

Sisätiloissa käytettyjen siivouskemikaalien ja biosidien vaikutukset mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun koulu- ja päiväkotirakennuksissa

Työsuojelurahaston hankkeen nro 117101 loppuraportti

Mikkola Raimo, Alapieti Tuomas, Kakko Leila, Täubel
Martin, Järvi Kati, Andersson Maria A, Reunanen Eija,
Leppänen Hanna, Vornanen-Winqvist Camilla,
Hyvärinen Anne, Salonen Heidi

Sisätiloissa käytettyjen siivouskemikaalien ja biosidien vaikutukset mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun koulu- ja päiväkotirakennuksissa

Työsuojelurahaston hankkeen nro 117101
loppuraportti

**Mikkola Raimo, Alapieti Tuomas, Kakko Leila,
Täubel Martin, Järvi Kati, Andersson Maria A,
Reunanen Eija, Leppänen Hanna, Vornanen-
Winqvist Camilla, Hyvärinen Anne, Salonen Heidi**

Aalto-yliopiston julkaisusarja
TIEDE + TEKNOLOGIA 2/2020

© 2020 Mikkola Raimo, Alapieti Tuomas, Kakko Leila, Täubel
Martin, Järvi Kati, Andersson Maria A, Reunanen Eija, Leppänen
Hanna, Vornanen-Winqvist Camilla, Hyvärinen Anne, Salonen Heidi

ISBN 978-952-60-8998-0 (painettu)
ISBN 978-952-60-8999-7 (pdf)
ISSN 1799-487X (painettu)
ISSN 1799-4888 (pdf)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8999-7>

Kuvat: Raimo Mikkola, Maria Andersson, Martin Täubel, Paula
Kylmäkorpi

Unigrafia Oy
Helsinki 2020



Painotuotteet
4041-0619

Tekijä

Mikkola Raimo, Alapieti Tuomas, Kakko Leila, Täubel Martin, Järvi Kati, Andersson Maria A, Reunanen Eija, Leppänen Hanna, Vornanen-Winqvist Camilla, Hyvärinen Anne, Salonen Heidi

Julkaisun nimi

Sisätiloissa käytettyjen siivouksemikaalien ja biosidien vaikutukset mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun koulu- ja päiväkotirakennuksissa

Julkaisija Insinööritieteiden korkeakoulu**Yksikkö** Rakennustekniikan laitos**Sarja** Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 2/2020**Tutkimusala** Sisäilman laatu**Kieli** Suomi**Tiivistelmä**

Koulu- ja päiväkotirakennusten sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat yleisiä ja usein selvää syytä koetulle sisäilman laadun ongelmalle on vaikea löytää. Siivouksessa käytettävien siivouksemikaalien on epäilty olevan yksi syy sisäilman huonoon laatuun. Tutkimushankkeen tavoitteena oli selvittää kouluissa ja päiväkodeissa käytössä olevia siivousmenetelmiä ja -kemikaaleja sekä niiden vaikutuksia sisäilman kemialliseen, mikrobiologiseen ja toksikologiseen laatuun. Tutkimuksessa verrattiin päivittäistä vähäkemikaalista, niin sanottua "normaalsiivousta", kemikaalittomaan ja ultraH₂O-vesisiivoukseen. Tutkimusmenetelminä käytettiin haastatteluja, sisäilmastokyselyä sekä aineisto-, kenttä- ja laboratoriotutkimuksia. Kenttätutkimuksissa kerättiin siivousjaksojen aikana näytteitä kemiallisiin, mikrobiologisiin ja toksikologisiin analyyseihin ja jatkuvatoimisilla sensoreilla monitorointiin kemiallisia- ja partikkelipäästöjä. Haastattelututkimuksen mukaan siivousaineiden käyttö on vähäistä ja niitä käytetään pääsääntöisesti vain tarvittaessa, kun pelkkä vesi ei riitä puhdistamaan likaa. Kemikaalittoman ja "normaalsiivouksen" aikana tehtyjen kemiallisten, mikrobiologisten ja toksikologisten tutkimusten tulokset olivat samankaltaisia eikä sisäilman laadussa havaittu selviä eroja. UltraH₂O-vesisiivouksessa jatkuvatoimisilla sensoreilla mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) kokonaispitoisuudet olivat hieman alhaisempia ja mikrobien esiintyminen runsaampaa "normaalsiivouksen" aikana tehtyihin vastaaviin tutkimuksiin verrattuna. Laboratoriotutkimukset osoittivat että nisäkässolut ovat herkempiä monille biosideille kuin homeet ja vastustuskykyisimpiä niille olivat potentiaalisesti patogeeniset *Aspergillus* ja *Paecilomyces* kannat. Tutkimuksessa ei havaittu ultraH₂O-vesisiivouksen selkeää ja johdonmukaista vaikutusta sisätilojen mikrobitasoihin eikä vähäisen siivouksemikaalimäärän selvää vaikutusta sisäilman laatuun. Hankkeen tutkimustulokset ovat rohkaisevia pyrittäessä edelleen vähentämään siivousaineiden käyttöä julkisissa rakennuksissa. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää siivoustyöntekijöiden ja muiden tilankäyttäjien siivousainealtistumisen vähentämisessä sekä julkisten toimitilojen viihtyisyyden ja henkilöstön työturvallisuuden parantamisessa. Tutkimustulokset auttavat myös valitsemaan taloudellisesti mahdollisimman optimaalisia siivousmenetelmiä ja -käytäntöjä heikentämättä sisäilman laatua. Oikeilla siivousmenetelmävalinnoilla ja kemikaalien vähentämisellä voidaan myös pienentää ympäristön kemikaalikuormaa. Jatkotutkimuksia siivoukikäytäntöjen ja kemikaalien vaikutuksista sisäilman laatuun erilaisissa sisäympäristöissä ja kontrolloiduissa olosuhteissa (koehuone- ja laboratoriotutkimukset) tarvitaan. Lisäksi uusien kemikaalittomien siivousmenetelmien, kuten otsonoidun- ja suodatetun veden vaikutuksia sisäympäristöön tulisi tutkia tarkemmin.

Avainsanat Sisäilma; Siivousaine; Siivouksemikaali; Pesuaine; Detergentti; VOC; Partikkeli; Mikrobi; Toksisuus; Koulu; Päiväkoti

ISBN (painettu) 978-952-60-8998-0

ISBN (pdf) 978-952-60-8999-7

ISSN (painettu) 1799-487X

ISSN (pdf) 1799-4888

Julkaisupaikka Helsinki

Painopaikka Helsinki

Vuosi 2020

Sivumäärä 45

urn <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-8999-7>

TEKIJÄT

Aalto-yliopisto (Aalto):

Mikkola Raimo, Alapieti Tuomas, Järvi Kati, Andersson Maria,
Vornanen-Winqvist Camilla ja Salonen Heidi

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL):

Täubel Martin, Leppänen Hanna ja Hyvärinen Anne

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK):

Kakko Leila ja Reunanen Eija

Tutkimus- ja yhteistyöorganisaatioiden vastuut/tehtävät

Tutkimuskohteiden tarjoaminen:

Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki ja Keravan kaupunki

Sivousmenetelmien haastattelu- ja havainnointitutkimukset:

Tampereen ammattikorkeakoulu

Kenttätutkimukset, tutkimustulosten analysointi ja kirjoitustyö: Kakko Leila ja
Reunanen Eija

Kemialliset kenttätutkimukset (näytteiden keräys ja jatkuvatoimiset mittaukset):

Aalto-yliopisto

Kenttätutkimukset: Alapieti Tuomas ja Mikkola Raimo

Tutkimustulosten analysointi ja kirjoitustyö: Alapieti Tuomas, Mikkola Raimo ja
Salonen Heidi

(Kerättyjen näytteiden kemialliset analyysit tehtiin ostopalveluna Työterveyslaitoksella (TTL))

Sisäilmastokysely:

Aalto-yliopisto

Kenttätutkimukset: Järvi Kati

Tutkimustulosten analysointi ja kirjoitustyö: Järvi Kati, Mikkola Raimo ja Salonen Heidi

Mikrobiologiset analyysit:

Aalto-yliopisto

Tutkimustulosten analysointi ja kirjoitustyö: Andersson Maria, Mikkola Raimo ja Salonen Heidi

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Tutkimustulosten analysointi ja kirjoitustyö: Täubel Martin, Leppänen Hanna ja Hyvärinen Anne

Toksikologiset analyysit:

Aalto-yliopisto

Tutkimustulosten analysointi ja kirjoitustyö: Andersson Maria, Mikkola Raimo ja Salonen Heidi.

(Huurrevesinäytteiden keräämisestä kenttäkohteissa vastasi Mittauspalvelu Elisa Aattela Oy ja kerättyjen näytteiden laboratorioanalyysit tehtiin ostopalveluna Tampereen yliopistossa (FICAM))

SISÄLLYSLUETTELO

TEKIJÄT.....	1
ALKUSANAT	4
TAVOITTEET	6
1. Tutkimusmenetelmät	7
1.1. Käytetyt siivousmenetelmät ja kenttämittaukset	7
1.2. Sisäilmastokysely	9
1.3. Haastattelututkimukset.....	9
1.4. Mikrobiologiset analyysit	9
1.4.1 Kvantitatiiviset PCR -analyysit	9
1.4.2. Elinkykyiset mikrobit.....	10
1.4.3. Pintojen kokonaisbakteerimäärät	11
1.5. Kemialliset analyysit.....	11
1.5.1. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	11
1.5.2. Aldehydit ja ketonit.....	11
1.5.3. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja partikkelien jatkuvatoimiset mittaukset.....	11
1.6. Pintahygienia	11
1.7. Toksikologiset analyysit	12
1.7.1. Sisäilman kosteudesta tiivistetyn veden toksisuus	12
1.7.2. Pinta-aktiivisten aineiden toksisuus ja liikkuvuus ilmassa.....	12
2. Tulokset ja tulosten tarkastelu	13
2.1. Kirjallisuuskatsaus	13

2.2. Sisäilmastokysely	14
2.3. Haastattelu- ja havainnointitutkimukset.....	16
2.3.1. Haastattelututkimus	16
2.3.2. Havainnointitutkimus.....	18
2.4. Mikrobiologiset analyysit.....	19
2.4.1 Kvantitatiiviset PCR analyysit.....	19
2.4.2. Elinkykyiset mikrobit.....	21
2.4.3. Pintojen kokonaisbakteerimäärät	22
2.5. Kemialliset analyysit	23
2.5.1. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC).....	23
2.5.2. Aldehydit ja ketonit	26
2.5.3. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden jatkuvatoimiset mittaukset	27
2.5.4. Partikkelien jatkuvatoimiset mittaukset	31
2.6. Pintahygienia	31
2.7. Toksikologiset analyysit	32
2.7.1. Sisäilman kosteudesta tiivistetyn veden toksisuus	32
2.7.2. Pinta-aktiivisten siivousaineiden toksisuus	33
2.7.3. Genapol X-080:n ilmajäliteinen toksisuus	33
2.7.4. Biosidien ja Genapol X-080:n vaikutus homekantoihin ja nisäkässoluihin	35
3. Johtopäätökset ja pohdinta.....	39
4. Tutkimushankkeen julkaisu	41
5. Kirjallisuusviitteet.....	42

ALKUSANAT

Tutkimushankkeessa selvitettiin pääkaupunkiseudun koulu- ja päiväkotirakennuksissa käytettyjä siivousmenetelmiä ja -kemikaaleja sekä niiden vaikutuksia koettuun ja mitattuun sisäilman laatuun. Lisäksi verrattiin päivittäistä vähäkemikaalista, niin sanottua ”normaalsiivousta”, kemikaalittomaan ja ultraH₂O-vesisiivoukseen.

Tutkimusmenetelminä käytettiin haastattelu-, kysely-, kenttä- ja laboratoriotutkimuksia. Tutkimushankkeen päärahoittajana oli Työsuojelurahasto (TSR) (hanke 117101). Muita rahoittajia tutkimuksen toteuttajaorganisaatioiden lisäksi olivat Aalto-yliopistokiinteistöt (ACRE), Vantaan kaupunki, Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, Sosiaali- ja terveysministeriö (STM), Sisäilmatutkimuspalvelut Elisa Aattela Oy ja Poistoa Group Oy. Kiitämme lämpimästi rahoittajia tutkimushankkeen mahdollistamisesta.

Tutkimushankkeen johtoryhmässä ovat toimineet Anne-Marie Kurka (TSR), Jukka Pekka Salmisto (ACRE), Niina Kesti (Poistoa Group Oy), Martin Täubel ja Anne Hyvärinen (THL), Leila Kakko, Eija Reunanen ja Paula Kylmäkorpi (TAMK), Vesa Pekkola (STM), Anna Saarinen (Helsingin kaupunki), Aija Leino (Espoon kaupunki), Ulla Lignéll (Vantaan kaupunki, 1.6.2018 asti), Pertti Pasanen (Itä-Suomen yliopisto), Elisa Aattela (Sisäilmatutkimuspalvelut Elisa Aattela Oy), Tapani Tuomi (TTL), Helena Järnström (VTT) sekä Raimo Mikkola, Tuomas Alapieti, Maria Andersson, Camilla Vornanen-Winqvist, Kati Järvi (30.5.2018 asti) ja Heidi Salonen (Aalto). Lämpimät kiitokset kaikille johtoryhmän jäsenille arvokkaasta ja sujuvasta johtoryhmätyöskentelystä. Kiitokset myös kaikille muille henkilöille, jotka ovat tarpeen mukaan osallistuneet johtoryhmän kokouksiin.

Aalto-yliopiston tutkimusryhmässä ovat toimineet professori Heidi Salonen, tutkijatohtorit Raimo Mikkola ja Maria A. Andersson ja tohtorikoulutettavat Tuomas Alapieti, Kati Järvi ja Camilla Vornanen-Winqvist. Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen tutkimusryhmässä ovat toimineet professori Anne Hyvärinen, erikoistutkija Martin Täubel ja tutkija Hanna Leppänen. Tampereen ammattikorkeakoulun tutkimusryhmässä ovat toimineet lehtori, tohtorikoulutettava Leila Kakko ja lehtori Eija Reunanen. Kiitämme kaikkia tutkimusryhmien toimintaan osallistuneita sekä

seuraavia henkilöitä, jotka ovat tutkimuksen eri vaiheissa osallistuneet tutkimukseen: tohtorikoulutettava Emmanuelle Castagnoli, professori Tuula Heinonen, tutkija Marika Mannerström ja tutkija Maria Valkonen.

Tutkimushanke toteutettiin yhteistyössä Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitoksella samanaikaisesti meneillään olevien seuraavien sisäilman laadun tutkimushankkeiden kanssa: ”Toxin transport mechanisms from moisture damaged structures to indoor air” (Suomen Akatemia, TOXICPM 289161) ja Sisäilmapoliisi – Sisäilmahaittojen havainnointi ja ennaltaehkäisy” (Business Finland, 4098/31/2015).

Haluamme kiittää lämpimästi kaikkia tutkimuksen mahdollistajia, yhteistyökumppaneita ja tutkimuskohteiden henkilökuntaa. Toivomme antoisan yhteistyön jatkumista myös tulevaisuuden tutkimushankkeissamme.

Espoossa 24.2. 2020

Tutkimusryhmän puolesta

Heidi Salonen (hankkeen vastuullinen johtaja) ja

Raimo Mikkola (hankkeen projektipäällikkö)



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

TAVOITTEET

Tutkimushankkeen päätavoitteena oli selvittää pääkaupunkiseudun koulu- ja päiväkotirakennuksissa käytössä olevia siivousmenetelmiä ja -kemikaaleja sekä niiden välittömiä ja välillisiä vaikutuksia sisäilman kemialliseen, mikrobiologiseen ja toksikologiseen laatuun. Lisäksi tavoitteena oli selvittää kouluissa ja päiväkodeissa tavanomaisesti käytetyn, niin sanotun ”normaalsiivouksen”, sekä kemikaalittoman ja ultraH₂O-vesisiivouksen sisäilmavaikutuksien eroavaisuuksia.

1. Tutkimusmenetelmät

Kenttätutkimukset tehtiin pääkaupunkiseudulla 13 lukiossa, yhdessä päiväkodissa ja yhdessä yliopistorakennuksessa. Kenttätutkimuksiin (kemialliset, mikrobiologiset ja toksikologiset tutkimukset) valituista koulurakennuksista yksi oli 16 vuoden ikäinen ja yksi perusparannettu 11 vuotta sitten. Päiväkoti oli väistötalana toimiva uudisrakennus ja yliopistorakennus oli 15 vuoden ikäinen. Tutkittavissa tiloissa ei ollut havaittavia kosteus- ja homevaurioita. Vähäiset paikalliset kosteusvauriot sallittiin, mikäli ne olivat eri puolella tutkittavaa kohdetta ja eri ilmanvaihtokoneen alueella. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto oli kaikissa kohteissa päällä jatkuvasti. Lattiamateriaalina oli vinyylilaatta/kvartsvinyylilaatta ja/tai muovimatto. Tutkittavat tilat olivat tavallisia luokkia (ei esimerkiksi fysiikan tai kemian luokkia) ja luokat sijaitsivat lähekkäin.

1.1. Käytetyt siivousmenetelmät ja kenttämittaukset

Kenttätutkimukset toteutettiin kahden lukion (kuusi luokkaa molemmissa), yhden päiväkodin ja yhden yliopistorakennuksen (kolme luentoa) tiloissa (Taulukko 1).

Taulukko 1. SIBI-hankeessa toteutetut tutkimukset kohteissa päivittäisen normaalsiivous- ja siivousinterventiojaksojen aikana.

	Tutkimus	Tutkimusmenetelmä	Näyttemäärä (toteutettu tutkimusperiodin 1 tai 2 aikana)
Kenttätutkimukset: 2 lukiota, päiväkotia, yliopiston rakennus	Kemialliset näytteet		
	VOC-yhdisteet	Ilmanäyte Tenax TA (8 l)	1 näyte / kohde (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	Karboonyliyhdisteet	Ilmanäyte Sep-Pak (100 l)	1 näyte / kohde / (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	Mikrobinäytteet		
	Elinkykyiset mikrobit ilmanäytteestä	RCS-keräin: 100 l TC liuskalla, 1000 l YM/SDX liuskalla, ulkonäytteet 100 l	1 näyte / kohde / liuska sisältä ja ulkoa (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	Mikrobien qPCR-analyysi	Laskeumamaljat: 6 maljaa / huone	6 huonetta kouluissa, 4 päiväkodissa (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	Mikrobien NGS-sekvensointi	Laskeumamaljat: 6 maljaa / huone	6 huonetta kouluissa, 4 päiväkodissa (tutkimusperiodi 2)
	Elinkykyiset mikrobit pölynäytteestä	Laskeumamaljat: 3 maljaa / huone	1 huone kouluissa ja päiväkodissa (tutkimusperiodi 2)
	Toksisuusnäytteet		
	Huurreveden toksisuus	E-keräin	3 huonetta / kohde sekä ulkoilma (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	Online-mittaukset		
	TVOC, T, RH, CO ₂ , CO, CH ₂ O	Graywolf mittauspaketti: TG 501 ja IQ 610-anturit	1 huone / kohde, 2 viikon mittaus / (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	TVOC, T, RH, CO ₂ , CO	Smartwatcher multisensori	1 huone / kohde, 2 viikon mittaus / (tutkimusperiodit 1 ja 2)
	Siivouksen laatu		
	Pintojen mikrobiologinen puhtaus	Hygikult TPC	10 näytettä / huone, 6 huonetta kouluissa ja 4 päiväkodissa (tutkimusperiodi 1)
	Pintojen valkuaisainejäämät	PRO Clean -pintahygieniatesti	10 näytettä / kohde (tutkimusperiodi 1)
Haastattelut ja kyselyt: 13 lukiota ja yksi päiväkotia	Kyselyt, haastattelut ja havainnointi		
	Siivouskemikaalit ja -menetelmät kohteissa	Haastattelu ja havainnointi	1 kerta / kohde (tutkimusperiodi 1)
Laboratoriokokeet	Oireolosuhde-haittakysely	Online-kysely	(tutkimusperiodi 1)
	Laboratoriokokeet		
	Valittujen pesuaineiden toksisuudet	<i>Ex vivo</i> -analyysit (sian siittiöt) ja <i>In vitro</i> -analyysit (somaattiset solut)	5 tutkittavaa pesuainetta, 4 analyysia <i>Ex vivo</i> ja 4 analyysia <i>In vitro</i> (tutkimusperiodi 1)

Kunkin koulurakennuksen yhdessä luokkahuoneessa sekä päiväkodin yhdessä tilassa tehtiin perusteellinen tutkimus tutkimussuunnitelman mukaisesti, ja muissa valituissa luokissa kerättiin kahden viikon ajan pölynäytteitä toksisuus- ja mikrobiitutkimuksiin. Lisäksi yliopiston rakennuksessa tehtiin pilottitutkimus ennen varsinaisia käyttäen samoja tutkimusmenetelmiä kuin varsinaisessa tutkimuksessa. Siivouskemikaalien ja -menetelmien vaikutusta sisäilman laatuun mikrobiologian, kemian ja toksikologian menetelmillä selvitettiin kolmessa eri vaiheessa, kaksi viikkoa kerrallaan.

