mikrokuitu, kestäkäyttö	Nihkeä	Puhdistusaine	61	92	92
16	123	172	Mikrokuitu, kestäkäyttö	Kostea	Vesi	20	32	46
76	88	510	Mikrokuitu, kestäkäyttö	Kostea	Puhdistusaine	40	43	47
62	92	176	Mikrokuitu, kertakäyttö	Nihkeä	Vesi	47	49	46
133	74	54	Mikrokuitu, kertakäyttö	Nihkeä	Puhdistusaine	33	90	43

3.3.3 Risteilyaluksen pintapuhtausnäytteet ja virusten esiintyminen pinnoilla

ATP-mittauksia otettiin kaikkiaan 68 kpl kolmen eri risteilyn aikana. Tuloksista viiden arvo oli alle 50 RLU, ja paras yksittäinen tulos 5 RLU. Yli 50–100 RLU:n tuloksia oli 12, joten 75 % tuloksista oli todella huonoja. Huonoin arvo oli 6038 RLU. Huonot tulokset saattavat osaltaan johtua näytteenoton rikkomasta biofilmistä tai vain pintojen pinttymisestä ja tehokkaamman puhdistuksen tarpeesta. Toinen selitys huonoille tuloksille voi olla, että vaikka tavoitteena oli mitata pintojen puhtaus mahdollisimman pian siivouksen jälkeen, niin kaikkia näytteitä ei päästy ottamaan heti siivouksen jälkeen. Toki tuloksista voidaan päätellä silti yleinen siivouksen taso.

qPCR-näytteistä analysoitiin enterovirus, rinovirus, SARS-CoV-2-koronavirus, influenssa A-virus ja norovirus. Kaikki näytteet olivat negatiivisia entero-, rino- ja norovirusten suhteen. Risteilyltä 1 (marraskuu 2023) kerätyissä näytteissä oli kolme positiivista SARS-CoV-2-koronavirusnäytettä. Risteilyllä 2 (helmikuu 2024) kerätyistä näytteistä löytyi yksi positiivinen influenssa A-virusnäyte ja risteilyllä 3 (elokuu 2024) kerätyissä näytteissä oli kaksi SARS-CoV-2-positiivista näytettä. Virusten määrät kaikissa positiivisissa näytteissä olivat vähäiset. Positiivinen influenssa A-virusnäyte on otettu samasta kohteesta kuin kolmannen risteilyn positiivinen SARS-CoV-2-koronavirusnäyte. Kyseessä olivat kuitenkin eri risteilyt. Kohde on aluksen sisääntulossa kävelykannella. Mielenkiintoinen yksityiskohta oli se, että ATP-mittausten tuloksissa samasta kohteesta saatiin puhtain näyte kolmannella risteilyllä.

Saaduilla tuloksilla näyttäisi olevan yhteys koronaviruksen esiintymiseen väestössä Suomessa. Ajanjaksoina, jolloin laboratoriovarmistettuja COVID-19-tapauksia oli enemmän ja jätevesinäytteistä löytyi korkeampia määriä koronavirusta, myös risteilyalukselta kerätyistä näytteistä löytyi enemmän koronaviruspositiivisia näytteitä (Kuva 3.2).



Kuva 3.2. Korona (COVID-19) jätevedessä ja laboratoriovarmistetut tapaukset verrattuna risteilyihin, joilla havaittiin näytteissä virusta [11].

3.3.4 Sisäilmadatan analysointi

Taulukossa 3.2 on yhteenvedo ilmanlaadun mittauksista. Jokaiselle suurelle (CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ ja PM_{10}) on laskettu keskiarvo (mean) ja keskihajonta (std) koko mittausjaksolla. Hiilidioksidipitoisuuksien keskiarvot olivat maltillisella tasolla ja keskihajonnalla lisättynäkin alle S1-sisäilmaluokan raja-arvon (750 ppm, Sisäilmastoluokitus 2018). Hiukkasten osalta $\text{PM}_{2.5}$:n keskiarvo pysyi myös pääosin alle S1-tason raja-arvon sisällä ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lukuun ottamatta keittiöpöytälikön hyttiä, jossa keskiarvo oli jopa $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Huomataan myös, että hiukkasten keskihajonta on kaikissa kohteissa suurempi kuin keskiarvo, mikä kuvaa pitoisuuden suurta hajontaa eri tilanteissa. PM_{10} -pitoisuudet ovat lähes samaa tasoa kuin $\text{PM}_{2.5}$, mikä viittaa siihen, että hiukkaset olivat pääosin pieniä, $\text{PM}_{2.5}$ -kokoluokkaan kuuluvia.

Tulokset osoittavat, että matkustajalaivan eri osissa ilmanlaatu vaihtelee merkittävästi riippuen ilmanvaihdon tehokkuudesta, henkilömäärästä, toimintojen intensiteetistä, kuten kokkaamisesta, sekä ulkoisista tekijöistä, kuten satamissa tapahtuvista toiminnoista. Eri paikkojen ilmanlaatu oli pääosin hyvä, mutta ruuhka-aikoina ja yöllä mittaukset indikoivat ajoittain riittämätöntä ilmanvaihtoa. On hyvä huomioida, että matkustajalaivoissa minimi-ilmanvaihtotaso on tyypillisesti vähintään 6 vaihtoa tunnissa, eli suurempi kuin rakennusten ilmanvaihdossa.

Taulukko 3.2. Tilastolliset lukuarvot, keskiarvo (mean) ja keskihajonta (std), jokaiselle suurelle (CO₂, PM2.5 ja PM10) mittausjaksolla eri mittauskohteissa.

	CO ₂ mean (ppm)	CO ₂ std (ppm)	PM2.5 mean (µg/m ³)	PM2.5 std (µg/m ³)	PM10 mean (µg/m ³)	PM10 std (µg/m ³)
Henkilöstöravintola	539	86	2	3	2	4
Kuntosali	544	69	3	5	4	6
Komentosilta	469	20	2	5	2	7
Info	490	37	1	2	2	3
Hytti (keittiöpäällikkö)	566	116	24	961	25	961
Ravintolan avokeittiö	515	57	10	46	11	49
Buffet, ravintolasali	486	92	9	84	13	130
Buffet, keittiö	491	78	4	10	4	12

3.4 Johtopäätökset

- Hyvät ja ajantasaiset siivousvälineet helpottavat siivousta ja mahdollistavat työn tekemisen ergonomisesti oikein. Oikein valitut ja kohdennetut siivousmenetelmät sekä mikrokuituisten siivouspyyhkeiden käyttö helpottavat hyvän hygienian ylläpitoa.
- Osa tutkituista pinnoista pitäisi puhdistaa huolellisemmin, jotta tavoiteltu puhtaustaso saavutetaan. Tutkimuksessa havaittiin viruksia pinnoilta, mutta virusmäärät olivat vähäisiä.
- Ilmanlaadun mittaukset indikoivat, että matkustajalaivan ilmanlaatu täyttää suurimmalta osin kansalliset ja kansainväliset suositukset, mutta parannettavaa on erityisesti ruuhkaisissa ja ilmanvaihdoltaan haastavissa tiloissa.
- Ilmanlaadun jatkuva valvonta mahdollistaa suojaustoimien täsmällisen lisäämisen henkilökunnan turvallisuuden takaamiseksi, esim. hengityssuojaimien käyttö raja-arvot ylittävissä tilanteissa.
- Siivouskemikaalien käyttömäärien vähentäminen ja ekologisempien vaihtoehtojen suosiminen on suositeltavaa tarpeettoman kemikaalialtistuksen vähentämiseksi.