Eri vaiheiden (I, II, III) aikana käytetyt siivousmenetelmät kouluissa ja päiväkodissa olivat:

- I. Siivousmenetelmät ja -aineet olivat kohteen päivittäisessä käytössä olevia.
- II. Siivouksessa ei käytetty ollenkaan kemikaaleja, vaan ainoastaan vesijohtovettä ja uusia mikrokitutut tuotteita sekä moppeja. Siivoustekstiilit pestiin omina koneellisinaan ja pyykinpesuainetta käytettiin minimiannostusmäärä. Aina ennen siivoustekstiilien pesemistä pyykinpesukoneella ajettiin välihuuhteluohjelma.
- III. Siivousmenetelmät ja -aineet olivat kohteen päivittäisessä käytössä olevia.

Ensimmäisessä tutkimusperiodissa (2017-2018) ennen toisen ja kolmannen vaiheen näytteenottojaksoa oli kahden viikon siirtymäaika, jolloin käytössä oli tulevan näytteenottojakson aikainen siivousmenetelmä. Toisessa tutkimusperiodissa (2018-2019) siirtymäaikoja siivousmenetelmien välillä pidennettiin neljään viikkoon. Kenttämittausten interventioaika päätettiin pidentää yhteensä kuuteen viikkoon (neljä viikkoa siivousta + kahden viikon mittaukset), jotta saataisiin esille selkeämpiä eroja eri siivousmenetelmien välille.

Yliopistorakennuksen tutkimusperiodissa tarkoituksena oli verrata normaalsiivousta ja ultraH₂O-vesisiivousta yliopistorakennuksen kolmessa luentosalissa. Siirtymäaika siivousmenetelmien välillä ennen näytteenottoa oli neljä viikkoa.

Eri vaiheiden (I ja II) aikana käytetyt siivousmenetelmät yliopiston tiloissa olivat:

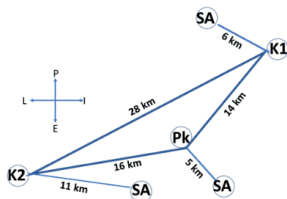
- I. Siivousmenetelmät ja -aineet olivat kohteen päivittäisessä käytössä olevia.
- II. UltraH₂O-vesisiivous. UltraH₂O-vesi valmistetaan hanavedestä suodattamalla käyttäen suodatinta, joka sisältää hartsigranulaatteja.

Sääolosuhteet tutkimusperiodien aikana saatiin Ilmatieteenlaitoksen havaintoasemilta (Taulukko 2).

Koulujen (K1 ja K2) sekä päiväkodin (pk) keskinäiset etäisyydet toisistaan ja niiden viereisistä säähavaintoasemista (SA) on esitetty Kuvassa 1.

Taulukko 2. Sääolosuhteet kenttämittausten aikana (mittaustiedot on saatu Ilmatieteenlaitoksen kohteita lähinnä olevilta sääasemilta)

Mittausjakso	Siivousmenetelmä	Kohde	Mittausten keskiarvot				
			Sademäärä	Lumen syvyys	Ylin lämpötila	Alin lämpötila	Ilman lämpötila
			mm	cm	°C	°C	°C
Tutkimusperiodi 1							
29.1-13.2. 2018	I	Koulu 1	1,5	18,3	-2,9	-7,4	-5,0
30.1-13.2. 2018	I	Koulu 2	2,3	18,8	-2,4	-7,0	-4,5
31.1-13.2. 2018	I	Päiväkoti	2,6	13,7	-2,2	-6,7	-5,6
12.-26.3. 2018	II	Koulu 1	0,6	23,6	0,5	-6,9	-3,1
13.-27.3. 2018	II	Koulu 2	0,3	22,1	0,9	-6,3	-2,7
13.-27.3. 2018	II	Päiväkoti	0	15,3	0,8	-5,4	-2,3
10.-24.4. 2018	III	Koulu 1	0,5	0,3	11,7	1,5	6,3
11.-25.4. 2018	III	Koulu 2	0,9	3,3	11,1	1,6	5,9
11.-25.4. 2018	III	Päiväkoti	1,2	0,0	10,1	2,8	6,2
Tutkimusperiodi 2							
3.12-17.12. 2018	I	Koulu 1	2,2	0,7	0,9	-2,6	-0,7
4.12-18.12. 2018	I	Koulu 2	2,5	0,9	1,7	-1,6	0,2
3.- 17.12. 2018	I	Päiväkoti	2,3	0,1	2,0	-1,0	0,4
4.- 19.2. 2019	II	Koulu 1	2,7	42,8	2,3	-3,0	0,0
5.-19.2. 2019	II	Koulu 2	2,4	37,8	2,8	-2,0	0,8
5.-19.2. 2019	II	Päiväkoti	2,0	30,7	2,8	-1,4	1,1
25.3-9.4. 2019	III	Koulu 1	0,8	4,1	8,6	-1,1	3,6
26.3-9.4. 2019	III	Koulu 2	0,6	1,3	8,5	-1,1	3,6
26.3-9.4. 2019	III	Päiväkoti	0,5	0,0	8,4	0,8	4,1
Tutkimusperiodi 1							
17.9-1.10.2018	I	Yliopisto	1,2	0,0	14,6	6,8	10,8
29.10-12.11.2018	UltraH ₂ O-vesi	Yliopisto	1,6	0,0	7,5	3,5	5,9



Kuva 1. Koulujen (K1 ja K2) sekä päiväkodin (pk) keskinäiset etäisyydet toisistaan ja niiden viereisistä säähavaintoasemista (SA).

1.2. Sisäilmastokysely

Jokaisessa kohteessa tehtiin mittausten lisäksi sisäilmastokysely opetushenkilökunnalle ja oppilaille (lukioiden 1-2-luokkalaiset). Sisäisten lupamenettelyasioiden vuoksi kysely toteutettiin Espoossa vain opetushenkilökunnalle. Koetun sisäilman laadun ja työympäristöön liittyvän oireilun selvittämisessä käytettiin THL:llä kehitettyä kyselyä ja hyödynnettiin Helsingin kaupungin kouluissa keväällä 2017 toteutettua laajaa oire- ja olosuhdekyselyä. Lukioiden oppilaille ja opetushenkilökunnalle sekä päiväkodin henkilökunnalle suunnattuun kyselyyn vastaaminen tapahtui pääasiallisesti käyttämällä omaa mobiililaitetta, kuten puhelinta tai tablettia.

1.3. Haastattelututkimukset

Haastattelututkimuksen kohteina olivat pääkaupunkiseudulta kolmen eri kaupungin alueelta 13 lukiorakennusta ja yksi päiväkotia. Tutkimuskohteet valittiin yhteistyössä Espoon, Helsingin ja Vantaan kaupunkien edustajien kanssa hankkeen ohjausryhmässä. Kohteissa ei ollut tiedossa olevia sisäilmaongelmia.

Haastattelulomaketta kehitettiin aluksi Tampereen ammattikorkeakoulussa. Lomakkeen kysymykset oli jaoteltu asiakokonaisuuksien mukaisesti: taustakysymykset, siivoukseen ja siivottavuuteen liittyvät kysymykset ja viimeksi sisäilmaa käsittelevä osuus. Haastattelulomake koekäytettiin satunnaisesti valituissa Tampereen ja Espoon kouluissa. Haastattelulomake viimeisteltiin, tarkastettiin ja hyväksyttiin hankkeen johtoryhmässä.

Haastattelut toteutettiin kunkin kohteen siivouksesta vastaavan yhdys henkilön avulla. Kaikista kohdekouluista valittiin satunnaisesti yksi siivottava alue, jonka siivooja esimiehineen valittiin haastatteluun. Haastatteluajat sovittiin kohdekohtaisesti. Haastattelut tehtiin kevään ja alkukesän 2018 aikana.

Haastattelut aloitettiin ensin kolmessa kenttätutkimuskohteessa ja kaikki haastattelut tehtiin suomeksi. Haastattelukysymykset lähetettiin sähköpostitse haastateltaville, joten he saivat mahdollisuuden tutustua kysymyksiin ennalta. Haastattelut tehtiin kaikissa 14 kohteessa paikan päällä. Yhteen haastatteluun kului aikaa tunnista puoleentoista tuntiin. Sama henkilö teki kaikki haastattelut tutkimuskohteissa. Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin. Haastattelujen yhteydessä havainnoitiin siivoukseen liittyviä käytänteitä ja tehtiin katselmuskierros koko rakennuksessa. Katselmuksen yhteydessä siivoustilat, -vaunut ja muut siivoukseen liittyvät havainnot valokuvattiin.

1.4. Mikrobiologiset analyysit

1.4.1 Kvantitatiiviset PCR -analyysit

Mikrobin DNA-pohjaisia määrytyksiä varten kerättiin standardisoidulla menetelmällä laskeutunutta pölyä molempien tutkittujen koulujen kuudesta luokkahuoneesta ja päiväkodin neljästä ryhmätilasta. Näytteet kerättiin tutkimuksen jokaisessa vaiheessa samoista paikoista kahden viikon näytteenottoajalla steriileille polystyreenistä valmistetuille petrimaljoille (Berner, 90x15). Pölynäytteet kerättiin samoista paikoista kullakin kolmella siivousvaiheella (vaihe I = normaalsiivous, vaihe II = siivous vain vedellä, vaihe III = normaalsiivous) tutkimusperiodissa 1 (2017/2018) ja tutkimusperiodissa 2 (2018/2019). Keräyksen ajaksi matjat asetettiin tasaisille pinnoille 150–220 cm korkeudelle mahdollisimman etäälle

ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmalaitteista. Lisäksi yliopiston kolmessa luentosalissa toteutettiin tutkimusperiodissa 2 samanlainen laskeutuneen pölyn näytteenotto, jonka tarkoituksena oli verrata ultraH₂O-vesisiivouksen ja normaalsiivouksen vaikutusta sisätilojen mikrobiotaan. Näytteiden keräyksessä käytettiin kahta rinnakkaista kolmen maljan sarjaa, jotka myöhemmin prosessoitiin ja analysoitiin erillään. Keräyksen jälkeen maljat suljettiin tiiviisti, paketoitiin ja siirrettiin laboratorioon, jossa näytteiden prosessointi tehtiin kahden viikon kuluessa keräyksen päättymisestä. Kolmen petrimaljan sarjalle kerääntynyt pöly yhdistettiin yhdeksi näytteeksi steriilin veden ja 0,05 % Tween20:n seoksella kostutetulla sterilillä vanupuikolla, jolla näyte siirrettiin lasihelmiä sisältävään 2 ml putkeen ja säilöttiin –20 °C lämpötilassa DNA:n uuttamiseen asti. DNA eristettiin käyttämällä Chematic DNA Plant Kittä (PerkinElmer chemagen Technologie GmbH, Saksa) ja KingFisher™ mL DNA robottia (Thermo Fisher Scientific, Inc., Suomi) lähteen Hyttiäinen ym. (2018) mukaisesti. Kvantitatiivinen PCR (qPCR) suoritettiin hyödyntäen aikaisemmin julkaistuja qPCR-sovelluksia (Kärkkäinen ym. 2010, Haugland ym. 2003 ja 2005). Näytteistä määritettiin gram-positiiviset ja gram-negatiiviset bakteerit, *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. ja *Paecilomyces variotii* -ryhmät (PenAsp) sekä sienien kokonais-DNA (Uni Fung). QPCR-reaktiot, ajoasetukset ja laskelmat suoritettiin samoin kuin lähteessä Hyttiäinen ym. (2018). Tulokset ilmaistiin kerääntyneinä soluekvivalenteina (CE) näytteenottoneliometriä ja keräyspäivää kohden (CE/m²/d). Jokaisesta luokasta tai tilasta laskettiin keskiarvot kahdelle rinnakkaiselle kolmesta petrimaljasta koostetulle näytteelle.

Ei-parametrisia tilastollisia menetelmiä käytettiin, koska mikrobidata ei ollut normaalisti jakautunut. Analyysit tehtiin SAS-ohjelmistolla (versio 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) ja SPSS-ohjelmalla (IBM SPSS Statistics for Windows, versio 25.0, Armonk, NY: IBM Corp.). Ryhmittäiset erot mikrobitasoissa normaalsiivouksen ja siivousinterventiojaksojen välillä testattiin käyttämällä Wilcoxon Scores (järjestyssummat) ja Kruskal–Wallis -testiä. Friedman-testiä käytettiin parittaisessa vertailussa vertailemaan kolmea pariryhmää, ts. parittainen vertailu luokkahuoneittain kolmen eri siivousjaksojen aikana. Mikrobien korrelaatiot toistetuissa siivousjaksoissa ja identtisissä paikoissa tutkimusperiodissa 1 (2017/2018) ja tutkimusperiodissa 2 (2018/2019) sekä näiden kahden ajanjakson välillä analysoitiin käyttämällä Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa.

1.4.2. Elinkykyiset mikrobit

1. Petrimaljalle laskeutuneeseen pölyyn (keräysmenetelmä on kuvattu kappaleessa 1.4.1.) lisättiin elvytyslientä, joka sisältää 0.4 ml Tweeniä. Pöly inkuboitiin elvytysliemessä noin 30 min ja levitettiin kolmelle maljalle pumpulitupolla. Bakteerit kasvatettiin käyttämällä TSA elatusalustoja (tryptosaani soija-agar, pH >7.2), joka ei sisältänyt glukoosia tai muita pelkistäviä sokereita ja sienet MA elatusalustoja (mallasuteagar, pH 5) ilman antibiootteja. Maljat inkuboitiin 22 °C:n ja 37 °C:n lämpötiloissa ja luettiin muutaman päivän välein. Potentiaalisten patogeenien lukumäärät arvioitiin laskemalla 37 °C:ssa kasvavat pesäkkeet TSA- ja MA-maljoilta. Potentiaalisten patogeenisten homeiden läsnäolo MA-maljoilla varmistettiin testaamalla kasvua neutraalissa pH:ssa. Homeet ja bakteerit erotettiin toisistaan mikroskopoimalla. 1) Sienien määritelmä: Solujen ja rihmaston läpimitta >1-10 µm, soluorganellit näkyvissä (rihmastojen väliseinät, tumat, mitokondriot). 2) Bakteerien määritelmä: solujen ja rihmaston läpimitta <1 µm, tumat ja väliseinät puuttuvat. Tutkimuksilla saatiin tietoa siivousmenetelmien vaikutuksesta elinkykyiseen mikrobipopulaatioon ja mahdollisiin patogeenisiin lajeihin kouluissa.

2. Ilman mikrobipitoisuudet määritettiin mikrobikeräimellä (RCS® High Flow Touch Microbial Air Sampler, Merck Life Science Oy, Suomi). Mikrobien kokonaismäärien (bakteerit, hiivat ja homeet) määrittämiseen käytettiin TC (Tryptic Soy Agar) liuskoja (Merck Life Science Oy, Suomi), hiivojen ja homeiden määrittämiseen erikseen YM (Rose Bengal Agar with streptomycin) -liuskoja sekä toisessa tutkimusperiodissa SDX (Sabouraud Dextrose Agar) -liuskoja (Merck Life Science Oy, Suomi). Ensimmäisessä tutkimusperiodissa rinnakkaiset ilmanäytteet otettiin 1.5 m korkeudelta nopeudella 100 l/min. TC-liuskalla otettiin 100 l:n ja YM-liuskalla 1000 l:n ilmanäyte sisätilassa. Lisäksi otettiin ulkoilmanäytteet, joiden pitoisuudet vähennettiin sisäilmanäytteistä. Ulkonäytteiden ilmämäärä molemmilla liuskoilla oli 100 l. TC-liuskoja inkuboitiin 7 vrk (33°C) ja YM liuskoja 7 vrk (24°C) ennen pesäkkeiden laskemista (pmy/m³).

1.4.3. Pintojen kokonaisbakteerimäärät

Hygicult TPC -hygieniatestiä (Orion Diagnostica) käytettiin pintojen kokonaisbakteerimäärien määrittämiseen ensimmäisessä tutkimusperiodissa kouluissa (6 luokkaa) ja päiväkodissa (4 tilaa). Luokissa rinnakkaiset pintanäytteet otettiin neljän oppilaan pöydältä ja opettajan pöydältä pyyhkimällä. Bakteerien pesäkkeet laskettiin viiden päivän kasvatuksen jälkeen.

1.5. Kemialliset analyysit

1.5.1. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ilmanäytteet kerättiin yhdestä luokkahuoneesta (tutkimusluokka) kouluissa ja yhdestä ryhmätilasta päiväkodissa mittausjaksojen ensimmäisenä päivänä tilojen ollessa tyhjiä. Näytteet kerättiin aktiivisella menetelmällä 40 minuutin näytteenottoajalla Tenax TA-Carbograph 5TD- adsorbenttiputkiin nopeudella 200 ml/min (näytekoko 8 l) GilAir Plus -pumpuilla (Sensidyne, St. Petersburg, FL, USA) tutkittavan tilan keskeltä 130–150 cm korkeudelta. Näytteet analysoitiin standardin ISO 16000-6 mukaisesti kaasukromatografisesti käyttäen termodesorptiota ja massaselektiivistä ilmaisinta (TD-GC-MS). Yhdisteet tunnistettiin puhtaiden vertailuaineiden ja/tai Wiley- ja NIST-massaspektrometritietokantojen avulla. Näytteistä määritettiin VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueniekvivalenttina. TVOC määritettiin kromatogrammista n-heksaanin ja n-heksadekaanin väliseltä alueelta kyseiset aineet mukaan lukien. Yksittäisten aineiden pitoisuudet määritettiin joko puhtaiden vertailuaineiden avulla tai tolueniekvivalentteina. Näytteistä määritettiin myös TVOC-alueen ulkopuolisten yhdisteiden pitoisuuksia, mikäli ne olivat tulosten tulkinnan kannalta merkityksellisiä. Näytteiden analysointi suoritettiin FINAS akkreditoitussa testauslaboratoriossa (To13, EN ISO/IEC 17025) (Työterveyslaitos) palveluanalyysinä.

1.5.2. Aldehydit ja ketonit

Sisäilman aldehydit ja ketonit (karbonyyliyhdisteet) kerättiin samoista tiloista samalta korkeudelta yhtäaikaaisesti VOC-näytteiden kanssa. Menetelmässä analysoidaan formaldehydi, asetraldehydi, akroleiini, propionaldehydi, butyryraldehydi, bentsaldehydi, asetoni, 2-butanoni, metakroleiini ja heksanaali. 100 litran ilmanäytteet kerättiin Gilian 5000 -pumpuilla (Sensidyne, St. Petersburg, FL, USA) 1 l/min nopeudella 100 minuutin ajan 2,4-dinitrofenyylihydratsiinilla (DNPH) päällystettyihin Sep-Pak Xposure-patruunakeräimiin (Waters Corporation, Milford, MA, USA). Karbonyyliyhdisteet muodostavat hydratsiinin kanssa johdannaisia, jotka uutetaan keräimestä asetonitriinillä. Yhdisteiden pitoisuudet määritettiin nestekromatografisesti käyttäen ilmaisimena diodirividetektoria (360 nm). Pitoisuuksien määrittämisessä käytettiin puhtaita vertailuaineita. Analyysit on tehty perustuen ISO 16000-3 -standardiin. Näytteiden analysointi suoritettiin FINAS-akkreditoitussa testauslaboratoriossa (To13, EN ISO/IEC 17025, Työterveyslaitos) palveluanalyysinä.

1.5.3. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja partikkelien jatkuvatoimiset mittaukset

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden jatkuvatoimiset mittaukset siivousjaksojen aikana tehtiin käyttämällä GrayWolf Sensing Solutions (Connecticut, USA) AdvanceSense mittareita ja sensoreita (käytössä oli yksi TG 501 ja kolme IQ 610). Sensoreita käytettiin mittamaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta (TVOC), lämpötilaa, suhteellista kosteutta, hiilidioksidia, hiilimonoksidia ja rikkivetyä (IQ 610) kaikissa mittausjaksoissa. Arsiinia, ammoniakkia ja otsonia (TG 501) mitattiin molempien tutkimusperiodien aikana vain yhdessä kohteessa kerrallaan. Formaldehydiä mitattiin käyttämällä jatkuvatoimista mittaria FM-810 (Graywolf Sensing Solutions). Lisäksi Smartwatcher (Suomi) multisensoreita käytettiin osassa VOC- ja partikkelimittauksia. Partikkelit TSP (total suspended particles) mitattiin käyttämällä pDR-1500 (Thermo Fisher). Mittausdatat talletettiin pilvipalveluun sekä mittareiden muistiin.

1.6. Pintahygienia

Pinnoilla olevia valkuaisainemääriä (voivat toimia bakteerien kasvualustoina) tutkittiin PRO-Clean™-pintahygieniatestillä. PRO-Clean™-pintahygieniatestiä käytettiin ensimmäisessä tutkimusperiodissa mittausjaksoissa I ja II. Näytteitä otettiin varsinaisesta tutkimusluokasta 5 kpl (samoista paikoista kuin Hygicult-näytteet) ja muista viidestä luokasta yksi näyte opettajan pöydältä. Näyteala oli noin 10 cm² / näyte.

1.7. Toksikologiset analyysit

1.7.1. Sisäilman kosteudesta tiivistetyn veden toksisuus

Sisäilmassa olevaa vettä kerättiin siivousjaksojen aikana härmistämällä käyttäen hiilidioksidi- eli kuivajään avulla jäädytettyä teräksistä e-keräintä (Sisäilmatutkimuspalvelut Elisa Aattela Oy). Kerätyn veden sytotoksisuus määritettiin THP-1-monosyyteistä erilaistetuilla makrofageilla käyttäen mitokondrioiden aktiivisuutta kuvaavaa WST-1-sytotoksisuustestiä ja 24 h altistusajaa. Mittaukset tehtiin 3-4 luokkahuoneesta tai päiväkodin tilasta ensimmäisen tutkimusperiodin aikana (rinnakkaiset näytteet) ja 3 luokkahuoneesta tai päiväkodin tilasta toisen tutkimusperiodin aikana (ei rinnakkaisia näytteitä). Ensimmäisen tutkimusperiodin aikana ulkonäytteitä ei kerätty kaikista koulukohteista, mutta toisen tutkimusperiodin aikana ulkonäytteet kerättiin kaikista kohteista sisätilänäytteiden lisäksi.

Laboratoriossa makrofagisolut altistettiin ilmasta kerätylle vedelle ja mitattiin niiden elävyysprosentit käyttämällä kolorimetristä menetelmää, joka perustuu värimuunnokseen, kun vesiliukoisen tetratsolium-suola (WST-1) pilkkoutuu formatsaaniksi elävissä soluissa. Värimuunnos mitattiin spektrofotometrisellä menetelmällä. Kontrollisoluna käytettiin altistamattomia makrofagisoluja. Tulosten tilastolliseen analysointiin käytettiin t-testiä ja Mann-Whitney Rank Sum -testiä. Vesinäyte oli sytotoksinen, mikäli p-arvo oli tilastoanalyysissä <0,05.

1.7.2. Pinta-aktiivisten aineiden toksisuus ja liikkuvuus ilmassa

Siivousaineissa esiintyvien detergenttien (Taulukko 3) toksisuudet mitattiin käyttäen sian munuaissolulinjaa PK-15 ja sian siittiöitä. Toksisuuden arvioinnissa käytettiin neljän toksisuustestin EC₅₀ konsentraation keskiarvoja: (1) letaalit toksisuusvasteet kuten solukuolema, (2) sytostaattinen toksisuus kuten proliferaation esto, (3) subletaaliset toksisuusvasteet kuten mitokondriotoksisuus ja (4) liikkeen inhibitio. Vertailuaineena oli säilöntäaineena käytetty antibakteerinen triklosaani (5-kloori-2-, 2,4-dikloorifenoksi) fenoli).

Taulukko 3. Tutkitut pinta-aktiiviset aineet.

Pinta-aktiivinen aine	Siivousvaikutus
Didekyylimetyyliammoniumkloridi (DDAC)	Kationinen detergentti ja desinfiointiaine
Natriumdodekyylisulfaatti (SDS)	Anioninen detergentti
Polyoksietyleenisorbitaanimonooleaatti (polysorbaatti 80)	Ei-ioninen detergentti
Polyoksietyleenioctyylifenyyleetteri (Triton X-100)	Ei-ioninen detergentti
Isotridekyylipolyetyleeniglykolieetteri Genapol X-080	Ei-ioninen detergentti

Lisäksi tutkittiin siivousaineissa kosteutusaineena käytettävän Genapol X-080:n liikkuvuutta ilmassa.

2.Tulokset ja tulosten tarkastelu

Eri osa-alueiden tuloksia on käsitelty tarkemmin hankkeen aikana kirjoitetuissa tieteellisissä julkaisuissa sekä opinnäytetöissä, jotka on listattu luvussa ”4. Tutkimushankkeen julkaisut”.

2.1. Kirjallisuuskatsaus

Puhdistusaineita käytetään yleisesti puhtauden ja hygienian parantamiseksi (Liu ym. 2016; Wei ym. 2016). Eduistaan huolimatta ne voivat olla sisäilman epäpuhtauksien lähteitä (Wolkoff ym. 1998, Liu ym. 2016). Mishra ym. (2015) havaitsivat tutkimuksessaan, että puhdistuskemikaalien osuus sisäilman VOC-päästöistä oli 41%. Ihmiset työskentelevät ja viettävät vapaa-ajastaan valtaosan sisätiloissa, joten sisäilman epäpuhtauksien hengittäminen voi vaikuttaa negatiivisesti terveyteen. Puhdistusprosessien aikana sisäympäristöön leviää monia kemikaaleja, kuten kostutusaineita, pesuaineita, biosideja ja hajusteita, jotka ovat haitallisia ja joilla voi myös olla vaikutus sisätilojen mikrobiomiin (Dai ym. 2017).

Puhdistuskemikaalien sisältämät pinta-aktiiviset aineet ja kostutusaineet alentavat veden pintajännitystä, mikä lisää puhdistusliuoksen tehoa. Pinta-aktiiviset aineet, kuten kvaternääriset ammoniumyhdisteet voivat olla haitallisia hengitettynä (Kwon ym. 2109) ja niiden toksisuus liittyy solujen mitokondriaalisen hengityksen estämiseen (Inácio ym. 2013). Lisäksi niillä voi olla selektiivinen vaikutus sisätilojen mikrobiomiin. Eri pinta-aktiivisilla aineilla voi olla erilaisia biologisia aktiivisuuksia, joita ei tunneta hyvin. Esimerkiksi kostutusaineena siivouskemikaaleissa toimiva isotridekyylipolyetyleeniglykolieetteri (Genapol X-080) vaikuttaa selektiivisesti sieni-itiöiden itämiseen ja on myrkyllinen nisäkäsoluille (Castagnoli ym. 2017).

Haitallisten pesuainejäämien jääminen pinnoille on mahdollista sellaisessa siivousmenetelmässä, jossa pesuainetta suihkutaan pinnalle ilman pesun jälkeen vedellä tehtävää huuhtelua (Siracusa ym. 2013). Siivousaine itessään saattaa olla vaaraton oikein käytettynä, mutta yhdessä muiden kemikaalien kanssa syntyy yhdisteitä, jotka saattavat olla terveydelle haitallisia. Sisäilmaan leviävät siivousaineet voivat reagoida otsonin kanssa ja johtaa altistumiseen sekundaarisille sisäilman epäpuhtauksille (Nazaroff ja Weschler, 2004; Salonen ym. 2018a, Nørgaard ym. 2014). Siivousaineissa olevien terpeenien, kuten limoneenin reagoissa otsonin kanssa syntyy partikkeleita (Weschler ym. 1999). Tuoreen meta-analyysitutkimuksen mukaan ilmassa olevat partikkelit on liitetty hengitystiesairauksiin, sydän- ja verisuonitauteihin ja tyypin 2 diabetekseen (Yang ym. 2019). Puhdistusaineissa olevista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC) sekä sekundaarisista aerosoleista on useita julkaisuja (Nazaroff ja Weschler 2004; Singer ym. 2006; Wolkoff ja Nielsen 2001, Morawska ym. 2009, Mitro ym. 2016). Sekundaaristen orgaanisten aerosolien on todettu aiheuttavan keuhkotulehduksia ja olevan toksisia keuhkosoluille (Chowdhury ym. 2018, Niu ym. 2017).

Puoli haihtuvat säilöntäaineet, kuten isotiatsolinoni, joita käytetään laajalti antimikrobisina yhdisteinä mm. puhdistusaineissa, voivat aiheuttaa kontaktiallergioita sekä hengityselinsairauksia ja lisäksi myrkyllisiä kemiallisia kuormituksia sisätiloissa (Lundov ym. 2012, Nagorka ym., 2015, Gameiro ym. 2014). Useiden epidemiologisten tutkimusten perusteella on löydetty yhteys haitallisten hengitysvaikutusten, mukaan lukien astma ja herkistävät ominaisuudet, ja puhdistusaineille altistumisen välillä (Folletti ym., 2014, Quirce and Barranco, 2010, Zock ym., 2010). Puhdistusaineiden kotikäyttöön on liitetty lisääntynyt hengityksen vinkumisen, alahengitysteiden infektioiden ja hengitysteiden tulehduksen riski (Casas ym. 2012, 2013, 2015; Sherriff ym. 2005). On myös tunnettua, että puhdistusaineet voivat aiheuttaa työperäistä astmaa ja sisäilmasta aiheutuvia terveysoireita (Zock ym. 2001).

Tietomme siitä, kuinka muutamme rakennuksen mikrobiomia siivouksen vaikutuksesta, ovat erittäin rajalliset. Sisätiloissa oleville mikrobeille altistumisen lisäksi pintojen kanssa vuorovaikutuksessa oleva rakennuksen mikrobiota vaikuttaa myös rakennuksen kemiaan (NAS 2017). Tämä kemian ja

mikrobiologian välinen vuorovaikutus on äskettäin mainittu tärkeänä tulevaisuuden tutkimuksen alueena (Velazquez ym. 2019). Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että märkäpuhdistus (puhdistusaineella) ei ole tehokas poistamaan mikrobipitoisuutta (~ 50 % bakteereista ja sienistä), eikä estämään mikrobien ekologian ja pinta-mikrobipitoisuuksien palautumista (Kwan et al. 2018, 2019). Mikrobikontaminaatioon liittyvä huoli sisätilojen laadusta on johtanut puhdistusaineiden ja biosidien laajaan käyttöön. Pitää myös muistaa, että on tilanteita, joissa biosidien ja pesuaineiden runsas käyttö on ennaltaehkäisevän työterveyden kannalta välttämätöntä, esimerkkinä pernaruttokontaminaatio Helsingin yliopistollisessa eläinsairaalassa 2008 (Friman ym. 2019). Kostutus- ja pinta-aktiiviset aineet vaikuttavat veden fysikaalisiin ominaisuuksiin (Sunde ym. 2017), mikä voi vaikuttaa haitallisten kemiallisten aineiden biosaatavuuteen, mikrobien kasvuun, aineenvaihduntaan ja yhdisteiden leviämiseen (Ishikawa ym. 2002; Mwamburi ym. 2015; Myers D. 1988, Singh ym. 2018). Siksi on perusteltua olettaa, että siivousaineet -käytännöt vaikuttavat sisätilojen mikrobiomiin, mukaan lukien sen monimuotoisuuteen, elinkykyyn ja metaboliseen aktiivisuuteen.

Tutkimus siivouskäytäntöjen vaikutuksesta koulujen sisätilojen mikrobiomeihin tuottaa relevanttia uutta tietoa, kun otetaan huomioon rakennetun ympäristön mikrobiomin merkitys ihmisten terveydelle (NAS 2017). Kansanterveyden kannalta koulut ovat erittäin merkityksellisiä ympäristöjä, koska niihin liittyvät sisätilojen altistumiset koskevat isoa henkilömäärää. Altistumisella on merkittävät vaikutukset erityisesti lapsiin kehittyvän fysiologian ja immuunijärjestelmänsä vuoksi (Chaudhuri ja Fruchtengarten, 2005; Farhat ym. 2005). Uusien siivousmenetelmäsuositusten antamiseksi tarvitaan lisää poikkeusteellista tutkimusta siivouksen vaikutuksista sisäilman laatuun.

2.2. Sisäilmastokysely

Tutkimuskohteissa toteutettiin mittausten lisäksi sisäilmastokysely opetushenkilökunnalle ja oppilaille (lukioiden 1-2-luokkalaiset) ensimmäisessä tutkimusperiodissa vuonna 2018. Koulussa 2 kysely toteutettiin vain opetushenkilökunnalle kaupungin sisäisten lupamenettelyasioiden vuoksi. Vastausprosentit vaihtelivat oppilaiden osalta 20,5 ja 54,7 % välillä ja opetushenkilökunnan osalta 34,3 ja 85,2 % välillä.

Koulussa 1 opettajien vastauksista 21 kpl ja oppilaiden vastauksista 124 kpl kohdistuivat vesisiivousjaksolle, ja 9 kpl opettajien ja 30 kpl oppilaiden vastauksista osittain vesisiivousjaksolle ja osittain normaali siivousjaksolle. Koulussa 2 vastaajia oli vain 6 kpl ja päiväkodissa 7 kpl, ja vastaukset kohdistuivat vesisiivousjaksolle.

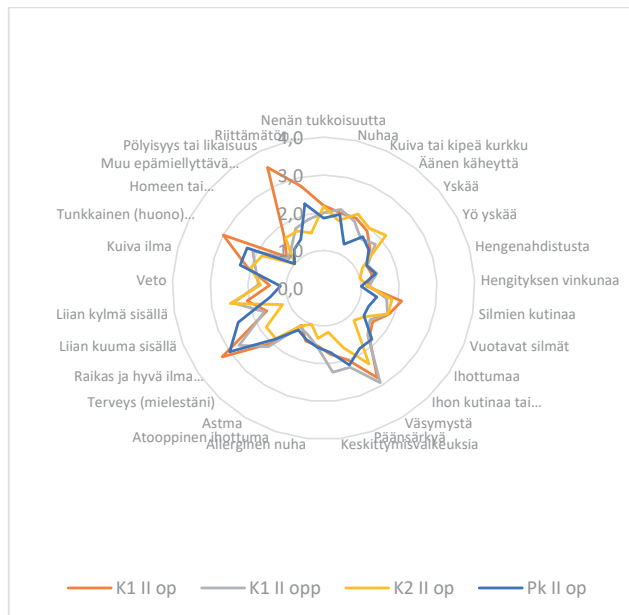
Ainoastaan vesisiivousjaksolle kohdistuneita vastauksia käytettiin arvioimaan vaikutuksia sisäilman laatuun (Taulukko 4).

Taulukko 4. Sisäilmastokyselyn tulokset kouluissa ja päiväkodissa.

Sisäilmastokysymykset	Kohteet			
	K1 Opettajat (vastauksia 21 kpl)	K1 Oppilaat (vastauksia 124 kpl)	K2 Opettajat (vastauksia 6 kpl)	Pk Opettajat (vastauksia 7 kpl)
	Vastauksien keskiarvot			
Onko sinulla ollut seuraavia hengitysoireita viimeisen 4 viikon aikana?	1 = Ei lainkaan, 2 = Kyllä, joskus, 3 = Kyllä, joka viikko, 4 = Kyllä, melkein joka päivä			
Nenän tukkoisuutta	2,2	2,0	2,2	1,9
Nuhaa	2,0	2,1	1,8	2,0
Kuiva tai kipeä kurkku	2,0	1,9	2,2	1,3
Äänen käheyttä	1,9	1,6	2,0	1,7
Yskää	1,6	1,8	2,2	1,6
Yöyskää	1,3	1,3	1,2	1,3
Hengenahdistusta	1,3	1,5	1,0	1,4
Hengityksen vinkunaa	1,1	1,2	1,2	1,0
Onko sinulla ollut muita oireita viimeisen 4 viikon aikana?	1 = Ei lainkaan, 2 = Kyllä, joskus, 3 = Kyllä, joka viikko, 4 = Kyllä, melkein joka päivä			
Silmien kutinaa	2,1	1,7	1,8	1,4
Vuotavat silmät	1,9	1,8	1,8	1,3
Ihottumaa	1,6	1,5	1,3	1,3
Ihon kutinaa tai punoitusta	1,8	1,7	1,2	1,9
Väsymystä	2,8	2,9	2,3	1,9
Päänsärkyä	2,0	2,2	1,7	2,1
Keskittymisvaikeuksia	1,8	2,2	1,2	1,7
Onko sinulla ollut viimeisen 4 viikon aikana?	1 = Ei, 2 = Kyllä			
Flunssaa	1,2	1,6	1,5	1,1

Onko sinulla koskaan ollut seuraavia sairauksia?	1 = Ei, 2 = Kyllä, viimeisen 12 kk aikana 3 = kyllä, mutta vain aiemmin			
Allerginen nuha (esim. heinänuha)	1,5	1,6	1,3	1,6
Atooppinen ihottuma	1,5	1,3	1,0	1,4
Astma	1,1	1,2	1,2	1,3
Onko terveydentilasi omasta mielestäsi?	1 = Erittäin hyvä, 2 = Melko hyvä, 3 = Kohtalainen, 4 = Melko huono			
Vastaus	2,0	2,1	1,8	1,9
Mitä mieltä olet seuraavista asioista?	1 = Aina tai usein, 2 = Melko usein, 3 = Silloin tällöin 4 = Melko harvoin, 5 = Harvoin tai ei koskaan			
Viihdyn työssäni	1,6	2,1	1,5	1,6
Tunnen hukkuvani työhöni	2,7	2,2	3,2	3,1
Saan apua ongelmiini työkavereilta	2,2	2,9	1,7	1,4
Minua kohdellaan oikeudenmukaisesti työpaikalla	1,6	2,0	1,3	1,6
Koulussa on raikas ja hyvä ilma hengittää	3,2	2,7	1,8	3,0
Ovatko seuraavat tekijät häirinneet sinua päiväkodissa viimeisen 4 viikon aikana?	1 = Ei lainkaan, 2 = Kyllä, joskus, 3 = Kyllä, joka viikko 4 = Kyllä, melkein joka päivä			
Liian kuuma sisällä	1,6	1,7	1,2	2,4
Vaihteleva lämpötila sisällä	1,7	2,1	1,7	2,0
Liian kylmä sisällä	2,0	2,4	2,5	1,4
Veto	1,4	1,7	1,7	1,1
Kuiva ilma	2,1	1,9	2,0	2,3
Tunkkainen (huono) ilma	3,0	2,1	1,8	2,3
Homeen tai "maakellarin" haju	1,3	1,2	1,0	1,0
Muu epämiellyttävä haju	1,7	1,4	1,7	1,3
Pölyisyys tai likaisuus	3,5	1,7	1,7	1,4
Riittämätön ilmanvaihto	2,8	1,9	1,5	2,3
Sopimaton valaistus	1,6	1,6	1,5	1,0
Melu	1,9	2,1	2,3	2,7
Luokan rauhattomuus	1,8	1,8	2,3	2,6
Kuinka huolestunut olet koulusi sisäilman laadusta?	1 = En lainkaan, 2 = Melko vähän, 3 = Jonkin verran, 4 = Melko paljon, 5 = Erittäin paljon, *6 = En osaa sanoa			
Vastaus	3,2	2,5	2,3	2,7

*Ei mukana keskiarvon laskennassa



Kuva 2. Kyselylomakkeen perusteella valikoidut oirekysymyksiä vastauksien keskiarvot (Taulukosta 4) kouluissa ja päiväkodissa ensimmäisen tutkimusperiodin vesisivousjakson aikana.

Pölyisyys ja likaisuus sekä tunkkainen ja huono ilma ja raikkaan ja koettiin ongelmalliseksi koulun 1 opettajien vastauksissa, ja hyvän ilman riittämättömyys koulun 1 opettajien ja oppilaiden sekä päiväkodin opettajien keskuudessa (Taulukko 4 ja Kuva 2). Koulun 1 oppilaat, joiden vastausten määrä oli selkeästi suurin, eivät kokeneet pölyisyyttä, likaisuutta, tunkkaista tai huonoa ilmaa ongelmaksi. Koulussa 2 opettajat kokivat sisäilman kohtalaiseksi hyväksi vesisivouksen aikana.

2.3. Haastattelu- ja havainnointitutkimukset

2.3.1. Haastattelututkimus

Tutkimuskohteina oli Espoosta viisi lukiota, Helsingistä kolme lukiota ja yksi päiväkotiki ja Vantaalta viisi lukiota. Haastateltuja siivoojia oli 14.