Viitteet

1. Mouchtouri, V.A., Nichols, G., Rachiotis, G., Kremastinou, J., Arvanitoyannis, I.S., Riemer, T., Jaremin, B., Hadjichristodoulou, C., SHIPSAN partnership. 2010. State of the art: public health and passenger ships. *Int Marit Health*. Vol. 61(2). 49–98.
2. Langer, S., Österman, C., Strandberg, B., Moldanová, J., Fridén, H. 2020. Impacts of fuel quality on indoor environment onboard a ship: From policy to practice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 83.
3. Tamsi, N.S.F., Maryam, Z., Kamaruddin, A.F., Mohammad Naufal, M.S., Norhidayah, A., Ariffin, A. 2023. Concentration of Indoor Air Chemical Parameters at Different Ship Conditions and Engine Sequences. *ASM Science Journal*. Vol 18.3
4. Laki laivaväen työ- ja asuinympäristöstä sekä ruokahuollosta aluksella (395/2012) <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2012/395>
5. Valtioneuvoston asetus laivaväen asuinympäristöstä aluksella 20.3.2025/103 <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2025/103>
6. WHO. 2011. Guide to ship Sanitation. Third Edition. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241546690>
7. Mouchtouri V., Simou E., Soteriades S., Rousou X., Kontouli K. M., Kafetsouli D., Kourentis L., Anagnostopoulos L., Hadjichristodoulou C. 2024. Systematic literature review and meta-analysis on preventing and controlling norovirus outbreaks on cruise ships, 1990 to 2020: calling for behaviour change strategies of travellers. *Euro Surveill*. 2024;29(10): pii=2300345. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2024.29.10.2300345>
8. Leppänen, H. FT. 2022. Kuinka siivouksella voidaan vaikuttaa sisäilmaan. Sisäilmayhdistyksen webinaari: Siivouksen vaikutukset sisäilman laatuun 31.5.2022.
9. Vileda. 2008. An Investigation of the antimicrobial efficacy of Vileda professional's Microroll microfibre cloth. PDF-tiedosto. Viitattu 4.10.2025. MicroRoll Antimicrobial Efficacy
10. Ekqvist, S. & Niitynpolku, A. 2024. Siivouskäytäntöjen kartoittaminen risteilyaluksella. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024051411843>
11. Kakko, L. Reunanen, E., Saari, S. Vornanen-Winqvist, C., Oikarinen, S., Lehto, K-M., Salonen, H. 2025. Risteilyaluksen puhtaanapito ja sisäympäristö. *Rakennusfysiikka 2025*. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 28.–29.10.2025, Tampere. 481–486.

4. Ilmanvaihdon tehokkuus tartuntariskin tilanteessa risteilyaluksella

4.1 Tausta ja tavoitteet

Suuret risteilyalukset, jotka kykenevät kuljettamaan yli 3 000 matkustajaa, ovat kasvattaneet suosiotaan matkustusmuotona [1]. Samalla on tutkittu, että hengitystieinfektiot ovat yleisiä tartuntatauteja risteilyaluksilla [2]. Esimerkiksi 22,3 % valtamerialuksista raportoi vähintään yhden COVID-19-tapauksen tammi-lokakuun välisenä aikana vuonna 2020 [3]. Tartuntatautien leviämisen riskin välttämiseksi, erityisesti COVID-19-pandemian kontekstissa, on tärkeää arvioida erityyppisten alusten ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien toimintaa [4].

Lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmiä (HVAC) on käytetty ensisijaisina tautien leviämisen hallintakeinoina aluksilla. Kuitenkin, jos näitä järjestelmiä ei käytetä oikein, ne voivat edistää ilmateitse leviävien tautien siirtymistä, kuten Diamond Princess -risteilyaluksen tapauksessa havaittiin [5–7]. Diamond Princessin tutkimus on yksi merkittävimmistä COVID-19-tartunnan leviämistapaustutkimuksista, joka osoitti ilman kiertäyksen roolin viruksen siirtymisessä. Lisäksi tämä tutkimus oli yksi ensimmäisistä todisteista koronaviruksen leviämisestä ilmateitse aerosolien välityksellä [6,7].

Yleisimmät ilmanvaihtoratkaisut risteilyaluksissa ovat koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ulkoilmalla sekä kiertoilmaa käyttävä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto [4,8]. Kierrätysperustaisessa koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdoissa ilmastointijärjestelmä on yleensä integroitu ilmanvaihtojärjestelmään, jolloin lämmitys- sekä jäähdytystarpeet hoidetaan säätämällä tuloilman lämpötilaa. Kierrätysjärjestelmän rooli viruksen siirtymisessä on osoitettu tutkimuksissa [6,7]. Yleensä kierrätystä ei voida sammuttaa, koska järjestelmä ei pystyisi enää varmistamaan tilojen tehokasta jäähdytystä tai lämmitystä, kun se on suunniteltu kierrättämään 40–60 % kokonaisilmavirrasta [4]. Tästä syystä viruksen leviämisen vähentämiseen liittyvät suositukset korostavat, että ilmavirran lisäämistä, tehokkaiden suodattimien käyttöä ja kehittyneitä ilmastointijärjestelmien käyttöstrategioita tulisi harkita [9].

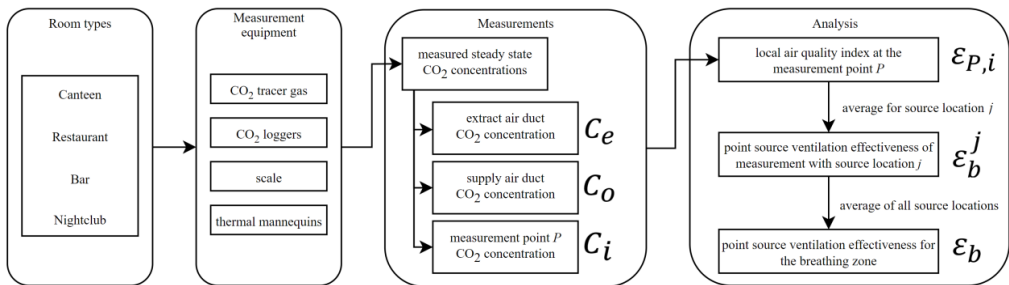
Useissa COVID-19-tutkimuksissa klassista Wells-Riley-mallia käytetään lähietäisyyden ulkopuolella ilmateitse tapahtuvan infektioriskin laskemiseen [10–12]. Kuitenkin tämä malli rajoittuu täysin sekoittuvaan ilmaan yhdessä vyöhykkeessä, minkä vuoksi ilmateitse tapahtuvan infektion riski voi jäädä aliarvioituksi tai yliarvioituksi [12]. Todellisen ilmanjakoratkaisun ilmanvaihdon tehokkuuden huomioon ottamiseksi REHVA [13] ja Kur-nitski ym. [14] ovat esittäneet uuden menetelmän, jota käytetään seuraavassa.