Osassa kohteista haastattelussa oli mukana esimies, jonka rooli oli lähinnä toimia taustatukena. Alan koulutus (laitoshuoltajan tai toimitilahuoltajan tutkinto) oli vain kuudella haastateltavalla, joten kahdeksan haastateltavan ammattitaito oli työkokemuksen ja perehdytyksen varassa. Yhdessä mittauskohteessa siivoojalla oli alan koulutus ja muissa kahdessa sitä ei ollut. Siivoushenkilöstöstä vain kolmen työsuhte oli kestänyt yli viisi vuotta ja seitsemän alle vuoden. Kolmen vastaajan työsuhte kohteessa oli haastatteluhetkellä kestänyt vasta muutaman päivän. Osa haastatelluista oli ollut saman työnantajan palveluksessa mutta eri siivouskohteessa. Kaikista haastatelluista kohteista siivous oli ulkoistettu kymmenessä kohteessa ja lopuissa siitä vastasi kaupungin oma siivousorganisaatio. Mittauskohteissa vain yksi kohde oli ulkoistettu ja muissa kahdessa oli kaupungin oma siivous.

Kaikissa tutkimuskohteissa käytettiin esivalmisteltua siivousta, joka tarkoittaa mikrokuituisten siivoustekstiilien kostuttamista etukäteen ohjeistuksen mukaisesti. Pyyhkeet ja mopit kostutettiin yleispuhdistusaineliuksella ja sen oikea annostus mitattiin annostelupumpulla annetun ohjeistuksen mukaisesti. Mahdollisesti tarvittava lisäkostutus, esimerkiksi tahroille, tehtiin tasopinnoille usein ainoastaan vesijohtovedellä myös kemikaalisiivouksen aikana. Lattiamoppien kostuttamiseen käytettiin puhdistusaineen käyttöliiuksia. Kaikissa kohteissa oli tekstiilipintaisia huonekaluja ja niiden puhdistaminen vaihteli päivittäin tehtävästä puhdistuksesta vain 1–2 kertaa vuodessa tehtävään puhdistukseen. Käytetyt menetelmät vaihtelivat kohteittain mikrokuitupyhkeellä pyyhinnästä painehuuhtelukoneella pesuun. Siivottavuuteen vaikuttavia epäkohtia havaittiin jonkin verran ja niistä erikseen mainittiin kalusteiden epäjärjestys, tahallinen roskaaminen, tiloissa olevat ylimääräiset kalusteet ja tasopinnoilla olevat ylimääräiset tavarat. Verhojen säännöllisestä puhdistamisesta huolehdittiin vain osassa kohteista, sillä ne eivät yleensä kuulu siivoussopimukseen. Siivouksen laatu varmistettiin aistinvaraisesti sekä siivoojien että esimiesten toimesta. Joissakin kohteissa laatua tarkkaili myös asiakas tai ulkopuolinen toimija. Tällöin tarkistuksia tehtiin harvemmin kuin oman työn laadunvalvontaa. Kenttätutkimuskohteissa tutkittavien tilojen siivoukseen käytettiin pääsääntöisesti heikosti emäksisiä yleispuhdistusaineita, joiden annosteluohjeistus ja tehoaineet on koottu Taulukkoon 5.

Taulukko 5. Kenttätutkimuskohteissa käytetyt puhdistusaineet haastattelupäivinä.

Kohde	Puhdistusaine	Annostelu	Tehoaineet	Käyttökohde	Muut huomiot
Päiväkoti	Käyttövalmis yleispuhdistusaine	Suihkutetaan sellaisenaan puhdistettavalle pinnalle tai siivouspyyhkeeseen.	Ionittomia tensidejä (< 5 %)	Tasopinnot	Pyyhkeiden manuaalinen kostutus pelkällä vedellä. Tarvittaessa yleispuhdistusainetta suihkutetaan pinnoille tai pyyhkeeseen (Joutsenmerkki, biohajoava tuote).
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 1	1-5 ml / 1 l vettä.	Ionittomia tensidejä (< 5 %) Saippua (< 5 %)	Lattiapinnat	Pesukoneessa kostutukseen (Joutsenmerkki, biohajoava tuote).
Koulu 1	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 2	2 ml / 5 l vettä	Ionittomia pinta-aktiivisia aineita (15 – 30 %)	Taso- ja lattiapinnat	Kostutus vedellä. Tarvittaessa käytetään yleispuhdistusainetta (Joutsenmerkki).
Koulu 2	Puhdistus- ja hoitoaine	0,5-2 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (5– 15 %) Polykarboksylaattia (< 5 %) Saippua (< 5 %)	Lattiapinnat	Manuaalinen kostutus vedellä. Tarvittaessa käytetään yleispuhdistusainetta.
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 3	2 ml / 5 l vettä	Polykarboksylaattia (< 5 %) Saippua (< 5 %)	Tasopinnot	

Haastattelujen kohteiden (n=14) tilojen siivoukseen käytettiin sekä neutraaleja että heikosti emäksisiä yleispuhdistusaineita, joiden annosteluohjeistus ja tehoaineet on koottu Taulukkoon 6. Päivittäisessä käytössä puhdistusaineet olivat tiivisteitä tai valmiita käyttöliuoksia. Yleispuhdistusaineen käyttöliuoksessa tehoaineiden pitoisuus on erittäin pieni. Taulukosta selviää puhdistusaineiden annostussuhde. Puhdistusaineiden käyttöliuoksien annostussuhde vaihtelee välillä 0,2 -1 ml / 1 litra vettä.

Taulukko 6. Haastattelukohteiden siivouksessa käytettävät puhdistusaineet.

Kohde	Puhdistusaine	Annostelu	Tehoaineet	Käyttökohde
Päiväkoti	Käyttövalmis yleispuhdistusaine	Suihkutetaan sellaisenaan puhdistettavalle pinnalle tai siivouspyyhkeeseen	Ionittomia tensidejä (< 5 %)	Tasopinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 1	1 - 5 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (< 5 %) Saippuaa (< 5 %)	Lattiapinnat
Koulu 1	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 2	2 ml / 5 l vettä	Ionittomia pinta-aktiivisia aineita (15 - 30 %)	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 2	Puhdistus- ja hoitoaine 1	0,5 - 2 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (5 - 15 %) Polykarboksylaattia (< 5 %) Saippuaa (< 5 %)	Lattiapinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 3	2 ml / 5 l vettä	Polykarboksylaattia (< 5 %) Saippuaa (< 5 %)	Tasopinnat
Koulu 3	Neutraali yleispuhdistusaine	0,2 - 1 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (15 - < 30 %) Saippuaa (< 5 %) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
	Käyttövalmis yleispuhdistusaine	Suihkutetaan sellaisenaan puhdistettavalle pinnalle tai siivouspyyhkeeseen	Ionittomia tensidejä (< 5 %)	Tasopinnat
Koulu 4	Neutraali yleispuhdistusaine	0,2 - 1 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (15 - < 30 %) Saippuaa (< 5 %) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 5	Neutraali yleispuhdistusaine	0,2 - 1 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (15 - < 30 %) Saippuaa (< 5 %) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 6	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 6	1 - 5ml/ 1l vettä	Ionittomia tensidejä (5-15%) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 4	1 ml / 5l vettä	Ionittomia tensidejä (15- < 30 %) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 7	Käyttövalmis puhdistus- ja tahranpoistoaine	Suihkutetaan sellaisenaan puhdistettavalle pinnalle tai siivouspyyhkeeseen	Propan - 2 - oli; isopropyylialkoholi; isopropanoli (5 - < 10 %) 3 -Butoksi - 2 - propanoli (1 - < 3%)	Tasopinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine	1 - 5ml/ 1l vettä	Ionittomia tensidejä (5-15%) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 8	Puhdistus- ja hoitoaine 2	1 - 2ml/ 1l vettä	Ionittomia tensidejä 15- 30%) Saippuaa (< 5 %)	Lattiapinnat
	Käyttövalmis yleispuhdistusaine	Suihkutetaan sellaisenaan puhdistettavalle pinnalle tai siivouspyyhkeeseen	Ionittomia tensidejä (< 5 %)	Tasopinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 5	1 - 5 ml / 5l vettä	Ionittomia tensidejä (5-15 %)	Taso- ja lattiapinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 4	1 ml / 5l vettä	Ionittomia tensidejä (15- < 30 %) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 9	Puhdistus- ja hoitoaine 2	2 - 10 ml/ 5l vettä	Ionittomia tensidejä (5- 10 %) Phenoxyethanol Hajustetta	Lattiapinnat
Koulu 10	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine	1 - 5ml/ 1l vettä	Ionittomia tensidejä (5-15%) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 2	2 ml / 5 l vettä	Ionittomia pinta-aktiivisia aineita (15 - 30 %)	Taso- ja lattiapinnat
Koulu 11	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 3	2 ml / 5 l vettä	Polykarboksylaattia (< 5 %) Saippuaa (< 5 %)	Tasopinnat
Koulu 12	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 4	1 ml / 5l vettä	Ionittomia tensidejä (15- < 30 %) Hajustetta	Taso- ja lattiapinnat
	Käyttövalmis yleispuhdistusaine	Suihkutetaan sellaisenaan puhdistettavalle pinnalle tai siivouspyyhkeeseen	Ionittomia tensidejä (< 5 %)	Tasopinnat
Koulu 13	Heikosti emäksinen yleispuhdistusaine 1	1 - 5 ml / 1 l vettä	Ionittomia tensidejä (< 5 %) Saippuaa (< 5 %)	Lattiapinnat

Siivoustekstiilien esivalmistelussa käytetty puhdistusainekäyttöluoksen määrä vaihteli käytetystä kostutusmenetelmästä ja tuotteesta riippuen. Ylläpitosiivouksessa käytettävien puhdistusaineiden valikoima oli pieni ja muita kuin yleispuhdistusaineita käytettiin vain tarvittaessa. Kohteissa mainittiin mm. tahrannoitustuote ja pääsääntöisesti yleisissä tiloissa käytettävät lasinpuhdistusaineet

2.3.2. Havainnointitutkimus

Tutkimuksessa tehtiin haastattelujen yhteydessä kohdehavainnoja siivoustiloista, siivousvaunuista ja niiden varusteista. Lisäksi tehtiin havainnoja tilojen puhtaustasosta ja siivottavuudesta niiltä osin, kuin se oli mahdollista. Tutkimuksen pääpaino oli kuitenkin selvittää siivouskemikaalien käyttöä siivouskohteissa.

Tutkimuskohteista kuudessa käytiin vasta kesäkuun puolella, joten kohteissa oli kesän perussiivoukset käynnissä ja näin ollen myös siivousvaunun varustus ei välttämättä ollut ylläpitosiivouksen mukainen. Tutkimuskohteissa keskityttiin vain luokkahuoneiden siivoukseen, vaikka siivoojien alueet käsittivät myös muita tiloja. Tämä selittää sen, että siivousvaunuissa oli mukana muiden tilojen siivoukseen käytettäviä siivousaineita. Siivouskeskuksissa ja -huoneissa oli nähtävissä jonkin verran vanhoja tai muuten käytöstä poistettuja puhdistusaineita. Kohteiden siivottavuus vaihteli riippuen lähinnä kalustusasteesta. Haastattelussa mainitut siivottavuutta koskevat epäkohdat olivat tutkimuskohteissa hyvin havaittavissa. Esimerkkinä Kuvassa 3 on runsaskalusteinen luokkahuone, jonka siivottavuus oli huono.



Kuva 3. Luokkahuone, jonka kalustusaste oli korkea ja siivottavuus huono (Kylmäkorpi 2018).

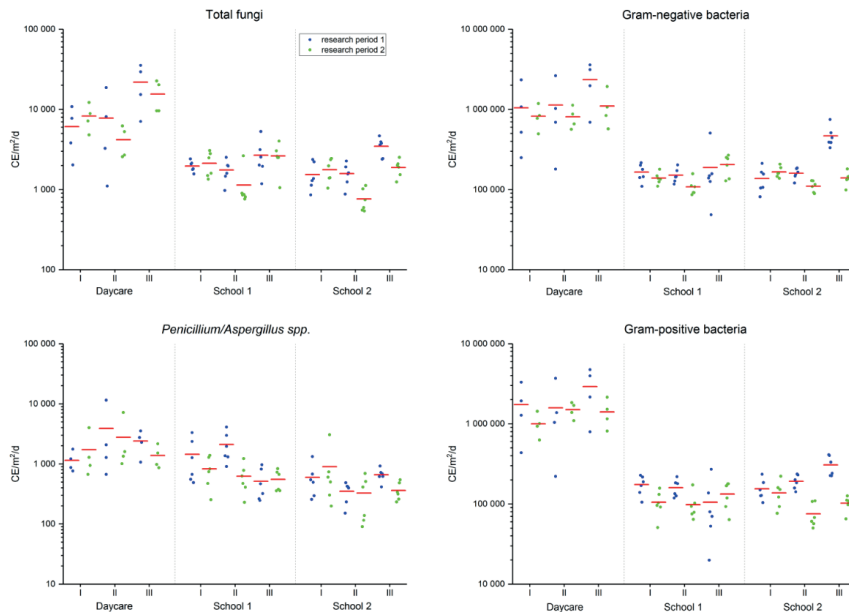
2.4. Mikrobiologiset analysit

2.4.1 Kvantitatiiviset PCR analysit

DNA-pohjaisilla mikrobimittauksilla (qPCR kahden viikon laskeutuneista pölynäytteistä luokkahuoneista) ilmeni selviä eroja mikrobitasoissa koulujen ja päiväkodin välillä (Kuva 4).

Erityisesti bakteerien, mutta myös sienten pitoisuuksien todettiin olevan korkeampia päiväkodin näytteenottoaikoissa sekä tutkimusperiodin 1 että tutkimusperiodin 2 mittauksissa. Yksittäisen luokan tai päiväkodin tilan mittausten mediaanit vaihtelivat seuraavasti: Gram-positiiviset bakteerit: päivähoitossa 6,3–41 kertaa korkeampi kuin kouluissa 1 tai 2. Gram-negatiiviset bakteerit: 4,3–18 kertaa korkeampi päiväkodissa. Sienten kokonaismäärä: 3,0–9,8 kertaa korkeampi päiväkodissa. *Penicillium* / *Aspergillus* -ryhmä: 1,1–6,4 kertaa korkeampi päiväkodissa.

Mikrobitasoissa havaittiin vaihtelua saman rakennuksen eri luokkahuoneista/tiloista kerättyssä pölyssä, mikä näkyy myös pisteiden laajassa osittaisessa leviämässä Kuvassa 4 (tyypillisesti jopa viisinkertaiset erot, yksittäistapauksissa yli kymmenkertaiset erot luokkahuoneiden mikrobitasojen välillä yhdessä rakennuksessa). Nämä havaitut erot mikrobitasoissa koulujen ja päiväkodin välillä sekä niiden sisällä saattavat selittyä eroilla käyttöasteessa, ilmanvaihdossa tai muilla rakennusominaisuuksilla, mutta tässä tutkimuksessa ei tällaisia yhteyksiä tutkittu. Erot koulujen ja päiväkodin mikrobitasoissa saattavat myös osoittaa eroja siivousaikatauluissa ja tiheyksissä. Haastattelu- ja havainnointitutkimuksista ei kuitenkaan selvinnyt suuria eroja siivouskäytännöissä eri tutkimusrakennusten välillä.

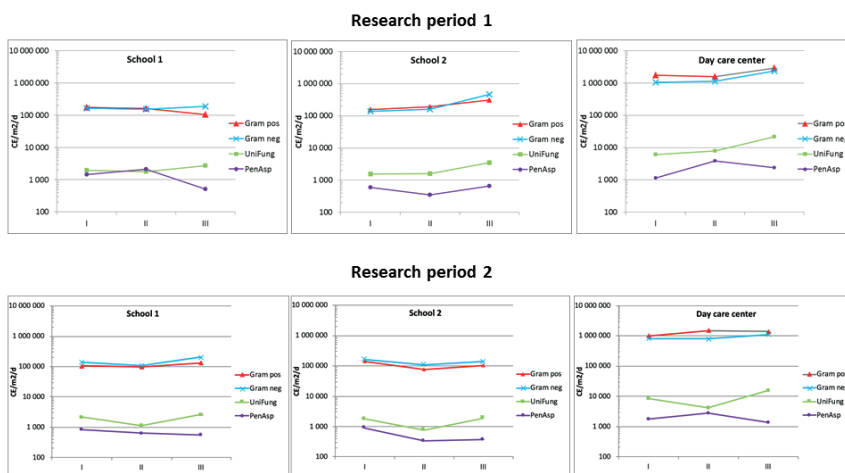


Kuva 4. Laskeutuneen pölyn mikrobitasot koulu- ja päiväkotirakennuksissa qPCR-menetelmällä määritettyinä tutkimusperiodin 1 ja tutkimusperiodin 2 aikana (pisteet edustavat mittauksia yksittäisissä luokkahuoneissa/tiloissa eri siivousjaksoissa).

Tutkimusperiodien 1 ja 2 välisten yksittäisten mikrobimittausten qPCR-tulosten (n=48) Spearman-korrelaatiot luokkahuoneissa ja vaiheissa I-III olivat merkitseviä (p < 0,05). Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin rho vaihteli arvosta 0,46 (gram-negatiiviset bakteerit) arvoon 0,63:n (sienten kokonaismäärä), mikä osoittaa kohtalaisen tai vahvan korrelaation tutkimusperiodien 1 ja 2 mittausten välillä. Mikrobimittausten tärkein tavoite oli testata laskeutuneessa pölyssä esiintyvien mikrobitasojen eroja siivousinterventio ja normaalsiivouksen välillä. Tätä varten tehtiin ryhmäkohtaisesti vertailut kolmen vaiheen välillä (normaalsiivous I, siivousinterventio II ja normaalsiivous III) ja lisäksi vastaavan näytteen vertailu mikrobimittauksista kussakin paikassa.

Tutkimusperiodin 1 mittauksessa emme havainneet yhdenmukaisia tuloksia, jotka osoittaisivat

siivoustoimenpiteiden vaikuttavan laskeutuneen pölyn mikrobitasoihin luokkahuoneissa (Kuva 5). Yksikään mitattavista mikrobiryhmistä ei ollut jatkuvasti alempi tai korkeampi siivousintervention aikana (vaihe II) verrattuna molempiin normaalsiivousvaiheisiin I ja III, kun otetaan huomioon kaikki koulut ja luokkahuoneet. Sienten ja gram-negatiivisten bakteerien tasot olivat korkeampia vaiheessa III verrattuna vaiheisiin I ja II, mikä heijastaa todennäköisesti ulkomikrobitasojen kausittaisia nousuja keväällä verrattuna talvikuukausiin, jolloin maa on lumessa (Taulukko 2). Nämä kohonneet tasot olivat merkitseviä ($p < 0,05$) kokonaissientien suhteen ryhmävertailussa (Kruskal Wallis -testi) ja gram-negatiivisten bakteerien ja kokonaissientien osalta näytteen vastaavuusvertailuissa (Friedman-testi). Yleisesti ottaen sisäympäristön gram-negatiiviset bakteerit ja sienet ovat peräisin pääasiassa ulkoilmasta, maaperästä ja kasveista, kun taas sisätiloissa gram-positiivisten bakteerien lähde ovat ihmiset. Tutkimusperiodin 1 mittauksissa havaitsimme siivousintervention II aikana merkitsevästi alhaisemmat gram-negatiiviset bakteeri- ja sienipitoisuudet normaalsiivoukseen I ja III verrattuna sekä ryhmäkohtaisesti että näytteen vastaavuusvertailussa. Emme havainneet näitä suuntauksia gram-positiivisten bakteerien tai *Penicillium* / *Aspergillus*-ryhmän suhteen. Näiden havaintojen tulkinta on tehtävä huolellisesti eikä niitä pidä irrottaa muista mittaushavainnoista.



Kuva 5. Mikrobiryhmien tasot kouluista ja päiväkodista kerätyissä pölyissä siivousjaksojen I (normaalsiivous), II (vain vedellä siivous) ja III (normaalsiivous) ja tutkimusperiodien 1 ja 2 aikana. Esitetyt luvut ovat keskimääräisiä 4–6 luokkahuoneen tasoa koulua tai päiväkotia kohden kussakin siivousjaksossa.

Erot tuloksissa tutkimusperiodien 1 ja 2 välillä saattoivat johtua pidemmästä ajanjaksosta tutkittujen siivousjaksojen välillä ennen näytteenottoa periodin 2 aikana: ensimmäisenä vuonna (tutkimusperiodi 1) laskeutuneen pölyn näytteenotto aloitettiin kaksi viikkoa siivouskäytännön muutoksen jälkeen; toisena vuonna (tutkimusperiodi 2) näytteenotto aloitettiin neljä viikkoa siivouskäytännön muutoksen jälkeen, jotta mahdolliset siivousvaikutukset heijastaisivat paremmin sisätilojen mikrobitasoja.

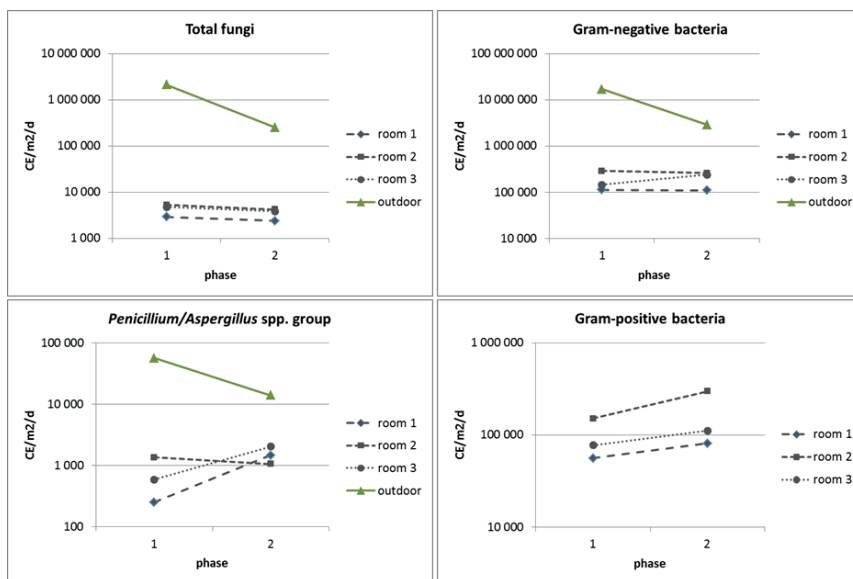
Tutkimusperiodin 2 tulokset ovat odottamattomia, koska siivousaineiden käytön lopettamisen voisi ajatella nostavan eikä vähentävän sisätilojen mikrobitasoja. Lisäksi voisi olettaa siivouksen vaikutuksen heijastuvan mikrobitasoihin yleensä, toisin sanoen kaikkiin qPCR-tuloksiin, eikä selektiivisesti joihinkin mitattuihin mikrobimarkkereihin.

Gram-negatiivisten bakteerien ja kokonaissientien pitoisuus oli alhaisempi vain siivousintervention aikana, toisin kuin gram-positiivisilla bakteereilla tai *Penicillium* / *Aspergillus*-ryhmällä. Tämä voi viitata siihen, että muutokset johtuivat pikemminkin ulkomikrobitasojen vaihteluista kuin puhdistuksen vaikutuksesta, mikä on vastaava tulos kuin tutkimusperiodi 1:ssä. Tutkimusperiodin 2 vesisivousintervention aikana maassa oli lumipeite (31–43 cm) kaikissa tutkimuskohteissa (Taulukko 2). Lumipeite vaikuttaa ulkoilman mikrobitasoihin ja on todennäköistä, että tämä vaikutti myös alhaisempaan sisätilojen mikrobitasoon. Silti havainto siitä, että puhdistaminen vain vedellä voisi johtaa koululuokkien mikrobitasojen alenemiseen, on hyvin mielenkiintoinen. Kerätyn datan perusteella havainnosta ei voida kuitenkaan tehdä perustavanlaatuisia johtopäätöksiä, ja lisätutkimusta aiheesta tarvitaan.

Mittaus tulokset ultraH₂O-vesisivouksen mahdollisista vaikutuksista yliopistojen luentoiloissa on esitetty Kuvassa 6. Näissä kolmessa luentoalissa arvioitiin vain normaalsiivousta ja ultraH₂O-vesisivousta.

Lisäksi seurattiin ulkomikrobitasoa ulkoa samanaikaisesti kerätyistä laskeutuneista pölynäytteistä.

Kolmessa luentosalissa toteutettujen sisämittausten osalta ei havaittu yhdenmukaisuutta mitattujen bakteeri- ja sieniryhmien välillä. Sienien kokonaismäärät ja gram-negatiiviset bakteeritasot olivat ultraH₂O-vesisiivouksen aikana hieman alhaisemmat kuin normaalsiivouksen aikana useimmissa tapauksissa. Tämä johtuu todennäköisesti siivousjaksojen välillä tapahtuneesta ulkomikrobitason voimakkaasta laskusta. Gram-positiiviset bakteeritasot ja *Penicillium* / *Aspergillus* -ryhmä olivat selvästi kohonneet vain ultraH₂O-vesisiivouksen aikana useimmissa tapauksissa. Yhteenvetona voidaan todeta, että rajoitetun aineiston perusteella ei havaittu ultraH₂O-vesisiivouksen selkeää ja johdonmukaista vaikutusta sisätilojen mikrobitasoon.



Kuva 6. Mikrobiryhmien tasot yliopiston luentosalista siivousjaksojen 1 (normaalsiivous) ja 2 (ultraH₂O-vesisiivouksen) aikana kerätyssä laskeutuneessa pölyssä, sekä siivousjaksojen aikana ulkoa kerätyistä laskeutuneista pölynäytteistä mitatut ulkomikrobitasot (gram-positiivisten bakteerien mittaus epäonnistui).

Tässä esitetyn kvantitatiivisen analyysin lisäksi tehtiin bakteeri- ja sieniyhteisöjen kvalitatiivinen, perusteellinen profilointi pölynäytteistä Illumina amplikoni -sekvensoinnin avulla. Analyysit ovat parhaillaan käynnissä, ja niiden avulla voidaan tunnistaa muutokset mikrobien monimuotoisuudessa, mikroyhteisöjen koostumuksessa ja yksittäisissä bakteeri- tai sienitaksoneissa eri siivouskäytäntöjen aikana. Tulokset tulevat täydentämään tässä esitettyjä kvantitatiivisia tuloksia.

2.4.2. Elinkykyiset mikrobit

Bakteerimäärät olivat hieman korkeampia RCS-mikrobikeräimellä TC-liuskalle kerätyissä ilmanäytteissä kemikaalittoman siivouksen aikana verrattuna normaalsiivoukseen tutkimusperiodilla 1 (Taulukko 7), mutta samaa muutosta ei havaittu tutkimusperiodin 2 aikana. Näin ollen siivousmenetelmän vaikutus bakteerien määrään jäi epäselväksi.

YM- tai SDX-liuskalle kerätyissä ilmanäytteissä sienien määrissä ei havaittu muutoksia eri siivousmenetelmien välillä kummassakaan tutkimusperiodissa. Mikrobikeräimellä määritettyjen sisätilan homeiden ja hiivojen määrät (YM- tai SDX-liuska) olivat huomattavasti pienempiä kuin ulkoa otetuissa näytteissä. Sisätilan elinkykyisten mikrobien kokonaismäärissä (TC-liuska) oli huomattavissa kasvua kemikaalittoman siivouksen aikana ulkoilman määrien vaihtelusta huolimatta. Erillisillä mittauksilla (YM/SDX- ja TC-liuskat) todettujen hiivojen ja homeiden pienen määrän takia mikrobien kokonaismäärä koostui oletettavasti lähinnä bakteereista. Yliopiston luentosalissa mikrobikeräimellä tehdyissä mikrobimittauksissa ei ollut eroja normaalsiivouksen ja ultraH₂O-vesisiivouksen välillä, ja ulkoilman bakteeri- ja sienipitoisuudet olivat suurempia kuin sisätilasta mitatut.

Taulukko 7. Ensimmäisen tutkimusperiodin mikrobien määrä (pesäkkeen muodostava yksikkö, pmy/m³) kerättyinä RCS-mikrobikeräimellä eri kasvatusliuskoille kouluista ja päiväkodista eri siivousmenetelmien aikana.

Kohde		Kokonaismikrobimäärät kerättyinä TC-liuskalle		
		30.1.2018 Normaali siivous	13.3.2018 Vesisiivous pmy/m ³	10.4.2018 Normaali siivous
Koulu 1	Luokka 1	180	290	210
	Ulkoilma	160	10	50
Koulu 2	Luokka 2	80	500	250
	Ulkoilma	60	55	65
Päiväkoti	Tila 1	460	685	345
	Ulkoilma	40	190	85
Kohde		Homeiden ja sienien määrä kerättyinä YM-liuskalle		
		30.1.2018 Normaali siivous	13.3.2018 Vesisiivous pmy/m ³	10.4.2018 Normaali siivous
Koulu 1	Luokka 1	0	1	0
	Ulkoilma	50	5	95
Koulu 2	Luokka 2	0	1	1
	Ulkoilma	30	5	30
Päiväkoti	Tila 1	0	6	1
	Ulkoilma	20	15	90

Eri siivousmenetelmien aikana toisessa tutkimusperiodissa kerätyt pölynäytteet viljeltiin petrimaljoissa eri alustoilla. Elinkykyisten potentiaalisten patogeenisien mikrobien määrät pölynäytteissä koulussa 1 (24 %) ja päiväkodissa (9 %) olivat koholla pelkällä vedellä tehdyn siivouksen aikana verrattuna tavalliseen siivoukseen. Potentiaalisesti patogeenisia homeita oli vähän ja niiden määrät eivät lisääntyneet kemikaalittoman siivouksen seurauksena. Koulussa 2 havaittiin 26 %:n kasvu potentiaalisten patogeenisien bakteerien määrissä verrattuna tavalliseen siivoukseen. Huoneenlämmössä kasvaneiden bakteerien määrät olivat koholla koulussa 2 (10 %) ja koulussa 1 (31 %) vesisiivouksen aikana verrattuna tavalliseen siivoukseen. Ainoastaan päiväkodissa huoneenlämmössä kasvaneiden bakteerien määrä oli normaali siivouksen aikana 27 % suurempi kuin pelkällä vedellä siivouksen aikana. Yliopiston luentosalissa havaittiin ultraH₂O-vesisiivouksen aikana potentiaalisten patogeenisien bakteerien määrissä 88 %:n kasvu ja huoneenlämmössä kasvaneiden bakteerien määrissä 79 %:n kasvu verrattuna tavalliseen siivoukseen (Taulukko 8).

Taulukko 8. Koulujen, päiväkodin ja yliopiston luentosalin kolmen maljan yhteenlaskettu pesäkemäärä toisen tutkimusperiodin aikana. Pesäkkeet varmistettiin sieniksi ja bakteereiksi mikroskooppisen tarkastelun perusteella.

Kohde	Käytetyt elatusalustat ja kasvatuslämpötilat							
	37 °C				25 °C			
	MEA Sienet		TSA Bakteerit		MEA Sienet		TSA Bakteerit	
	n*	D**	n*	D**	n*	D**	n*	D**
Koulu 2								
I	-	-	76	5	-	-	116	3
II	1	1	103	6	-	-	120	4
III	-	-	-	-	1	1	-	-
Koulu1								
I	-	-	34	4	1	1	60	3
II	-	-	45	4	1	1	87	3
III	-	-	-	-	1	1	-	-
PK								
I	-	-	95	4	10	7	110	5
II	1	1	104	5	6	1	80	7
III	1	1	34	6	1	1	8	6
Yliopisto								
I	-	-	3	2	2	2	4	4
UltraH₂O-vesisiivous	1	1	26	10	1	1	19	7

*pesäkkeiden lukumäärä 3 maljalla ** erinäköisiä pesäkkeitä. I, III=normaali siivous, II= vesisiivous, näytteenoton ajankohdat 3.12-7.12.2018 (I), 4.2-18.2.2019 (II) ja 26.3-9.4.2019 (III), MEA (mallas agar), TSA (tryptic soy agar)

2.4.3. Pintojen kokonaisbakteerimäärät

Mitatut mikrobimäärät vaihtelivat kohteiden, mittauspaikkojen ja -ajankohtien välillä. Johdonmukaisuuksia eri siivousjaksojen välillä ei havaittu.

2.5. Kemialliset analyysit

2.5.1. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Ilmanäytteistä mitatut TVOC-pitoisuudet (5–50 µg/m³) ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet kouluissa ja päiväkodissa olivat molemmissa tutkimusperiodissa selvästi alle asumisterveysasetuksen toimenpidearvojen (Asumisterveysasetus, 2015) huoneilmassa TVOC < 400 µg/m³ ja yksittäisen VOC < 50 µg/m³ ellei yhdisteelle ole säädetty omaa toimenpiderajaa). Vaihtelu TVOC-pitoisuuksissa mittausjaksojen välillä oli pientä molemmissa tutkimusperiodeissa (noin 10–20 µg/m³).

Taulukko 9. Mitatut VOC-yhdisteet kouluista ja päiväkodista kerätyissä ilmanäytteissä eri siivousmenetelmien aikana ensimmäisellä tutkimusperiodilla.

Kohde	Koulu 1 LK1			Koulu 2 LK1			Päiväkoti Tila 1		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Siivousmenetelmä									
Yhdiste	µg/m ³								
ALIFAATTISET HIILIVEDYT									
Pentadekaani								0,4	
Tetradekaani							0,5	0,8	0,7
Tridekaani								0,5	0,5
AROMAATTISET HIILIVEDYT									
Bentseeni	1	1		2	1		1	2	0,7
Ksyleenit (p,m)					0,5		0,8	0,5	0,7
Toluenei	1	0,8		1	1		0,9	1	1
TERPEENIT									
3-Kareeni							1	1	0,8
Karvoni						0,5			
Limoneeni				0,6	0,5		0,7	1	0,5
a-Pineeni							5	4	4
b-pineeni								0,4	
YKSIARVOISET ALKOHOolit									
Bentsyylialkoholi							0,5		
1-Butanoli					0,6		1	0,9	1
2-Etyyli-1-heksanoli							1	0,1	0,8
2-Propanoli								9	7
C9-alkoholit	1		0,9						
Etanoli	4	5		4	5	6	6	9	6
Mentoli				1	1	2	2		
GLYKOLIT									
1,2-Propanidioli eli propyleeniglykoli					3	2	2	5	2
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT									
1-Metoksi-2-propanoli					2				
Dipropyleeniglykolimetyyleetterit									0,7
2-Fenoksietanoli								1	
ALDEHYDIT									
Bentsaldehydi		0,9			0,8			0,8	0,5
Dekanaali	0,6	3	0,9	0,8	3	3	0,5	1	0,8
Heksanaali						0,7	3	2	2
Heptanaali						0,5			
Nonanaali		2	0,7		2	3	2	3	3
Oktanaali		0,6			0,6	0,7		0,5	
Pentanaali							1	0,5	0,5
KETONIT									
Asetofenoni									0,5
Asetoni	3	5	3	3	7	8	9	8	9
6-Metyyli-5-hepten-2-oni								0,4	
HAPOT									
Etikkahappo									14
Heksaanihappo, kapronihappo								2	3
ESTERIT JA LAKTONIT									
TXIB							3		3
PIIYHDISTEET									
Dodekametyylisykloheksasiloksaani	2	2		2	1	0,5	1	3	2
Oktametyylisyklotetrasiloksaani	1	1		1	0,9		0,9	3	
Dekametyylisyklopentasiloksaani	3	3	0,7	4	3	3	1	7	6
TVOC (analyysitaulukosta)	10	20	10	10	30	20	30	50	40
Yhdisteet yhteenlaskettuna	16	24	6	19	33	31	45	71	69

I, II=normaalisivous, III= vesisivous, näytteenoton pvm 29.1-31.1.2018 (I), 12.3.-13.3.2018 (II) ja 10.4-11.4.2018 (III).

Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat kohteissa matalia (Taulukot 9-12) ja pitoisuuksien vaihtelu eri jaksojen välillä oli vähäistä. Ensimmäisellä tutkimusperiodilla TVOC-pitoisuuksissa ja näytteistä tunnistettujen yhdisteiden pitoisuuksissa oli huomattavissa pientä nousua kemikaalittoman siivouksen aikana (Taulukko 9). Yksittäisistä VOC-yhdisteistä pitoisuus 7 µg/m³ mitattiin dekametyylisyklopentasiloksaanille päiväkodissa ensimmäisen tutkimusperiodin vaiheen II aikana. Yhdistettä löytyy muun muassa siivoukkemikaaaleista ja kosmetiikkatuotteista. Kemikaalittoman siivouksjakson aikana yhdisteen voisi olettaa olevan peräisin kosmetiikkatuotteista.

Taulukko 10. Mitatut VOC-yhdisteet kouluista ja päiväkodista kerätyissä ilmanäytteissä eri siivousmenetelmien aikana toisella tutkimusperiodilla.

Kohde	Koulu 1 LK 1			Koulu 2 LK 1			Päiväkoti Tila 1		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Siivousmenetelmä									
Yhdiste	µg/m ³								
ALIFAATTISET HIILIVEDYT									
Butaani								4	
Tetradekaani									0,5
2-Metyylipentaani				1					
Metyylisykloheksaani				0,5					
Metyylisyklopentaani				0,9					
Sykloheksaani				3					
AROMAATTISET HIILIVEDYT									
Bentseeni	1	1		1	1		1	0,7	0,5
Ksyleenit (p,m)	0,8			0,6					
Tolueni	1	0,6	0,5	1	0,5		0,8	0,5	
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET									
Karvoni					0,9				
Limoneeni	1			0,9					
a-Pineeni							2	1	0,9
1,8-Kineoli					0,8				
YKSIARVOISET ALKOHOLIT									
Bentsyylialkoholi				0,6					
1-Butanoli							0,7	0,6	
2-Etyyli-1-heksanoli	0,5						1	0,8	0,9
2-Propanoli									0,9
C9-alkoholit	1	1	1						
Etanoli				2			3	4	
Mentoli				0,7	3				3
MONIARVOISET ALKOHOLIT									
1,2-Propanidioli eli propyleeniglykoli				2	2		3	8	3
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT									
1-Metoksi-2-propanoli							1		
2-(2-Etoksietoksi)etanoli								2	
2-Fenoksietanoli									0,8
ALDEHYDIT									
Bentsaldehydi		1	0,9		0,7	0,6		0,9	1
Dekanaali	0,7	0,7	2	0,6	2	2	1	1	3
Heksanaali				0,6	0,7	0,5	2	1	2
Heptanaali									0,7
Nonanaali		0,6	2	0,6	2	1	3	3	6
Oktanaali			0,6				0,5		0,9
Pentanaali									0,6
KETONIT									
Asetofenoni			0,5			0,5			0,7
Asetoni	4	2	3	4	7	3	8	5	9
HAPOT									
Etiikkahappo							23		15
Heksaanihappo, kapronihappo									2
Propaanihappo									0,6
TXIB							2	2	3
PIIYHDISTEET									
Dodekametyylisykloheksasiloksaani-	0,5			0,9			0,5	1	
Dekametyylisyklopentasiloksaani	1		0,5	3	2	0,5	3	3	1
TYPPIYHDISTEET									
Asetonitriili		5	6						
TVOC (analyysitulukosta)	10	10	10	20	20	10	20	20	30
Yhdisteet yhteenlaskettuna	12	12	17	24	23	8	56	39	56

II=normaalsiivous, III= vesisiivous. Näyteenoton pvm 3-5.12.2018 (I), 4-5.2.2019 (II) ja 25-27.3.2019 (III).

Taulukko 11. Mitatut VOC-yhdisteet yliopistolta kerätyissä ilmanäytteissä normaali- ja ultraH₂O-vesisiivouksen aikana.

Kohde Siivousmenetelmä	Yliopiston luentosali 1	
	Normaali- siivous	UltraH ₂ O
Yhdiste	µg/m ³	
AROMAATTISET HIILIVEDYT		
Ksyleenit (p,m)	0,7	
Tolueneeni	0,6	0,5
YKSIARVOISET ALKOHOLIT		
1-Butanoli	0,7	0,7
1-Pentanoli	0,8	
2-Etyyli-1-heksanoli		0,5
1,2-Propanidioli eli propyleeniglykoli	4	3
FENOLIT		
Fenoli		0,4
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT		
1-Metoksi-2-propanoli		0,4
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	6	
2-Fenoksietanoli	1	1
ALDEHYDIT		
Bentsaldehydi	0,7	3
Dekanaali	1	0,9
Heksanaali	1	
Nonanaali	2	1
Oktanaali		0,7
Pentanaali	0,7	
KETONIT		
Asetofenoni	0,5	
Asetoni	4	3
6-Metyyli-5-hepten-2-oni		0,4
HAPOT		
Butaanihappo eli voihihappo		0,6
Etikkahappo	36	23
Heksaanihappo, kapronihappo		2
Propaanihappo	4	2
PIIYHDISTEET		
Dodekametyylisykloheksasiloksaani	2	
Oktametyylisyklotetrasiloksaani	1	
Dekametyylisyklopentasiloksaani	3	1
TVOC (analyysitaulukosta)	30	30
Yhdisteet yhteensä	70	44

Näytteenoton pvm 17.9.2018 (normaali- ja 30.10.2018 (UltraH₂O-vesisiivous).

Taulukko 12. Mitatut VOC-yhdisteet yliopistolta kerätyissä ilmanäytteissä normaali- ja vesisiivouksen aikana (koemittaukset).