Tämän tutkimuksen päätavoitteena on arvioida ilmanvaihdon tehokkuutta (ε_b) pistemäisen epäpuhtauslähteen tapauksessa nykyaikaisten risteilyalusten yhteisissä tiloissa. Nämä arvot on laskettu useamman pistemäisellä lähteellä suoritettujen merkkiainemittauksen ilmanvaihdon tehokkuudesta (ε_b^j), jossa j :llä merkitään lähteen sijaintia. Laskettaessa ε_b^j käytetään paikallisia ilmanlaatuindeksejä hengitysvyöhykkeellä sijaitsevilla

mittauspisteissä P ($\varepsilon_{P,i}$), jotka puolestaan lasketaan merkkiaineena käytetyn CO_2 -kaasun tasapainopitoisuuksista ko. pisteissä ja poistoilmassa. Yhteenvetona ε_b -arvot antava käsityksen ilmanvaihdon tehokkuudesta. Näitä ε_b -arvoja ehdotetaan käytettäväksi korjauskertoimena infektioriskiä perustuvassa ilmanvaihdon mitoituksessa [13–15], kun tiedetään täydellisen sekoittumisen tavoiteilmamäärä.

4.2 Aineisto ja menetelmät

Tässä osiossa esitellään tutkimuksessa käytetyt pääasialliset menetelmät. Tutkimusmetodologian prosessikaavio on esitetty kuvassa 4.1. Tutkittavat tilat valittiin huolellisesti yhteistyössä aluksen päälliköiden kanssa. Jotta mittaukset onnistuisivat, HVAC-henkiöstö varmisti, että tutkittujen tilojen suunnitellut ilmavirta-arvot ja lämpötilat olivat oikein. Alla kuvataan mitattujen risteilyaluksen tilojen tiedot, mittauslaitteet ja ilmanvaihdon tehokkuuden laskenta.



Kuva 4.1. Tutkimusmetodologian prosessikaavio.

Tutkittu nykyaikainen risteilyalus on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on lämmön talteenotto. Järjestelmässä ei käytetä kiertoilmaa. Osassa tiloista käytettiin täydentävää lämmitystä ja jäähdytystä puhallinkonvektoreilla. Tutkituista tiloista palvelevat ilmankäsittelykoneet olivat kaikki varustettu pyörivillä lämmönsiirtimillä.

Hyttien ja joidenkin yhteistilojen ilmanvaihtojärjestelmässä on kaksi tuloilmakanavaa: yksi kylmälle ilmalle ja toinen lämpimälle ilmalle. Jos hyttiin ilmaantuu jäähdytystarvetta, tuloilma tulee kylmän ilman kanavan kautta, ja jos tilassa on lämmitystarve, ilma johdetaan lämpimän ilman kanavan kautta. Tutkituissa ruokasaleissa, ravintoloissa, baareissa ja yökerhoissa on vain yksi tuloilmakanava. Tarvittaessa ilmaa lämmitetään tuloilmakanavaan asennetulla vesipohjaisella jälkilämmityspatterilla.

Tutkituissa tiloissa tuloilma johdettiin perforoidun katon kautta. Lisäksi joidenkin tuloilmalaitteiden avulla kompensoitiin paikallisia poistoventtiilejä, kuten keittiöiden liesituulettimia. Poistoventtiilit sijaitsivat yleensä perforoidun katon takana, mutta jokaisessa tilassa oli myös 1–3 poistoventtiiliä, jotka oli asennettu samalle tasolle katon kanssa.

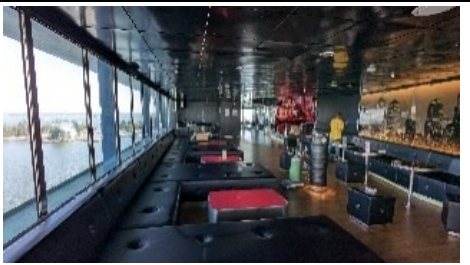
Mittausten aikana laivan ilmanvaihto laitettiin toimimaan normaalin risteilytilan asetuksella.

4.2.1 Risteilyaluksen yhteistilat

Mittaukset suoritettiin kesäkuussa 2023 risteilyaluksella Helsingissä. Testit aloitettiin aluksen saavuttua satamaan ja ne päättyivät ennen laivan lähtöä. Kokeet suoritettiin siten,

että ulkopuoliset henkilöt tai muut tekijät eivät vaikuttaneet hiilidioksidipitoisuuksien mittauksiin. Tutkimuksessa käytetyt tilat on kuvattu taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1. Ilmanvaihdon tehokkuusmittauksiin valittujen tilojen kuvaus.

Tapaus	Kuva
Henkilökunnan ruokasali $A = 242 \text{ m}^2$ $h = 2.5 \text{ m}$ $Q = 0.43 \text{ m}^3/\text{s}$	
Ravintola $A = 135.0 \text{ m}^2$ $h = 3.1 \text{ m}$ $Q = 0.57 \text{ m}^3/\text{s}$	
Baari $A = 203.0 \text{ m}^2$ $h = 3.1 \text{ m}$ $Q = 0.76 \text{ m}^3/\text{s}$	
Yökerho $A = 492.0 \text{ m}^2$ $h = 4.5 \text{ m}$ $Q = 1.88 \text{ m}^3/\text{s}$	

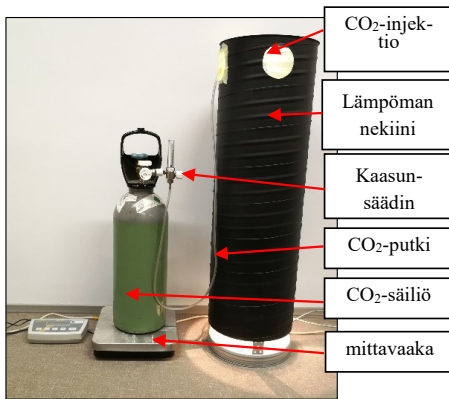
4.2.2 Mittauslaitteet

Ilmanvaihdon tehokkuuden (ε_b) arviointiin käytettiin merkkiainemittauksia hiilidioksidilla (CO_2), mikä on todettu hyvin toimivaksi merkkiaineeksi [16–20]. CO_2 -pitoisuuksia mitattiin hengitystasolla (korkeus $h = 1,1 \text{ m}$), tuloilmassa ja poistoilmassa käyttäen dataloggereita. Kaasujen annosteluun käytettiin punnitusvaakoja. Mittauslaitteiden yksityiskohtaiset tiedot on esitetty Taulukossa 4.2 ja Kuvassa 4.2.

Taulukko 4.2. Mittauslaitteiden tekniset tiedot: CO₂-pitoisuusmittari [21] ja kaasumassan punnitusvaaka [22].

	Onset HOB0 MX1102A Data Logger	Kern FKB
Parametrit	CO ₂ -pitoisuus	Paino
Mittausalue	0...5000 ppm	0.002...65 kg
Tarkkuus	±50 ppm + ±5 %	±0.001 kg
Kuva		

Lämpömannekiineja käytettiin matkimaan henkilöistä aiheutuvia lämpökuormia. Yksi mannekiineista toimi samalla merkkiainelähteenä, pumpaten jatkuvasti merkkiainetta huoneeseen CO₂-kaasupullosta.



Kuva 4.2. CO₂-kaasupulloon kytketty lämpömannekiini, joka toimii merkkiainelähteenä.

4.2.3 Ilmanvaihdon epäpuhtauksien poistotehokkuuden laskenta

ε_b ilmaisee järjestelmän kyvyn poistaa ilman epäpuhtauksia huoneesta [16]. ε_b lasketaan eri paikoissa sijaitsevilla epäpuhtauslähteillä suoritettujen kokeiden tuloksena saatujen arvojen ε_b^j keskiarvona. ε_b^j :n laskennassa (kaava 1) on määritettävä hengitysvyöhykkeellä sijaitsevien mittauspisteiden paikallisten ilmanlaatuindeksien ($\varepsilon_{p,i}$) keskiarvo. $\varepsilon_{p,i}$:n laskenta (kaava 2) perustuu mittauspisteiden tasapainopitoisuuksiin $\varepsilon_{p,i}$. C_o edustaa tuloilman pitoisuutta ja C_e on pitoisuus poistoilmakanavassa [13].

$$\varepsilon_b^j = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{\varepsilon_{p,i}} \right)}{k}} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{p,i} = \frac{C_e - C_o}{C_{p,i} - C_o} \quad (2)$$

Tulosten visualisointiin käytettiin Python-ohjelmointikiellä tehtyä scripttiä SciPy- ja Matplotlib-kirjastojen avulla.

4.3 Keskeiset tulokset

Henkilökunnan ruokasalissa voitiin suorittaa vain yksi mittaus, kun kaikissa muissa tutkituissa tiloissa mittauksia tehtiin kaksi. Tiloissa, joissa suoritettiin kaksi mittausta, merkkiaineen lähteen sijainti oli ensimmäisessä mittauksessa lähellä poistoelementtiä ja toisessa mahdollisimman kaukana poistoista. Henkilökunnan ruokasalissa mittauspiste valittiin siten, että se oli riittävän kaukana poistoventtiilien sijainnista.

Huoneen epäpuhtauksien poistotehokkuuden ε_b mittausarvot vaihtelivat välillä 0,60–0,97 (Taulukko 4.3). Voidaan päätellä, että vain henkilökunnan ruokasalissa huoneen ilmanvaihdon tehokkuus oli lähellä sekoittuvaa ilmanvaihtoa ($\varepsilon_b=1,0$). Muissa mitatuissa tiloissa ilmanvaihdon tehokkuus oli huomattavasti alhaisemmalla tasolla.

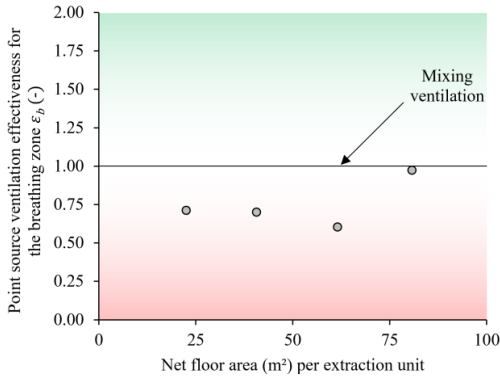
Paikallisten yksittäisten epäpuhtauksien poistotehokkuuden mittausten (ε_b^j) tulokset vaihtelivat välillä 0,50–0,97 (Taulukko 4.3). Korkein arvo mitattiin ruokasalissa ($\varepsilon_b^j = 0,97$, Kuva 4.7), mikä on lähellä täydellistä sekoittumista. Matalimmat arvot mitattiin yökerhossa ($\varepsilon_b^j = 0,50$) ja ravintolassa ($\varepsilon_b^j = 0,57$, Kuva 4.6).

Taulukko 4.3. Pistemäisellä epäpuhtauslähteellä mitattu epäpuhtauksien poistotehokkuus (ε_b^j) lähteen sijainneilla j , ja mittausten keskiarvo (ε_b) kyseisissä tiloissa.

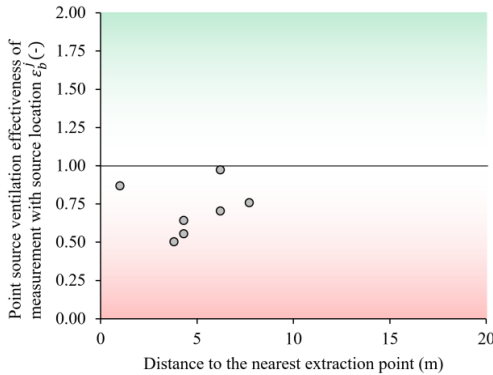
Huone	ε_b^j	ε_b
Henkilökunnan ruokasali	0.97	0.97
Ravintola, lähteen sijainti 1	0.56	0.71
Ravintola, lähteen sijainti 2	0.87	
Baari, lähteen sijainti 1	0.64	0.70
Baari, lähteen sijainti 2	0.76	
Yökerho, lähteen sijainti 1	0.70	0.60
Yökerho, lähteen sijainti 2	0.50	

Poistoyksikköä kohden laskettu netto-lattiapinta-ala (Kuva 4.3) vaihteli välillä 23–81 m²:n ja etäisyys lähimpään poistoventtiiliin (Kuva 4.4) vaihteli 2,5–4,5 metrin välillä. Tutkimuksessa ei havaittu suoraa korrelaatiota lattiapinta-alan ja huoneen ilmanvaihdon tehokkuuden välillä. Myöskään lähimmän poistoventtiilin etäisyydellä ja ilman laadun indeksin $\varepsilon_{p,i}$ arvoilla ei ollut merkitsevää yhteyttä, eikä poistopisteiden keskiarvolla (Kuva 4.5) ollut merkittävää vaikutusta tuloksiin.