Kohde Siivousmenetelmä	Yliopiston LS	
	Normaali- siivous	Vesisiivous
Yhdiste	µg/m ³	
AROMAATTISET HIILIVEDYT		
Bentseeni	0,2	1
Ksyleenit (p,m)	0,8	0,8
Tolueneeni	0,4	1
YKSIARVOISET ALKOHOLIT		
Bentsyylialkoholi	2	
1-Butanoli	0,8	1,9
2-Etyyli-1-heksanoli	0,6	0,4
2-Propanoli	3	
MONIARVOISET ALKOHOLIT		
1,2-Propanidioli eli propyleeniglykoli	2	
FENOLIT		
Fenoli	0,5	
ALKOHOLI- JA FENOLIEETTERIT		
2-Butoksietanoli	0,7	
2-(2-Etoksietoksi)etanoli	21	1
2-Fenoksietanoli	0,4	
ALDEHYDIT		
Bentsaldehydi	1	0,5
Dekanaali	2	0,8
Nonanaali	2,5	1
Oktanaali	2	0,3
KETONIT		
Asetoni	5	2
6-Metyyli-5-hepten-2-oni	0,2	
HAPOT		
Etikkahappo	23	8
Heksaanihappo, kapronihappo	1,5	
Propaanihappo	1,5	
ESTERIT JA LAKTONIT		
n-Butyyliasetaatti	0,8	
1-Metoksi-2-propyyliiasetaatti	0,2	
PIIYHDISTEET		
Dodekametyylisykloheksasiloksaani		0,5
Oktametyylisyklotetrasiloksaani		0,5
Dekametyylisyklopentasiloksaani	1	2
TVOC (analyysitaulukosta)	30	15
Yhdisteet yhteensä	73	22

Näytteenoton pvm 17.11.2017 (normaali- ja 15.12.2017 (vesisiivous).

Toisella tutkimusperiodilla TVOC-pitoisuudet kaikissa kohteissa olivat samaa tasoa (10–30 µg/m³) molempien siivousmenetelmien aikana, mutta yksittäisten yhdisteiden yhteenlasketut pitoisuudet olivat koulussa 1 ja päiväkodissa 30 % alempia vesisiivousjaksolla kuin normaalsiivousjaksolla (Taulukko 10).

Yliopiston luentosalissa 2-(2-etoksietoksi)etanolin pitoisuus normaalsiivouksen aikana oli 6 µg/m³, mutta ultraH₂O-vesisiivouksen aikana yhdistettä ei havaittu. Yksi 2-(2-etoksietoksi)etanolin sisäilman lähteistä ovat siivousaineet, joissa sitä käytetään luottimena (European Chemicals Agency (ECHA)). Yksittäisten yhdisteiden yhteenlaskettu pitoisuus oli normaalsiivouksessa 37 % korkeampi kuin ultraH₂O-vesisiivouksen aikana (Taulukko 11).

Yliopiston luentosalien koemittauksissa TVOC-pitoisuudet olivat 2 kertaa suurempia ja yhteenlasketujen yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat 3,5 kertaa suurempia normaalsiivouksen aikana. Normaalsiivouksen aikana yliopiston koemittauksessa (2-(2-etoksietoksi)etanolin pitoisuus oli 21 µg/m³) (Taulukko 12), joten se ylitti annetun viitearvon 15 µg/m³ (Työterveyslaitos, 2019). Yliopiston koemittauksissa luentosalin TVOC- ja erillisten yhdisteiden pitoisuudet olivat alempia vesisiivouksen aikana kuin normaalsiivouksen aikana. Myös etikkahappo oli koholla molemmissa yliopiston mittauksissa normaalsiivouksen aikana samoin kuin toisen tutkimusperiodin aikana päiväkodissa.

2.5.2. Aldehydit ja ketonit

Mitattujen aldehydien ja ketonien yhteispitoisuudet olivat matalia (<21 µg/m³) (Taulukot 13-15). Asetonin pitoisuus oli korkeampi normaalsiivouksen kuin vesisiivouksen aikana useassa mittausjaksossa. Yksittäisistä karbonyyliyhdisteistä suurimmat pitoisuudet mitattiin asetonilla ja formaldehydillä, mutta nekin olivat annettujen toimenpide- ja viitearvojen alapuolella. Toisella tutkimusperiodilla aldehydien pitoisuudet olivat koulussa 1 ja päiväkodissa vesisiivousjaksoilla hieman alhaisempia kuin normaalsiivousjaksoissa, mutta koulussa 2 vesisiivouksen aikana pitoisuus oli suurempi kuin normaalsiivousjaksoilla (Taulukko 13).

Taulukko 13. Mitatut aldehydit ja ketonit kouluista ja päiväkodista kerätyissä ilmanäytteissä eri siivousmenetelmien aikana.

Ensimmäinen tutkimusperiodi

Kohde	Koulu 1 Lk 1			Koulu 2 Lk 1			Päiväkoti Tila 1		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Yhdiste	µg/m ³								
Asetaldehydi	<0,9	0,9	0,9	1,3	2,3	1,8	2,3	2,6	2,6
Asetoni	1,8	2,7	5	3,6	5	8,8	7,9	6	7,7
Bentsyyialdehydi	<0,9						<0,9		
Butyyrialdehydi							<0,9		
Formaldehydi	1,1	1,9	1,5	1,7	3	1,8	3,2	4,8	3,8
Heksanaali				<0,9			3,8		
Pentanaali							1,1		
Propionaldehydi				<0,9	<0,9		<0,9	<0,9	<0,9
2-Butanoni	<0,9		<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	1,6
Yhteensä	<3,8	<6,4	<8,3	<8,4	<13	<14	<16,2	<21	<20,1

I, III=normaalsiivous, II= vesisiivous, näytteenoton pvm 29.1- 31.1.2018 (I), 12.3- 13.3.2018 (II) ja 10.4- 11.4.2018 (III).

Toinen tutkimusperiodi

Kohde	Koulu 1 Lk 1			Koulu 2 Lk 1			Päiväkoti Tila 1		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Yhdiste	µg/m ³								
Asetaldehydi	1,3	<0,9	<0,9	1,3	1,2	1	2,1	1,2	1,3
Asetoni	2,9	1	<0,9	1,55	6,2	<0,9	4,5	3,9	5,2
Bentsyyialdehydi							0,45		
Butyyrialdehydi							3,35		
Formaldehydi	2,3	1,1	1,7	2,1	1,7	1,3	2,4	2,5	2,4
Heksanaali				0,95	<0,9	<0,9	2,4	1,3	1,6
Pentanaali							0,98		
Propionaldehydi	<0,9			<0,9			<0,9		
2-Butanoni							<0,9		
Yhteensä	<7,4	<3,0	<3,5	<6,8	<10,0	<4,1	<14,7	8,9	10,5

I, III=Normaalsiivous, II= Vesisiivous. Näytteenoton pvm 3-5.12.2018 (I) ja 25-27.3.2019 (III), 4-5.2.2019 (II).

Formaldehydinin pitoisuus oli suurimmillaan 7,2 µg/m³ normaalsiivouksen aikana yliopiston luentosalissa suoritetuissa tutkimuksissa ja se aleni ultraH₂O-vesisiivouksen aikana (3,5 µg/m³) (Taulukko 14). Asumisterveysasetuksen (545/2015) mukaan formaldehydin vuosikeskiarvo ei saa ylittää 50 µg/m³ ja

lyhyen ajan keskiarvopitoisuus (30 min) ei saa ylittää 100 µg/m³. TLL:n asettama viitearvo toimistoille on 15 µg/m³ (Salonen, 2015).

Taulukko 14. Mitatut aldehydit ja ketonit normaalisivouksen ja ultraH₂O-vesisivouksen aikana.

Kohde Siivousmenetelmä	Yliopisto LS1	
	Normaali siivous	Ultra H ₂ O- vesisivous
Yhdiste	µg/m ³	
Asetaldehydi	1,8	1,5
Asetoni	3,7	3,2
Bentsyylialdehydi		
Butyryaldehydi		
Formaldehydi	7,2	3,5
Heksanaali	1,6	1
Pentanaali		
Propionaldehydi		<0,9
2-Butanoni		
Yhteensä	14,3	<10,1

Näytteenoton pvm 17.9.2018 (normaalisivous) 30.10.2018 (ultraH₂O-vesisivous).

Taulukko 15. Mitatut aldehydit ja ketonit yliopistosta kerättyissä ilmanäytteissä eri siivousmenetelmien aikana.

Kohde Siivousmenetelmä	Koemittaukset yliopistolla LS1	
	I	II
Yhdiste	µg/m ³	
Asetaldehydi	0,9	<0,9
Asetoni	4,2	1,5
Bentsyylialdehydi	<0,9	
Formaldehydi	0,95	1,35
Heksanaali		<0,88
Propionaldehydi		<0,88
Yhteensä	<6,95	<4,14

I=normaalisivous, II=vesisivous, näytteenoton pvm 17.11.2017 (I) ja 15.12.2017 (II).

Yhteenvetona ilmanäytteiden VOC-, aldehydi- ja ketonipitoisuuksista voidaan mainita, että toisella tutkimusperiodilla yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat suurempia koulussa 1 ja päiväkodin normaalisivousjaksoissa, mikä voisi viitata siivouskemikaaleihin. Toisaalta ensimmäisellä tutkimusperiodilla kouluissa ja päiväkodissa oli korkeammat TVOC- ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet vesisivousjaksoilla, joten tältä osin tulokset olivat hieman ristiriitaisia.

Normaalisivouksen ja ultraH₂O-vesisivouksen aikana TVOC-pitoisuudet olivat yhtä suuria ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet ultraH₂O-vesisivouksen aikana noin 30 % alempia. Yliopiston koemittauksissa TVOC- ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat suurempia (70 %) normaalisivousjaksossa johtuen etikkahapon (65 % korkeampi) ja 2-(2-etoksietoksi)etanolin (95 % korkeampi) pitoisuuksista normaalisivouksen aikana.

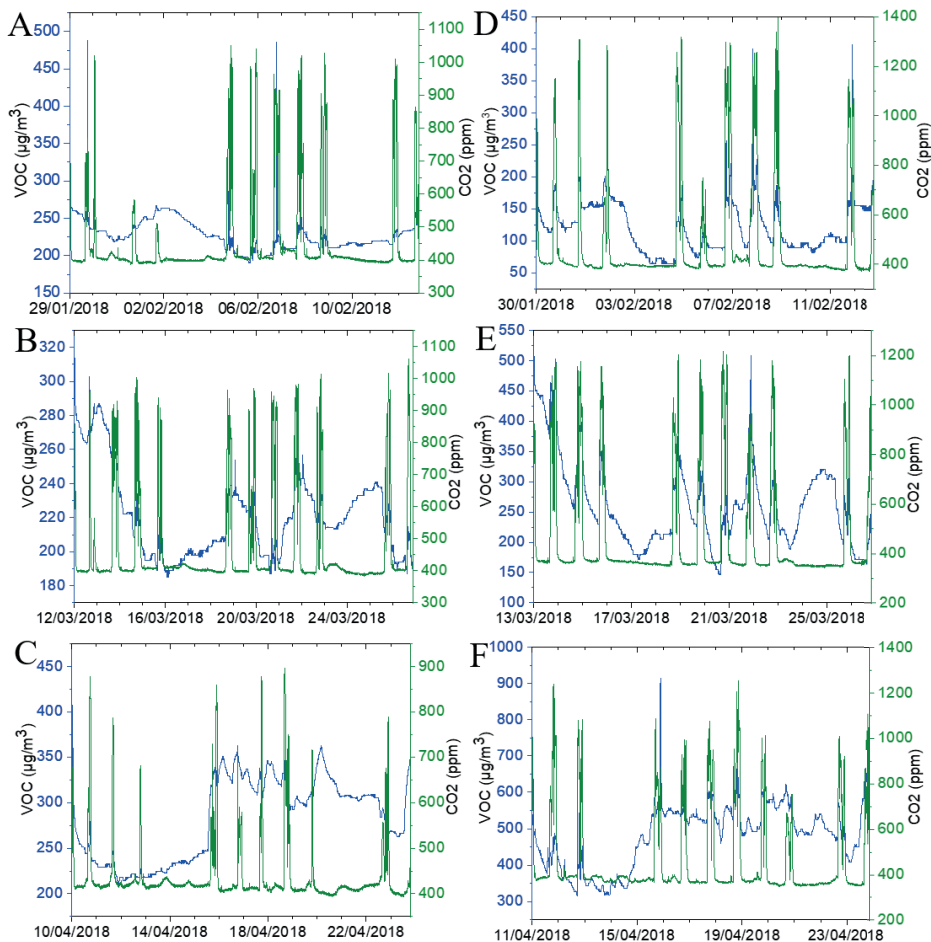
VOC-yhdisteiden sekä aldehydien ja ketonien määrät olivat tutkimuksen kaikissa vaiheissa päiväkodissa hieman korkeampia kuin kouluissa. Tämä voisi selittyä sillä, että päiväkodin ryhmätalassa säilytettiin muun muassa erilaisia askartelutarvikkeita (kuten maaleja ja liimoja) ja oppilaiden askartelutöitä oli paljon tilassa esillä. Aldehydien ja ketonien suurimmat pitoisuudet olivat asetonilla ja formaldehydillä. Asetonin pitoisuus oli hieman korkeampi normaalisivousjaksoissa kuin vesisivousjaksoissa.

2.5.3. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden jatkuvatoimiset mittaukset

Jatkuvatoimisten mittausten hiilidioksidiseurannalla pystyttiin arvioimaan henkilöiden määrää tiloissa. Tilojen käytön aikana biopäästöt, kuten karbonyylit, alkyylialkoholit, aromaattiset alkoholit, ammoniakki ja merkapaanit sekä päästöt, jotka johtuvat esim. kosmetiikan käytöstä, erottuvat VOC-mittausten tuloksissa. Hiilidioksidipitoisuuksien perusteella ensimmäisen tutkimusperiodin aikana molemmissa kouluissa oli jaksoiden aikana yhtä paljon henkilöitä poikkeuksena koulun 1 jakso III (Kuva 7 C), jolloin henkilöiden määrä oli alhaisempi. Toisen tutkimusperiodin aikana henkilöiden määrä oli alhaisempi molemmissa kouluissa III jaksossa kuin muissa jaksoissa (Kuva 8 C ja F).

Ensimmäisessä tutkimusperiodissa koulussa 1 VOC-pitoisuuksien tasot I ja II jaksoissa olivat 222-227 µg/m³ (Taulukko 16), ja VOC-pitoisuudet kouluissa seurasivat hiilidioksidin pitoisuutta (Kuva 7 A ja B). Koulussa 1 jaksossa III (Kuva 7 C) vastaavaa ei voinut todeta johtuen taustan tasaisesta suuresta pitoisuudesta. Pitoisuudet alkoivat nousta ensimmäisen viikon (16.4) jälkeen tasosta 200 µg/m³ tasoon 350 µg/m³ ja pysyivät 22.4. asti korkeina. Jaksoilla II ja III VOC-pitoisuuksissa oli nousua myös oppituntien jälkeen, mikä voisi johtua siivouksesta.

Koulussa 2 jaksossa I ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli matalammat VOC-tasot kuin jaksoissa II ($260 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja III ($480 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Suurin yksittäinen VOC-pitoisuus (noin $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$) havaittiin jaksolla III oppituntien aikana (Kuva 7 F). Oppituntien välillä oli pientä VOC-tason nousua jaksoissa II ja III, mikä indikoi siivoustapahtumaa, mutta VOC-tason nousut olivat kuitenkin pienempiä kuin oppituntien aikana. Koulussa 2 havaittiin 16.4. (Kuva 7 F) samanlainen VOC-tason nousu ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin koulun 1 tapauksessa ja VOC-pitoisuudet olivat korkeita myös aikavälillä 16.4-22.4. Koska VOC-pitoisuuksien nousut olivat saman suuruisia molemmissa kouluissa ja tapahtuivat samaan aikaan, niin ne saattoivat liittyä ulkoilman epäpuhtauksiin koulujen alueella, jotka sijaittivat 28 km päässä toisistaan (Kuva 1). VOC-tason nousua viikonlopun aikana havaittiin koulussa 1 jaksoissa II ja III (Kuva 7 A ja B) ja koulussa 2 jaksossa II (Kuva 7 E), mikä voisi viitata ilmanvaihdon vähentämiseen viikonlopun aikana.

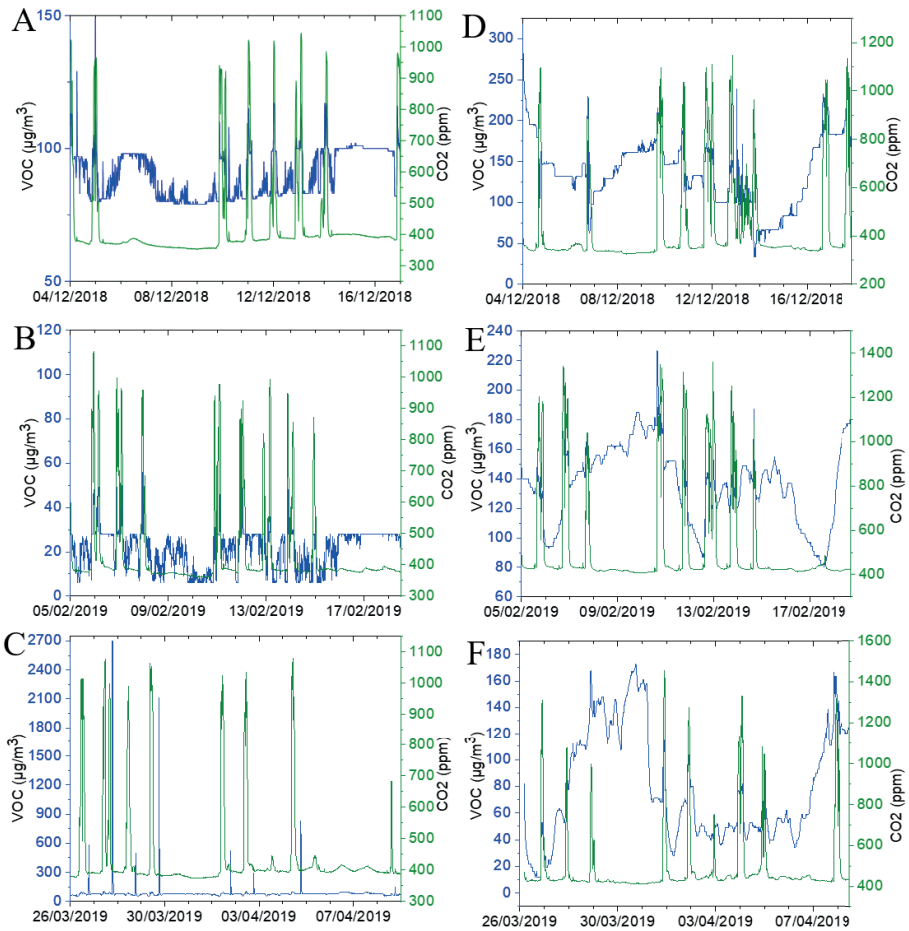


Kuva 7. Jatkuvat oimiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja hiilidioksidin (CO₂) mittaukset (GrayWolf Sensing Solutions, IQ 610 -anturi) kouluissa ensimmäisen tutkimusperiodin aikana. A. Koulu 1, normaaliolosuhteet, B. Koulu 1, vesivoiminen, C. Koulu 1 normaaliolosuhteet, D. Koulu 2, normaaliolosuhteet, E. Koulu 2, vesivoiminen, F. Koulu 2 normaaliolosuhteet.

Ensimmäisessä tutkimusperiodissa päiväkodissa keskimääräiset VOC-pitoisuudet olivat alempia $\leq 193 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kuin toisessa tutkimusperiodissa $\leq 358 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Taulukko 16). Ensimmäisessä tutkimusperiodissa normaaliolosuhteiden jaksossa VOC-pitoisuudet seurassivat tarkasti hiilidioksidipitoisuuksia eikä mahdollisesti siivousaineista peräisin olevia VOC-pitoisuuksia havaittu (Kuva 9). Vesivoimisen aikana tilanne oli sama, mutta yksittäisiä VOC-tason nousuja havaittiin myös hiilidioksidipitoisuuksista riippumatta. Pitoisuuksien tasainen lasku päiväkodissa havaittiin toisen tutkimusperiodin vesivoimisen jaksossa $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$:sta $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$:aan ja vastaava nousu sitä seuranneessa normaaliolosuhteiden jaksossa $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$:sta $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$:aan (Kuva 9 C ja D). Tasainen pitkäaikainen VOC-yhdisteiden nousu tai lasku voisi aiheutua esim. ilmanvaihdon muutoksista. Kyseessä voi olla myös vesivoimisen jaksossa tapahtunut vaihteellinen ”puhdistuminen” siivousaineista, joka palasi takaisin alkuperäiseen tasoon normaaliolosuhteiden aikana.

Taulukko 16. Jatkuvatoinisesti mitatut TVOC-pitoisuudet, lämpötila ja suhteellinen kosteus eri siivousmenetelmien aikana.