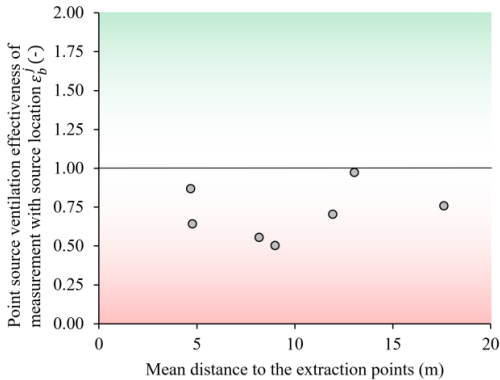
Voidaan olettaa, että poistopisteiden määrän lisääminen ja etäisyyksien lyhentäminen parantaisi ε_b^j ja ε_b tuloksia. Kuitenkin tämän tutkimuksen mittaustulokset osoittavat, että poistopisteiden sijainnilla ei ollut merkittävää vaikutusta huoneen ilmanvaihdon tehokkuuden arvoihin. Tulokset voidaan yleistää siten, että tämä ei ole yksinkertainen nyrkkisääntö, vaan muut ilmanjaon suunnittelun parametrit, erityisesti se miten tuloilma johdetaan tilaan, on otettava huomioon. Lisäksi tutkimuksessa oli liian vähän mittauspisteitä, jotta olisi voitu tehdä tilastollisesti luotettavaa korrelaatioanalyysiä.



Kuva 4.3 Epäpuhtauksien poistotehokkuus poistovenktiiliin netto-lattiapinta-alaa kohden.



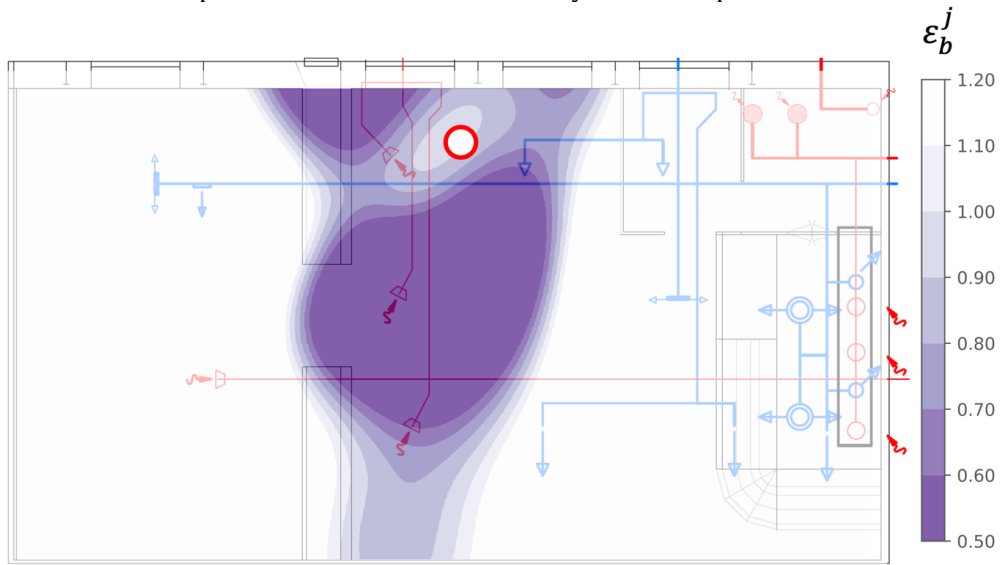
Kuva 4.4. Yksittäisten epäpuhtauksien poistotehokkuuden mittausten tulokset (lähteen sijainti j) suhteutettuna etäisyyteen lähimpään poistopisteeseen.



Kuva 4.5. Yksittäisten epäpuhtauksien poistotehokkuuden mittausten tulokset (lähteen sijainti j) suhteutettuna keskimääräiseen etäisyyteen poistopisteestä.

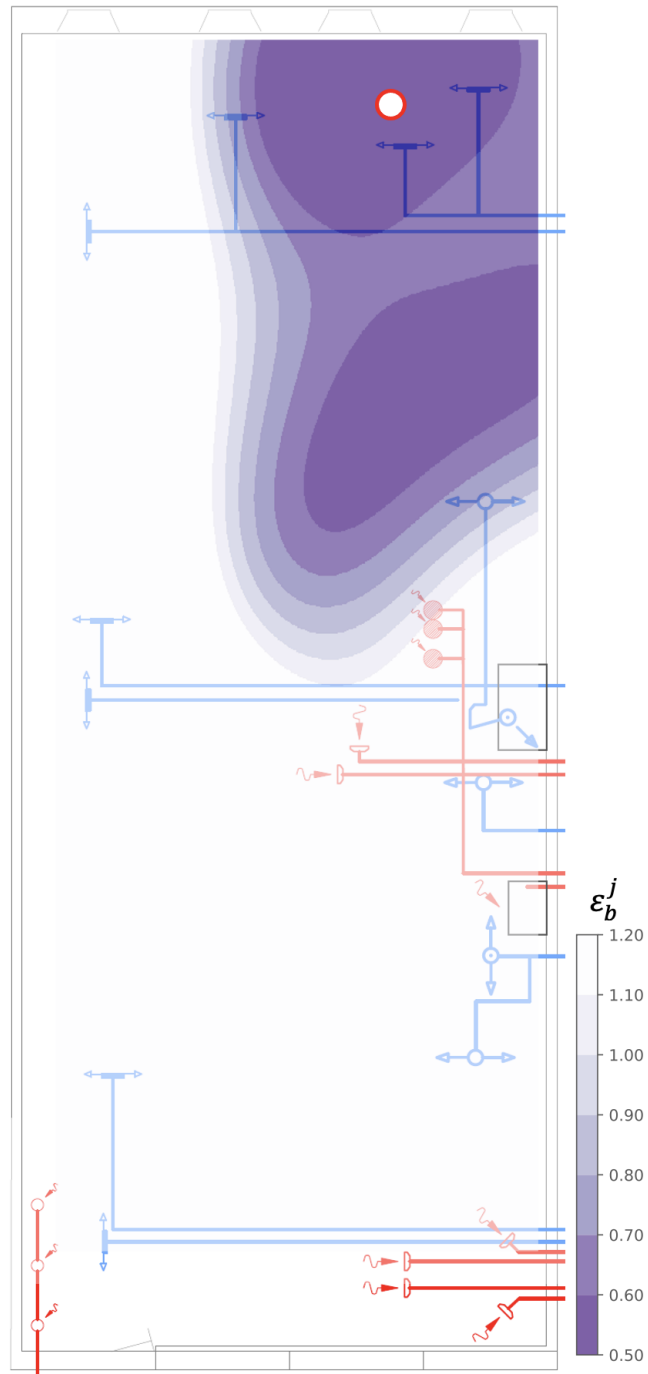
ϵ_b^j :n tulokset epäpuhtauslähteen sijainnilla on visualisoitu henkilökunnan ruokasalin ja ravintolan pohjapiirrokseen (sijainti 2) kuvissa 4.6 ja 4.7. Kuten kuvasta 4.6 näkyy, ravintolan tilojen välissä on jakava väliseinä läpikulkuaukolla. Kun piste 2 on ensimmäisessä, suuremmassa tilassa, paikallisen ilmanlaatuindeksin arvot ovat huomattavasti korkeammat takahuoneessa. Tämä osoittaa, että ilman sekoittuminen ravintolan osien välillä on rajoittunutta, mikä rajoittaa myös ilmateitse leviävien tautien siirtymistä näiden tilojen välillä. Myös kuva 4.7 osoittaa, että henkilökunnan ruokasalin yhdessä päädyssä sijaitseva

epäpuhtauslähde ei ole sekoittunut koko tilan ilmaan, vaan korkeampi pitoisuus ja sitä vastaava alhaisempi ilmanlaadun indeksi on edennyt noin tilan puoliväliin asti.



Kuva 4.6. Paikalliset ilmanlaatuindeksin arvot ravintolassa.

Mittausten rajoituksena on otettava huomioon yleisesti suuret lattiapinta-alat, osittain avoimet tilat sekä ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmavirtojen vaihtelu, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi ilmanvaihdon tehokkuuden mittaustarkkuuteen näissä tiloissa.



Kuva 4.7. Paikalliset ilmanlaatuindeksin arvot henkilökunnan ruokasalissa.

4.4 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa analysoitiin risteilyaluksen yleisiä tiloja (henkilökunnan ruokasali, ravintola, baari ja yökerho) paikallisen ilmanlaatuindeksin ja ilmanvaihdon tehokkuuden arvioimiseksi CO₂-merkkiainemenetelmällä. Tulokset voidaan tiivistää seuraavasti:

- Kolme neljästä tutkituista huoneista ei täyttänyt sekoittuvan ilmanvaihdon kriteerejä, mitattujen epäpuhtauksien poistotehokkuuksien ε_b arvojen ollessa 0,6–0,7 välillä.
- Ilmanvaihdon poistopisteiden määrällä tai etäisyydellä ei ollut suoraa yhteyttä korkeampiin ε_b tai ε_b^j arvoihin.
- Epäpuhtauslähteen sijainnilla oli merkittävä vaikutus patogeeneiden leviämiseen.
- Tartuntariskiin perustuvassa ilmanvaihtosuunnittelussa (kuten COVID-19-tapauksessa) täydellisen sekoittumisen tavoiteilmavirta on jaettava arvolla ε_b .
- Yleisesti pistemäisellä lähteellä suoritettut mittaukset osoittavat ilmanvaihdon tehokkuuden olevan lähes kaikissa tiloissa huomattavasti alhaisempi kuin täydellisen sekoittumisen tilanteessa, mikä viittaa siihen, että laivojen sisäarkkitehtuurin suunnittelu on rajoittanut tehokkaan ilmanjaon suunnittelua. Näin ollen erityisesti tuloilman ilmanjakoratkaisuilla on merkittävää kehittämispotentiaalia ilmanvaihdon tehokkuuden parantamiseksi.

Viitteet

1. Wilson, M.E. The traveller and emerging infections: sentinel, courier, transmitter. *J. Appl. Microbiol.* 2003, 94, 1–11.
2. Zheng, L.; Chen, Q.; Xu, J.; Wu, F. Evaluation of intervention measures for respiratory disease transmission on cruise ships. *Indoor built Environ.* 2016, 25, 1267–1278.
3. Willebrand, K.S.; Pischel, L.; Malik, A.A.; Jenness, S.M.; Omer, S.B. A review of COVID-19 transmission dynamics and clinical outcomes on cruise ships worldwide, January to October 2020. *Eurosurveillance* 2022, 27, 2002113.
4. Mihai, V.; Rusu, L. An overview of the ship ventilation systems and measures to avoid the spread of diseases. *Inventions* 2021, 6, 55.
5. Correia, G.; Rodrigues, L.; Da Silva, M.G.; Gonçalves, T. Airborne route and bad use of ventilation systems as non-negligible factors in SARS-CoV-2 transmission. *Med. Hypotheses* 2020, 141, 109781.
6. Almilaji, O. Air recirculation role in the spread of COVID-19 onboard the diamond princess cruise ship during a quarantine period. *Aerosol Air Qual. Res.* 2021, 21, 200495.
7. Almilaji, O.; Thomas, P.W. Air recirculation role in the infection with COVID-19, lessons learned from Diamond Princess cruise ship. *medRxiv* 2020, 2007–2020.
8. Brækken, A.; Gabriellii, C.; Nord, N. Energy use and energy efficiency in cruise ship hotel systems in a Nordic climate. *Energy Convers. Manag.* 2023, 288, 117121.
9. Xia, Z.; Guan, H.; Qi, Z.; Xu, P. Multi-Zone Infection Risk Assessment Model of Airborne Virus Transmission on a Cruise Ship Using CONTAM. *Buildings* 2023, 13, 2350.

10. Sun, C.; Zhai, Z. The efficacy of social distance and ventilation effectiveness in preventing COVID-19 transmission. *Sustain. cities Soc.* 2020, 62, 102390.
11. Guo, Y.; Qian, H.; Sun, Z.; Cao, J.; Liu, F.; Luo, X.; Ling, R.; Weschler, L.B.; Mo, J.; Zhang, Y. Assessing and controlling infection risk with Wells-Riley model and spatial flow impact factor (SFIF). *Sustain. Cities Soc.* 2021, 67, 102719.
12. Aganovic, A.; Cao, G.; Kurnitski, J.; Wargocki, P. New dose-response model and SARS-CoV-2 quanta emission rates for calculating the long-range airborne infection risk. *Build. Environ.* 2023, 228, 109924.
13. Rehva Health-based target ventilation rates and design method for reducing exposure to airborne respiratory infectious diseases. REHVA proposal for post-COVID target ventilation rates. Rehva 2023.
14. Kurnitski, J.; Kiil, M.; Mikola, A.; Vosa, K.-V.; Aganovic, A.; Schild, P.; Seppänen, O. Post-COVID ventilation design: Infection risk-based target ventilation rates and point source ventilation effectiveness. *Energy Build.* 2023, 296, 113386.
15. Kurnitski, J.; Kiil, M.; Wargocki, P.; Boerstra, A.; Seppänen, O.; Olesen, B.; Morawska, L. Respiratory infection risk-based ventilation design method. *Build. Environ.* 2021, 206, 108387.
16. Mundt, M.; Mathisen, H.M.; Moser, M.; Nielsen, P. V Ventilation effectiveness: Rehva guide-books. 2004.
17. Batterman, S. Review and extension of CO₂-based methods to determine ventilation rates with application to school classrooms. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 145.
18. Chung, K.-C.; Hsu, S.-P. Effect of ventilation pattern on room air and contaminant distribution. *Build. Environ.* 2001, 36, 989–998.
19. ISO/TC 163; CEN/TC 89 ISO 12569:2017 Thermal performance of buildings and materials. Determin. airflow rate Build. - Tracer gas dilution method 2017.
20. ISO/TC 146 ISO 16000-8:2007 Indoor air - Part 8: Determin. local mean ages air Build. Character. Vent. Cond. 2007.
21. Onset Computer Corporation HOBO MX1102A data logger Available online: <https://www.onset-comp.com/products/data-loggers/mx1102a/>.
22. KERN & SOHN GmbH Kern FKB datasheet Available online: <https://www.kern-sohn.com/en/FKB>.