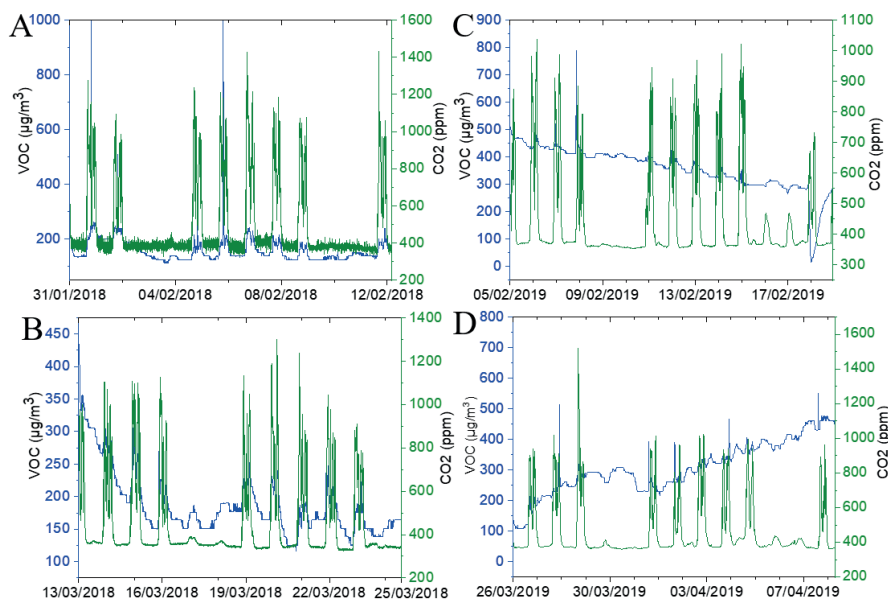
Kohde	Siivousmenetelmä	TVOC keskiarvo)	Lämpötila (keskiarvo)	Suhteellinen kosteus (RH) (keskiarvo)
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$^{\circ}\text{C}$	%
Tutkimusperiodi 1				
Koulu 1	I	227	22	26,0
	II	222	24,1	12,2
	III	282	24,6	19,0
Koulu 2	I	120	23,0	19,0
	II	263	23,0	12,6
	III	482	24,1	19,7
Päiväkoti	I	159	19,0	28,0
	II	188	22,1	14,7
	III	193	22,6	20
Tutkimusperiodi 2				
Koulu 1	I	91	22,0	30,0
	II	22	22,0	26,0
	III	84	23,0	25,0
Koulu 2	I	138	23,0	20,0
	II	137	22,7	21,0
	III	82	24,1	12,0
Päiväkoti	I	-	-	-
	II	358	24,8	16,2
	III	314	25,6	14,4
Yliopisto, LS 1	I	297	20	41,0
Yliopisto, LS 2	I	125	22	46
Yliopisto, LS 1	UltraH ₂ O-vesisiivous	117	24,9	26,5
Yliopisto, LS 2	UltraH ₂ O-vesisiivous	71	22	40



Kuva 8. Jatkuvatoiniset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja hiilidioksidin (CO₂) mittaukset (GrayWolf Sensing Solutions, IQ 610 -anturi) kouluissa toisen tutkimusperiodin aikana. A. Koulu 1, normaali siivous, B. Koulu 1, vesisiivous, C. Koulu 1 normaali siivous, D. Koulu 2, normaali siivous, E. Koulu 2, vesisiivous, F. Koulu 2 normaali siivous.

Toisen tutkimusperiodin aikana kouluissa mitatut keskimääräiset jatkuvatoimiset VOC-pitoisuudet olivat alempia (22-138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin ensimmäisessä tutkimusperiodissa (120-482 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Taulukko 16). Toisessa tutkimusperiodissa koulun 1 vesisiivousjaksossa oli huomattavasti alemmat keskimääräiset VOC-pitoisuudet (22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin normaalsiivousjaksoissa I (91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja III (84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Taulukko 16).

Koulun 1 toisen tutkimusperiodin aikana normaalsiivousjaksolla mitattiin seitsemän kertaa pieni hiilidioksidin nousu klo 18 ja 19 välillä, sekä samanaikainen VOC-pitoisuuksien nousu 200-2700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kuva 8 C). Ne voisivat viitata siivoamistapahtumaan, koska koulussa oli käytäntönä iltasiivous. Vaikka VOC-piikit olivat korkeita, niiden vaikutus oli lyhytaikainen ja VOC-pitoisuus aleni nopeasti perustasolle. Koulussa 2 kaikissa mittausjaksoissa näkyi nousua VOC-pitoisuuksissa viikonloppujen aikana (Kuva 8 D, E ja F).

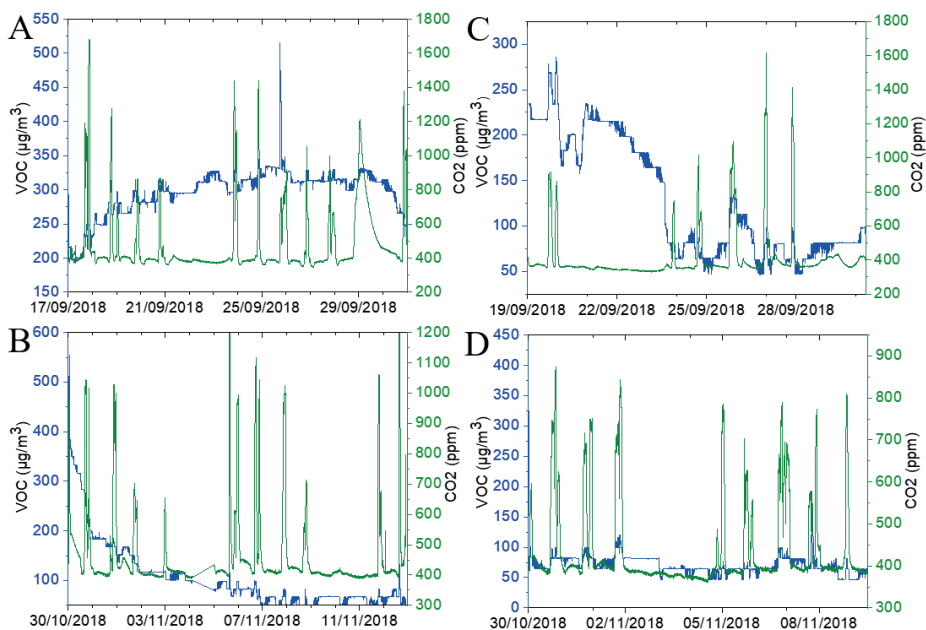


Kuva 9. Jatkuvatoimiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja hiilidioksidin (CO_2) mittaukset (GrayWolf Sensing Solutions, IQ 610 -anturi) päiväkodissa ensimmäisen ja toisen tutkimusperiodin aikana. Ensimmäinen tutkimusperiodi: A. Normaalsiivous ja B. Vesisiivous. Toinen tutkimusperiodi: C. Vesisiivous ja D. Normaalsiivous.

Yliopiston luentosaleissa 1 ja 2 keskimääräiset VOC-arvot olivat alempia ultra H_2O -vesisiivouksen aikana (117 ja 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin normaalsiivouksessa (297 ja 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Taulukko 16 ja Kuva 10). Luentosalissa 1 (Kuva 10 A) ero oli lähes kolminkertainen verrattuna kemikaalittomaan ultra H_2O -vesisiivoukseen (Kuva 10 B). VOC-käyrän muoto ja pitkäaikainen kesto luentosalissa 1 normaalsiivouksen aikana näyttää viittaavan lähinnä ilmastoinnin toimimattomuuteen, kuten luentosalissa 2 (Kuva 10 C) viikonloppun aikana 21-22.9.2018.

Jatkuvatoimisesti mitatut VOC-pitoisuudet olivat selvästi ilmanäytteiden tuloksia (TVOC) korkeampia, mutta tuloksissa ei ollut huomattavaa johdonmukaisuutta mittausjaksojen välillä. Ainoastaan yhdessä (koulu 1, toinen tutkimusperiodi) mittausjaksossa vesisiivouksen aikana keskimääräinen VOC-pitoisuus oli huomattavasti alempi kuin mittausjakson normaalsiivouksien aikana.

Rikkivedyn, arsiinin, ammoniakkin, otsonin ja formaldehydin pitoisuudet olivat matalia tai havainnointirajan alapuolella kaikissa niissä mittausjaksoissa, joissa näitä yhdisteitä mitattiin.



Kuva 10. Jatkuvatoimiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja hiilidioksidin (CO₂) mittaukset (GrayWolf Sensing Solutions, IQ 610 -anturi) yliopiston luentosaleissa 1 ja 2. A Luentosali 1, normaali siivous B. Luentosali 1, UltraH₂O-vesisiivous C. Luentosali 1, normaali siivous D. Luentosali 1, UltraH₂O-vesisiivous.

2.5.4. Partikkelien jatkuvatoimiset mittaukset

Suurimmat keskimääräiset partikkelimäärät ensimmäisessä tutkimusperiodissa mitattiin päiväkodissa: keskimäärin 10 µg/m³ vesisiivousjakson aikana ja 15 µg/m³ normaali siivousjakson aikana. Ensimmäisessä tutkimusperiodissa mitatut partikkelien pitoisuudet vesisiivousjaksoissa ja normaali siivousjaksoissa nousivat oppituntien aikana ja keskimääräiset partikkelipitoisuudet olivat 5 µg/m³. Yliopiston luentosalissa normaali siivouksen aikana partikkelien keskimääräinen pitoisuus oli 4 µg/m³ ja 1 µg/m³ ultraH₂O-vesisiivouksen aikana. Toisen tutkimusperiodin aikana koulussa 1 partikkelien keskimääräinen pitoisuus oli 6 µg/m³ siivousjakson aikana ja 4 µg/m³ vesisiivouksen aikana, ja koulussa 2 vastaavasti 6 µg/m³ ja 3 µg/m³. Partikkelien pitoisuudet olivat alhaisia tutkimusperiodeissa, eivätkä heijastaneet eroja normaali siivouksen ja vesisiivouksen välillä.

2.6. Pintahygienia

PRO-Clean™-pintahygieniatestin tulosten mukaan koulussa 1 pinnat olivat puhtaita valkuaisainemäärästä molemmilla siivousmenetelmillä. Koulussa 2 oli valkuaisainemääriä neljässä luokassa vesisiivouksen aikana ja yhdessä luokassa normaali siivouksen aikana. Päiväkodissa yhdessä tilassa oli valkuaisainemääriä normaali siivouksen aikana. Vesisiivouksen aikana oli havaittavissa yhdessä koulussa valkuaisainemääriä osalla pinnoista.

2.7. Toksikologiset analyysit

2.7.1. Sisäilman kosteudesta tiivistetyn veden toksisuus

Sisäilman vesi kerättiin kolmesta luokkahuoneesta molemmista kouluista, kolmesta päiväkodin tilasta, yliopiston kolmesta luentosalista sekä ulkoilmasta käyttäen hiilidioksidijäällä jäähdytettyä teräksistä e-keräintä. Ensimmäisen tutkimusperiodin aikana ulkoilmänäytteet kerättiin koulussa 1 (Taulukko 17) ja toisessa tutkimusperiodissa (Taulukko 18) ne kerättiin kaikista kohteista. Ensimmäisen tutkimusperiodin toisella normaalihiivijaksolla kaikissa kohteissa mitattiin alhaisimmat sytotoksisuudet verrattuna muihin siivousjaksoihin (Taulukko 17).

Koulussa 1 mitattiin myös ulkoilmasta kerätyn veden sytotoksisuutta kaikissa kolmessa siivousjaksossa. Ulkoilmasta kerättyjen näytteiden sytotoksisuudet olivat samaa luokkaa kuin sisäilmasta kerättyjen näytteiden kaikissa siivousjaksoissa, joten ulkoilman toksisuus saattaa osaltaan selittää sisäilman toksisuuden koulussa 1.

Taulukko 17. Ensimmäisessä tutkimusperiodissa eri siivousmenetelmien aikana päiväkodin ja koulujen sisä- ja ulkoilmasta kerätyn veden toksisuus THP-1-soluille. Toksisuus (%) edustaa solujen elinkyvyn heikkenemistä verrattuna kontrolliin.

	Toksisuus (%) ± SD (P-arvo)		
	Normaalihiivijaksot	Vesisiivous	Normaalihiivijaksot
Päiväkoti	31.1.2018	13.03.2018	11.04.2018
Lepotila 1	10.30 ± 2.40 (P=0.113) 7.20 ± 8.30 (P=0.050)	4.40 ± 1.70 (P=0.034) 7.70 ± 2.30 (P=0.004)	1.00 ± 1.10 (P=0.283) 0.60 ± 2.20 (P=0.588)
Lepotila 2	8.30 ± 6.30 (P=0.016) 5.00 ± 9.20 (P=0.185)	7.00 ± 4.10 (P=0.022) 12.80 ± 1.60 (P<0.001)	-2.55 ± 1.70 (P=0.020)* -2.30 ± 0.90 (P=0.020)*
Lepotila 3	8.70 ± 1.40 (P=0.003) 11.80 ± 4.25 (P<0.001)	8.30 ± 3.50 (P=0.003) 8.90 ± 1.50 (P<0.001)	1.10 ± 1.70 (P=0.278) 0.30 ± 2.10 (P=0.789)
Lepotila 4	9.40 ± 4.20 (P=0.004) 12.70 ± 3.80 (P<0.001)	2.50 ± 2.40 (P=0.285) 2.30 ± 3.20 (P=0.343)	4.10 ± 1.60 (P<0.001) 0.70 ± 1.00 (P=0.434)
Koulu 1	29.1.2018	12.03.2018	11.04.2018
Luokka 1	7.00 ± 2.90 (P=0.010) 3.40 ± 3.90 (P=0.194)	9.30 ± 4.00 (P<0.001) 10.30 ± 1.80 (P<0.001)	2.70 ± 1.30 (P=0.053) 4.50 ± 1.80 (P<0.001)
Luokka 2	6.20 ± 5.30 (P=0.036) 7.10 ± 3.50 (P=0.011)	7.50 ± 4.80 (P=0.006) 9.80 ± 3.10 (P<0.001)	2.30 ± 1.20 (P=0.042) 3.70 ± 1.90 (P=0.004)
Luokka 3	4.80 ± 6.80 (P=0.124) 11.80 ± 5.60 (P<0.001)	7.90 ± 1.90 (P=0.001) 6.70 ± 3.30 (P=0.007)	2.40 ± 1.30 (P=0.033) 6.40 ± 2.00 (P<0.001)
Ulkoilma	7.30 ± 3.30 (P=0.009) 10.50 ± 6.00 (P=0.002)	8.60 ± 2.90 (P<0.001) 9.20 ± 1.80 (P<0.001)	4.30 ± 1.00 (P<0.001) 5.10 ± 1.60 (P<0.001)
Koulu 2	30.1.2018	13.03.2018	10.04.2018
Luokka 1	10.30 ± 1.80 (P<0.001) 13.70 ± 4.20 (P<0.001)	8.00 ± 2.90 (P=0.007) 9.80 ± 2.20 (P=0.002)	3.60 ± 2.30 (P=0.019) 3.80 ± 1.00 (P=0.008)
Luokka 2	7.80 ± 3.10 (P=0.005) 10.80 ± 5.50 (P<0.001)	2.50 ± 3.60 (P=0.374) 5.30 ± 1.10 (P=0.101)	0.90 ± 1.60 (P=0.514) 0.60 ± 1.60 (P=0.673)
Luokka 3	9.40 ± 3.40 (P=0.001) 10.00 ± 3.10 (P<0.001)	7.20 ± 3.30 (P=0.015) 7.90 ± 3.70 (P=0.009)	4.10 ± 1.10 (P=0.005) 4.30 ± 1.60 (P=0.004)
Luokka 4	4.70 ± 2.50 (P=0.029) 5.90 ± 2.70 (P=0.022)	7.00 ± 2.90 (P=0.014) 2.50 ± 6.20 (P=0.426)	0.30 ± 2.30 (P=0.808) 0.40 ± 3.20 (P=0.811)

Taulukko 18. Toisessa tutkimusperiodissa eri siivousmenetelmien aikana päiväkodin ja koulujen sisä- ja ulkoilmasta kerätyn veden toksisuus THP-1-soluille. Toksisuus (%) edustaa solujen elinkyvyn heikkenemistä verrattuna kontrolliin.

	Toksisuus (%) ± SD (P-arvo)		
	Normaalihiivijaksot	Vesisiivous	Normaalihiivijaksot
Päiväkoti	03.12.2018	19.02.2019 2	25.03.2019
Lepotila 1	5.80 ± 4.10 (P=0.016)	5.10 ± 1.80 (P<0.001)	3.30 ± 1.60 (P=0.025)
Lepotila 3		3.70 ± 2.90 (P=0.002)	2.80 ± 2.40 (P=0.200)
Lepotila 4	1.80 ± 3.40 (P=0.402)	2.10 ± 2.80 (P=0.147)	3.80 ± 2.90 (P=0.038)
Leikkihuone	5.90 ± 4.30 (P=0.017)		
Ulkoilma	-1.30 ± 2.00 (P=0.606)	5.80 ± 3.30 (P<0.001)	3.40 ± 2.70 (P=0.116)
Koulu 1	03.12.2018	19.02.2019	25.03.2019
Luokka 1	2.50 ± 2.20 (P=0.092)	1.50 ± 3.30 (P=0.158)	6.20 ± 4.70 (P=0.174)
Luokka 2	3.70 ± 1.90 (P=0.017)	-0.51 ± 2.60 (P=0.575)	3.60 ± 3.50 (P=0.054)
Luokka 3		3.40 ± 1.50 (P<0.001)	6.20 ± 2.90 (P=0.002)
Luokka 4	0.20 ± 2.20 (P=0.877)		
Ulkoilma	1.10 ± 3.40 (P=0.505)	4.20 ± 2.20 (P<0.001)	6.20 ± 4.70 (P=0.006)
Koulu 2	03.12.2018	19.02.2019	25.03.2019
Luokka 2	2.50 ± 2.50 (P=0.374)	2.40 ± 1.70 (P=0.017)	2.60 ± 4.70 (P=0.200)
Luokka 3	1.00 ± 2.60 (P=0.497)	3.80 ± 2.80 (P=)	4.70 ± 3.50 (P=0.018)
Luokka 4		0.60 ± 5.60 (P=0.815)	12.40 ± 2.20 (P<0.001))
Luokka 5	5.40 ± 2.20 (P=0.022)		
Ulkoilma	3.70 ± 3.90 (P=0.102)	4.50 ± 2.40 (P=0.002)	2.60 ± 1.60 (P=0.116)

Toisen tutkimusperiodin aikana sisäilman toksisuuden taso oli alhaisempi ensimmäiseen tutkimusperiodiin verrattuna. Kouluissa sisäilmasta kerätyn veden sytotoksisuus toisen tutkimusperiodin aikana oli toisen normaalihiivousjakson aikana hieman koholla ja päiväkodissa sytotoksisuus väheni.

Taulukko 19. Eri siivousmenetelmien aikana yliopiston luentosalien sisä- ja ulkoilmasta kerätyn veden toksisuus THP-1-soluille. Toksisuus (%) edustaa solujen elinkyvyn heikkenemistä verrattuna kontrolliin.

Kohde	Toksisuus (%) ± SD (P-arvo)		
	Normaalihiivous 17.09.2018	UltraH ₂ O-vesihiivous 30.10.2018 (1)	UltraH ₂ O-vesihiivous 30.10.2018 (2)
LS1	0.50±7.90 (P=0.872)	5.60 ±1.60 (P=0.009)	11.60 ±1.00 (P<0.001)
LS2	3.50±5.70 (P=0.247)	6.80 ±1.50 (P=0,013)	9.95 ±1.21 (P=0.001)
LS3	0.80±4.60 (P=0.790)	10.40 ±1.90 (P<0.001)	6.40 ±1.31 (P=0.003)
Ulkoilma	2.30±4.30 (P=0.420)	4.10 ±1.47 (P=0.042)	5.60 ±0.95 (P=0.004)

Toisessa tutkimusperiodissa (Taulukko 18) mitattiin kaikista kohteista eri siivousmenetelmien aikana myös ulkoilman sytotoksisuus. Havaittiin, että neljässä hiivousjaksossa yhdeksästä myös ulkoilma oli toksinen. Tällöin ulkoilman toksisuus saattaa osin selittää sisäilman toksisuuden. Ulkoilma ei kuitenkaan ollut toksinen viidessä hiivousjaksossa, eikä näin ollen selitä kaikkea sisäilmasta mitattua toksisuutta: Esim. koulussa 2 toisen normaalihiivouksen aikana luokassa 4 mitattiin noin 12 %:n solukuolema, vaikka ulkoilmassa ei mitattu toksisuutta. Kouluissa sisäilman veden sytotoksisuudessa tapahtui pieni kasvu siirryttäessä kemikaalittomasta tavalliseen siivoukseen. Kemikaalittoman siivouksen aikana vain yhden luokan tiivistetty vesinäyte kolmesta oli lievästi sytotoksinen ja ulkoilmasta tiivistettyjen vesinäytteiden toksisuudet olivat suurempia kuin sisäilman. Palattaessa tavalliseen siivoukseen kahden luokan tiivistetty vesinäyte kolmesta oli sytotoksista ja koulun 1 ulkoilmasta tiivistetty vesinäyte oli toksisempaa kuin sisäilman. Sisäilman suhteellisessa kosteudessa ei tapahtunut muutosta eri siivousjaksojen aikana.