5. Ilmanpuhdistus LVI-järjestelmän avulla risteilyaluksella

5.1 Tausta ja tavoitteet

Sisäilmanlaatu on noussut keskeiseksi tekniseksi kysymykseksi laivoilla, erityisesti matkustaja-aluksilla, joissa suuri määrä ihmisiä viettää pitkiä aikoja suljetuissa ja koneellisesti ilmastoiduissa tiloissa. LVI-järjestelmät ovat olennaisia lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon ja epäpuhtauksien laimennuksen kannalta, mutta COVID-19-pandemia osoitti perinteisten ilmanvaihtoratkaisujen rajoitukset erityisesti ilmapälitteisten taudinaiheuttajien leviämisen ehkäisyssä korkean henkilötiheyden ja jatkuvan ilman kierrätyksen ympäristöissä. Tämän seurauksena kiinnostus kehittyneempiä ilmanpuhdistusteknologioita kohtaan, joilla pyritään parantamaan sisäilman laatua ilman huomattavaa energiankulutuksen lisäystä tai tilavaatimuksia, on kasvanut.

Tämän tutkimusosuuden tavoitteena oli arvioida ja vertailla erilaisia ilmanpuhdistustrategioita matkustaja-alusten LVI-järjestelmiä varten keskittyen niiden suorituskykyyn, toteutettavuuteen ja integrointikelpoisuuteen. Tutkimuksessa tarkasteltiin kahta teoreettista järjestelmää: HEPA-suodatukseen, ja ultraviolettisäteilyyn (UVGI) perustuva. Näistä teoreettisista tarkasteluista saatiin vertailukehys, jolla mallinnettiin, miten teknologiat käyttäytyvät kontrolloiduissa olosuhteissa. Mallinnuksessa tarkasteltiin puhdistustehokkuutta, ilman puhdistumiseen kuluva aikaa, lisäilmanvaihdon tarvetta, painehäviöitä, tilavaatimuksia sekä huoltokustannuksia ilman aluksen rakenteellisia rajoitteita.

Näin saatuja vertailuarvoja vasten analysoitiin Airforte oy:n kehittämää Aero Quattro -ilmanpuhdistusjärjestelmää. Aero Quattroa arvioitiin samoilla suorituskykymittareilla kuin teoreettisia skenaarioita. Erityistä huomiota kiinnitettiin sisäilman laatuun, järjestelmän tilatarpeisiin, huoneilman puhdistumiseen kuluvaan aikaan, painehäviöihin, lisäilmanvirran tarpeeseen sekä järjestelmän huollon kuormittavuuteen. Tavoitteena oli arvioida, onko Aero Quattro teknisesti ja operatiivisesti toimivampi ratkaisu verrattuna perinteisiin puhdistusmenetelmiin, kuten HEPA-suodatukseen ja UVGI-teknologiaan, sekä tunnistaa ilmanpuhdistusratkaisujen integroinnin mahdollisuuksia määrittäviä tekijöitä laivan LVI-järjestelmässä. Työn laatima vertailukehys voi tukea tulevia suunnittelupäätöksiä laiva-alan LVI-teknikassa. Tutkimusosuus toteutettiin yhteistyössä Aero Quattro -järjestelmää valmistavan Airforte oy:n kanssa. [1]

5.2 Aineisto ja menetelmät

Työssä tehtiin rakenteellinen vertailu kahden teoreettisen puhdistusjärjestelmän ja yhden innovatiivisen uuden teknologian, Aero Quattron, välillä. Analyysi oli kvantitatiivinen ja pohjautui matkustaja-alusten ilmanvaihtoskenaarioita kuvaaviin oletuksiin ilman luotamuksellisia tai alukselle spesifisiä tietoja. Kaikkia järjestelmiä arvioitiin samoilla suorituskykymittareilla, jotta suora vertailu olisi mahdollista.

Teoreettinen HEPA-järjestelmä: Ensimmäisessä teoreettisessa skenaariossa mallinnettiin järjestelmä, joka perustuu yksinomaan HEPA-suodatukseseen. Järjestelmä sovellettiin fiktiiviseen huoneeseen ja suorakaiteen muotoiseen ilmanvaihtokanavaan, joiden mitat, ilmavirrat, hydraulinen halkaisija ja ilman nopeus valittiin matkustaja-alusten tyyppilisten LVI-parametrien perusteella. Suodatin oletettiin asennetuksi tuloilmavirtaan siten, että kaikki huoneeseen johdettava ilma kulki HEPA-suodattimen läpi.

Järjestelmää analysoitiin viiden kriteerin perusteella: sisäilman laadun paraneminen, tilalavaatimukset, puhdistusaika, lisäilmavirran tarve kompensoimaan painehäviöitä sekä huollon tarve. Painehäviöt määritettiin ilmanvaihtotekniikan standardiyhtälöiden avulla yhdistämällä suodattimen vastuskäyrät ja kanavakitka. Näin arvioitiin sekä suorituspotentiaalia että käytännön haasteita HEPA-suodatuksen integroimisessa laivaympäristöön.

Teoreettinen UVGI-järjestelmä: Toisessa teoreettisessa skenaariossa tarkasteltiin järjestelmää, joka perustui yksinomaan UVGI-teknologiaan. Järjestelmä mallinnettiin samankaltaiseen fiktiiviseen huoneeseen ja kanavaan, jossa UV-yksikkö altisti ilmavirran mikrobiologiselle inaktivoinnille. UV-annos, altistusaika ja ilmavirran nopeus valittiin perustuen tyyppillisiin UVGI-asennusten arvoihin. Arviointi suoritettiin samoilla viidellä kriteerillä kuin HEPA-skenaariossa.

Aero Quattro -järjestelmä: Toisin kuin teoreettisia skenaarioita, Aero Quattroa testattiin todellisessa käyttötilanteessa. Testaus tehtiin risteilyaluksen allasalueella kannella 12 sekä sitä palvelevassa ilmanvaihtokoneessa. Tilassa on korkea lämpötila, suuri kosteus ja jatkuva käyttöä, mikä teki siitä vaativan kohteen puhdistusjärjestelmien arvioinnille.

Kanavisto mitattiin paikan päällä, ja se osoittautui mitoiltaan yhteensopivaksi Aero Quattro -moduulin kanssa. Tilassa oli myös riittävästi pystysuuntaista ja pitkittäistä tilaa usean moduulin rinnakkaisasennukseen, mikä mahdollisti järjestelmän mitoittamisen vastaamaan tilan ilmavirran tarpeita ilman rakenteellisia muutoksia. Todellisten geometristen ja toiminnallisten tietojen avulla tehty arviointi mahdollisti Aero Quattron vertaamisen teoreettisiin HEPA- ja UVGI-tuloksiin, ja antoi realistisen käsityksen järjestelmän integroinnista ja suorituskyvystä laivan ilmanvaihdossa. [1]

5.3 Keskeiset tulokset

Tutkimuksen tulokset osoittivat eroja teoreettisten skenaarioiden ja todellisessa käytöympäristössä arvioidun Aero Quattron välillä. HEPA-järjestelmä saavutti korkean hiukasten poistotehon, mutta sen toiminta edellytti suurta staattista painetta, mikä johti noin 200–250 Pa:n painehäviöihin ja kasvaneeseen energiankulutukseen. UVGI-järjestelmä inaktivoi mikro-organismeja tehokkaasti, mutta vaati pitkiä säteilykanavia ja useita kiertoja ilma-altistuksen varmistamiseksi, mikä teki sen integroinnista haastavaa rajoiteissa LVI-tiloissa. UVGI aiheutti vain vähäisiä painehäviöitä, mutta sen sterilointiteho oli erittäin herkkä ilmavirran nopeudelle ja altistusajalle. Molemmissa teoreettisissa tapauksissa puhdistusaika riippui ilman kierrätyksestä eikä puhdistusta tapahtunut yksittäisellä ilmankierrolla.

Aero Quattro -järjestelmä saavutti yksittäisellä ohivirtausjaksolla Log3-tason inaktiivoinnin, mikä vastaa 99,9 %:n vähennystä tarttuvien virusten määrässä. Järjestelmän kompakti rakenne sopi LVI-huoneen ilmanvaihtokanavaan, ja rinnakkaisasennus mahdollisti tarvittavan ilmavirran käsittelyn ilman muutoksia aluksen infrastruktuuriin. Painehäviö oli marginaalinen, noin 20 Pa, mikä on huomattavasti pienempi kuin HEPA-

järjestelmässä ja helposti hallittavissa ilman muutoksia ilmanvaihtojärjestelmän tasapainoon. Aero Quattron huollontarpeen arvioitiin olevan vähäinen, rajoittuen vuosittaiseen tarkistukseen ja komponenttien vaihtoon ilman kertakäyttöisiä suodattimia tai haitallisia sivutuotteita, kuten otsonia, jota järjestelmä ei tuota, toisin kuin eräät muut ilmanpuhdistusteknologiat. Näiden tekijöiden yhdistelmän perusteella vaikutti siltä, että Aero Quattrolla voitaisiin saavuttaa korkeatasoinen ilmanpuhdistus matalalla energiankulutuksella ja hyvällä integroitavuudella laivan LVI-järjestelmään. [1]

Tulosten tulkinnassa on otettava huomioon, että vertailujärjestelmiä arvioitiin vain teoreettisesti sekä tutkimuksen lyhyt kesto. Lisäksi tarve korkean tason ilmanpuhdistukselle on aina arvioitava tilakohtaisesti.

5.4 Johtopäätökset

- Kolmen ilmanpuhdistusstrategian vertailussa HEPA-järjestelmän teoreettisessa tarkastelussa hiukkaset voitiin poistaa tehokkaasti, mutta merkittävät painehäviöt voivat johtaa huomattavasti kasvaneeseen energiankulutukseen ja mahdollisiin ilmanvaihdon muutostarpeisiin.
- UVGI-järjestelmän teoreettisessa tarkastelussa mikrobiologinen inaktivointi oli tehokas, mutta järjestelmän vaatimat kanavapituudet ja riippuvuus ilman kierrätyksestä voivat rajoittaa sen käytännön toteutettavuutta ahtaissa LVI-tiloissa.
- Todellisen käyttöympäristön tarkastelussa Aero Quattro -järjestelmä inaktivoi mikro-organismeja tehokkaasti yksittäisellä ohivirtauksella, ja pieni painehäviö ja yhteensopivuus LVI-huoneen kanavarakenteen kanssa mahdollistivat tehokkaan ja helposti integroitavan ratkaisun tutkittuun tilaan. Lisäksi sen hyötyjä jatkuvassa käytössä laivaympäristössä voisivat olla otsonittomuus, alhaiset huoltokustannukset ja vakaa energiankulutus.
- Tämä tutkimusosuus toteutettiin Aero Quattro -järjestelmää valmistavan Airforten kanssa.

Viitteet

1. Macaluso, G. 2025. Role of the HVAC systems to promote good air quality condition on passenger vessel. Lopputyö. Aalto-yliopisto, Suomi, ja Torinon teknillinen yliopisto, Italia.

Hankkeessa tuotetut julkaisut

Anttila, E., Korja, N., Vornanen, C., Mikkola, R. & Salonen, H. 2025. Perceived and Measured Indoor Environment Quality on a Cruise Ship. Healthy Buildings Europe 2025. Proceedings of an ISIAQ International conference 8th - 11th June 2025 Reykjavík University, Iceland.

Anttila, E., Mähönen, V., Alapieti, T., Vornanen, C., Mikkola, R. & Salonen, H. 2025. Sisäilman laatu ja laatuun vaikuttavat tekijät risteilylaivojen ruokaravintolaympäristöissä. Sisäilmastoseminaari 2025. SIY Raportti 43. Sisäilmayhdistys.

Ekqvist, S. & Niitynpolku, A. 2024. Siivouskäytäntöjen kartoittaminen risteilyaluksella. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024051411843>

Kakko, L. Reunanen, E., Saari, S. Vornanen-Winqvist, C., Oikarinen, S., Lehto, K-M. & Salonen, H. 2025. Risteilyaluksen puhtaanapito ja sisäympäristö. Rakennusfysiikka 2025. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 28.–29.10.2025, Tampere. 481-486.

Kakko, L., Reunanen, E., Saari, S., Vornanen-Winqvist, C. & Salonen, H. 2025. Indoor Environment Cleaning Questionnaire and Hygiene Measurements for Cruise Ships. Healthy Buildings Europe 2025. Proceedings of an ISIAQ International conference 8th -11th June 2025, Reykjavík University, Iceland. p. 805-806.

Kiil, M., Mikola, A., Vösa, K-V., Simson, R. & Kurnitski, J. 2025. Ventilation effectiveness and incomplete mixing in air distribution design for airborne transmission. Building and Environment DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.112207.

Korja, N. 2023. Mitattu ja koettu sisäympäristön laatu risteilylaivalla. Diplomityö. Aalto-yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202403172794>

Kurttila, T. & Söderholm, M. 2025. Pyyhintämenetelmien vaikutus tasopintojen puhdistuvuuteen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202502112664>

Macaluso, G. 2025. Role of the hvac systems to promote good air quality condition on passenger vessel. Lopputyö. Aalto-yliopisto, Suomi, ja Torinon teknillinen yliopisto, Italia.

Mikola, A., Kiil, M., Vösa, K.-V. & Kurnitski, J. 2024. Infection Risk-Based Ventilation Assessment in Cruise Ship Common Spaces Using Tracer Gas. Proceedings of the 17th Roomvent Conference, April 22-25, 2024, E3S Web of Conferences, Stockholm, Sweden.

Mähönen, V. 2024. Ravintolatyöntekijöiden altistuminen sisäilman epäpuhtauksille. Diplomityö. Aalto-yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-2024061644>

Business, Economy
Art, Design, Architecture
| Science, Technology
Crossover
Doctoral Theses

Aalto ST 8/2025

ISBN 978-952-64-2920-5 (pdf)
ISSN 1799-490X (pdf)

Aalto University
Insinööritieteiden korkeakoulu
Rakennustekniikan laitos
aalto.fi