Yliopiston rakennuksessa suoritettua luentosalien mittauksissa havaittiin selkeä ero normaalihiivouksen ja ultraH₂O-vesihiivouksen välillä kerätyn sisäilman veden sytotoksisuudessa. Sytotoksisuuden vaihteluvälit olivat 0,5-4 % välillä normaalihiivouksen aikana (ulkoilmassa 2 %) ja ultraH₂O-vesihiivouksen aikana 4-12% välillä (ulkoilmassa 4-6 %) (Taulukko 19). Kemikaalittoman ultraH₂O -vesihiivouksen aikana todettu toksisuus ei ollut olettavasti siivousaineista johtuvaa.

Koulujen ja päiväkodin sisäilmasta kerätyn veden sytotoksisuus mitattuna makrofagisolujen avulla oli useasti samalla tasolla normaali- ja vesihiivouksen aikana. Sisäilmasta kerätyn veden sytotoksisuuden selkeää riippuvaisuutta normaali- ja vesihiivouksen kesken ei havaittu.

2.7.2. Pinta-aktiivisten siivousaineiden toksisuus

Siivousaineissa esiintyvien detergenttien (Taulukko 3) toksisuutta tutkittiin käyttämällä sian munuaisen epiteelisoluja ja sian siittiöitä toksisuustesteissä (Andersson ym. 2019). Vertailuaineena oli säilöntäaineena käytetty antibakteerinen triklosaani(5-kloori-2-(2,4-kikloorifenoksi)fenoli). Didekyylimetyyliammoniumkloridi (EC₅₀ 0.5 µg/ml) oli 16 kertaa toksisempaa sian munuaisen epiteelisoluille kuin triklosaani (EC₅₀ 8 µg/ml).

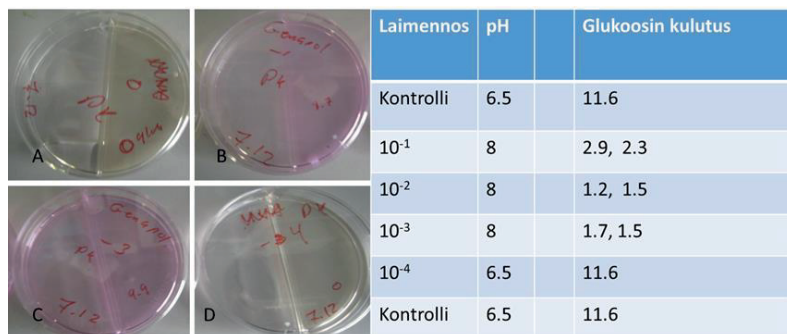
Genapol X-080, Triton X-100 ja didekyylimetyyliammoniumkloridi olivat yhtä toksisia sian siittiöliikkuvuustestissä kuin triklosaani (2 µg/ml). USA:n elintarvike- ja lääkevirasto (FDA) kielsi triklosaaniin käytön vuonna 2016 kotitalouden saippuatuotteissa ja sen käyttö elintarvikkeissa kiellettiin Euroopan unionissa vuonna 2010. Neljän toksisuustestin EC₅₀ keskiarvojen perusteella asetimme aineet seuraavaan toksisuusjärjestykseen Triklosaani>DDAC> Triton-X-100> Genapol X-080> SDS > Tween 80 (Andersson ym. 2019).

2.7.3. Genapol X-080:n ilmävälitteinen toksisuus

Kemikaalien puhdistuksessa käytettävien pinta-aktiivisten aineiden, kuten Genapol X-080 (polyetyleeniglykolimonoalkyylieetteri), esiintymisestä sisäympäristössä tarvitaan lisää tietoa, jotta pystytään kehittämään turvallisia puhdistuskäytäntöjä ja turvaamaan terveellinen sisäilma. Käyttämällä hiiren neuroblastoomasoluja (MNA), sian munuaisepiteelisoluja (PK-15), karjun siittiösoluja ja resatsuriinia sekä kaksiosaisia Petriمالjoja kehitettiin biotesti, jolla pystyttiin toksisuusvasteen avulla mittaamaan Genapol X-080:n liikkuvuutta ilmassa. Petriمالjat soluineen, mittaustuloksia ja esimerkkejä altistetuista sian siittiöistä ja havaituista toksisuusvasteista näkyy Kuvissa 12 ja 13. Kehittämämme toksisuuteen, veden pintajännitteen alenemiseen ja resatsuriinin fluoresenssin mittaamiseen perustuvaa

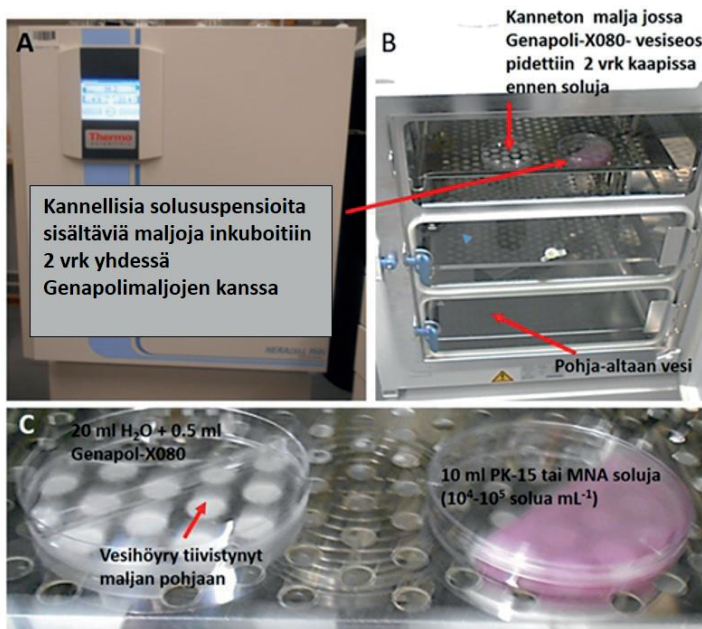
detektiomenetelmää selostetaan tarkemmin julkaisussa Castagnoli ym. (2018). Tämän menetelmän avulla pystyttiin osoittamaan, että Genapol X-080 vapautuu sisäilmaan ja sen toksisuus ja veden pinta-aktiivisuutta alentava vaikutus siirtyy ilman välityksellä ja mahdollisesti altistaa tilan käyttäjiä haittavaikutuksille.

Tulosten perusteella on mahdollista kehittää uusi ja helppokäyttöinen tapa seurata sisätiloissa käytettyjen pinta-aktiivisten aineiden leviämistä ja rikastumista rakennusten sisäilmaan. Menetelmän avulla voidaan verrata eri detergenttien taipumusta rikastuttaa sisäilmaan toksisuutta ja detergenttien vaikutusta epäpuhtauksien kulkeutumiseen ja kerääntymiseen sisäilmaan.



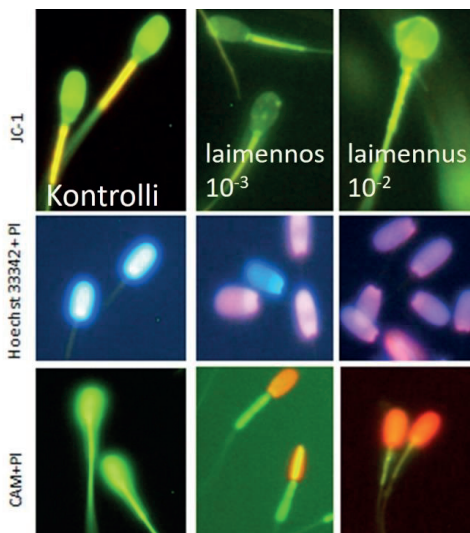
Kuva 12. Kaksiosaiset Petrimaljat Genapol X-080 ilmanvälitteisen toksisuuden mittaamisessa. Maljojen vasen puolikas sisälsi vettä 1.5 ml ja Genapol X-080 (laimennoksina 1/10-1/10000), oikea puolikas 8 ml solususpensiota. Panelissa A kontrolli (pelkkä vesi), Panelissa B Genapol X-080 laimennos 1/10, Panelissa C Genapol X-080 laimennos 1/1000, Panelissa D Genapol X-080 laimennos 1/10000.

Genapol X-080:n toksisuuden välittyminen ilman kautta varmistettiin vielä seuraavan kokeellisen tutkimuksen avulla: Soluviljelykaappiin (37 °C, O₂ = 21%, CO₂ = 5 % N₂ = 76 %) asennettiin 6 petrimaljaa ilman kantta, joissa oli 20 ml vettä ja jokaisessa 0.5 ml Genapol X-080 (100%). Petrimaljat olivat kaapissa 2 vrk, jonka jälkeen kaappiin pantiin kasvamaan 2 maljaa, joissa oli PK-15 soluja ja 4 maljaa, joissa oli MNA soluja. Kokeen periaate selviää kuvasta 13.



Kuva 13. Kuva kokeellisen tutkimuksen periaatteesta, jossa osoitettiin genapolin-X080 tappavan soluja ilmävälitteisen altistuksen seurauksena. Paneelissa A näkyy soluinkubaattorikaappi ovi suljettuna, Paneelissa B näkyy Petrimaljat inkubaattorin hyllyllä genapolimaljat olit kaapissa 4 vrk, solumaljat 2 vrk. Paneelissa C näkyy genapolimalja ilman kantta ja kannellinen solususpensiomalja.

Kahden vuorokauden jälkeen solumaljoilta mitattiin glukoosi, pH ja tarkastettiin solujen elävyys mikroskoopissa. Kontrollisoluna käytettiin Genapol X-080:lle altistumattomia soluja. Tulokset varmistivat, että ilmajäliteisen Genapol X-080:n toksisuudelle altistetut solut olivat kuolleet: glukoosin kulutus oli < 2 mM, pH oli 8, ja solut olivat hajonneet. Kontrollisolujen glukoosinkulutus oli 7 mM, pH 6,8, ja solumatto oli ehjä. Tämän kokeen jälkeen soluja pystyi menestyksellisesti viljelemään inkubaatiokaapissa vasta sen jälkeen, kun kaappi ole puhdistettu, pohja-altaan vesi vaihdettu ja kaappi autoklavoitu. Koe toistettiin 3 kertaa.



Kuva 14. Epifluoresenssikuva sian siittiöistä 3 tunnin ilmajäliteisen Genapol X-080 altistuksen jälkeen. Vasen sarake: kontrollisolut, keskimmäisen sarakkeen solut altistettu Genapol X-080:n 1/1000 laimennokselle ja oikea sarakkeen solut on altistettu Genapol X-080:n 1/100 laimennokselle. Ylimmässä rivissä näkyvät siittiöt on leimattu membraanipotentiaalia ilmentävällä leimalla, JC-1. Korkea membraanipotentiaali siittiön keskiosan mitokondrioissa näkyy oranssina fluoresenssina, vahingoittuneet mitokondriot, joilla on matala membraanipotentiaali emittoivat vihreää fluoresenssia. Keskimmäisen ja alimman rivin solut on leimattu vitaaliväreillä, jotka ilmentävät solukalvon eheyden. Elävät solut näkyvät keskimmäisessä rivissä sinisinä ja alimmassa rivissä vihreinä. Kummankin rivin kuolleet solut näkyvät punaisina.

2.7.4. Biosidien ja Genapol X-080:n vaikutus homekantoihin ja nisäkässoluihin

Laskeutuneeseen sisätalipölyyn kerääntyy sekä hajoavia että pysyviä orgaanisia yhdisteitä, koska UV-valon ja mikrobin aikaansaama hajoaminen on ulkovalolta suojassa ja kuivassa pölyssä estynyt. Laskeutunut pöly muodostuu ilmassa leijuvasta pölystä. Sisätalijoiden laskeutuneessa pölyssä esiintyvät bioaktiiviset ksenobioottiset yhdisteet saattavat edustaa kroonista matalatason altistusta sekä hengitettynä, että syötynä (pikkulapsen) (Hwang ym. 2008). Bisfenolia, ftalaatteja, palonestoaineita ja parabeeneja sekä biosidisia ja fungisidisia aineita kuten mitokondrioille myrkyllisiä aineita (mm. triklosaani ja DDAC) on löydetty sisätalipölyistä.

Vaikka aineiden valmistaminen ja käyttäminen kielletään (triklosaani, PCB, DDT) ne eivät poistu ekosysteemeistä pitkään aikaan, vaan vapautuvat vanhoista päästölähteistä ja vanhoja varastoja käytetään kauan valmistamis- ja käyttökiellon jälkeen (Andersson ym. 2020). Rakennuksiin tuodut kemikaalit rikastuvat sisäilmaan ja pölyyn ja päätyvät lopuksi ilmakehään ja vesistöihin (Bonvallot ym. 2010, Fahimipour ym. 2018, Hwang ym. 2008). Ksenobioottisten kemikaalien vaikutuksia homeisiin ja nisäkässoluihin ei ole tietääksemme ennen verrattu. Tutkimme valittujen biosidien ja Genapol X-080:n vaikutuksia homekantoihin ja nisäkässoluihin.

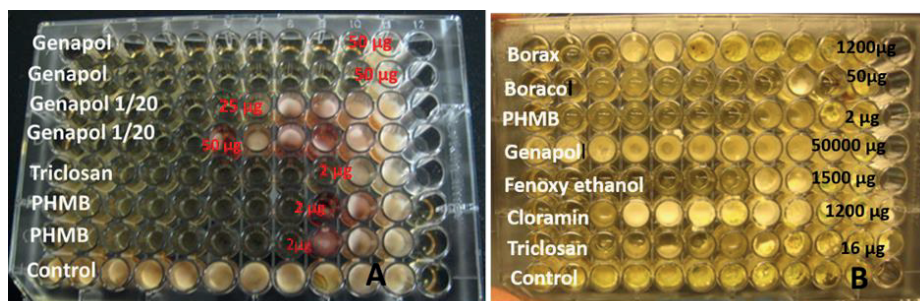
Taulukossa 20 ja kuvissa 14-16 esitetään *Aspergillus* ja *Chaetomium* kaltaisten kantojen ja *Penicillium*, *Paecilomyces* ja *Trichoderma* kantojen vastustuskykyä biosideille ja Genapol X-080:lle verrattuna valittuihin ulkoa eristettyihin sienikantoihin sekä nisäkässoluihin; MNA ja PK-15 soluihin.

Resistenssi l. vastustuskyky mitattiin kuroumaitiöiden ja askosporien itävyytenä, jotka osoitettiin neljällä eri menetelmällä: (1) valomikroskoopilla havaitut itiöputkien muodostuminen; (2) lisääntyneellä sameudella (kuva 15); (3) fluoresenssiemissiona (kuva 15); sekä (4) resatsuriinin pelkistymisenä ja

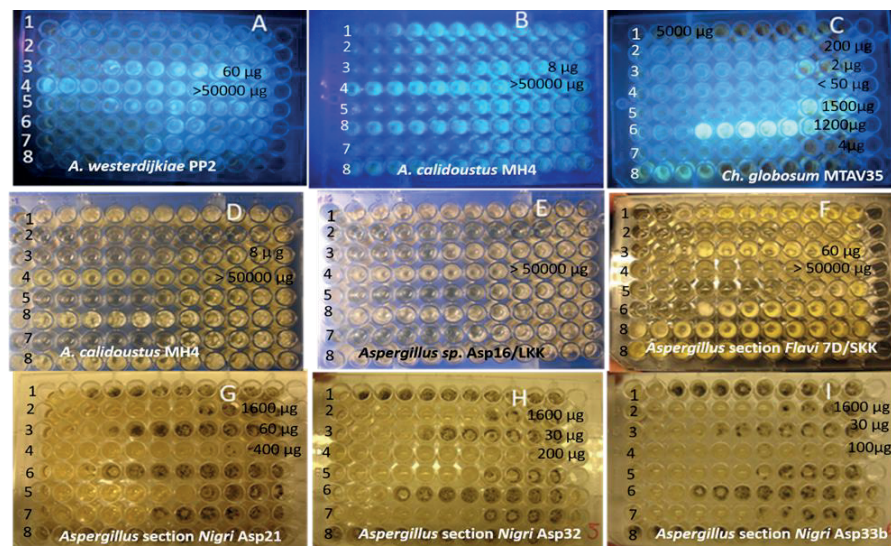
uudelleen itiöintinä (kuva 16).

Taulukosta 20 näkee, että sienikannoista vastustuskykyisimpiä biosideille (varsinkin Boracol:lle, PHMB:lle ja triklosaanille) olivat *Aspergillus* ja *Paecilomyces* kannat. Tämä on huolestuttavaa, koska monet näistä kannoista ovat potentiaalisia patogeeneja. Tulokset osoittavat myös, että homekannat (paitsi *Chaetomium globosum*) kannat ovat huomattavasti epäherkempiä Genapol X-080:lle kuin nisäkässolut. Genapol X-080 näyttää jopa nopeuttavan itiöiden germinaation veden pinta-aktiivisuutta alentavan vaikutuksen ansiosta. Sen sijaan Genapol X-080 vaikuttaisi viivästyttävän mutta ei estävän uudelleen itiöimistä (kuva 15-16). Tulokset Taulukossa 20 osoittavat että nisäkässolut ovat herkempiä biosideille kuin homeet. Nisäkäsoluille vähemmän myrkyllisiä detergenttejä kuten Tween 80 ja SDS tulisi suosia toksisen Genapol X-080:n sijaan.

Herkyys biosideille näyttäisi Taulukon 20 tulosten perusteella olevan lajispesifinen ominaisuus. Kuvassa 17 esitetään *Trichoderma atroviride* kannan vastustuskyky biosideille ja Genapol X-080:lle. Sisätiloista eristetyt *Trichoderma* kannat eivät olleet vastustuskykyisempiä biosideille kuin ulkoilmakannat.



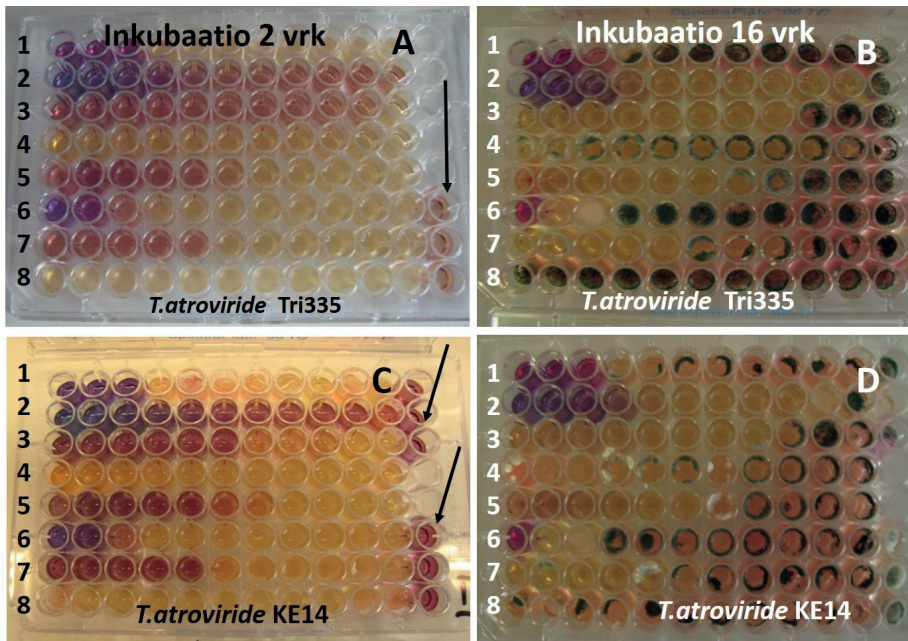
Kuva 15. Biosidien ja Genapol X-080:n toksisuus, joka näkyy kahden kerran laimennuksen sameuden erona vasemmalta oikealle 10 vuorokauden inkubaation jälkeen. Toksisuus, ts. kuroumaitiöiden ja askosporien kasvun estäminen, näkyy läpinäkyvyytenä kaivoissa ilman sameutta. Toksisuuden päätepisteet, jotka ilmaistaan EC₅₀-100 µg ml⁻¹ -pitoisuuksina (arvot µg punaisilla ja mustilla kirjaimilla), määritetään pitoisuuksista viimeisessä laimennoksessa, jolloin saadaan läpinäkyvä kaivo. Paneeli A näyttää *Chaetomium globosum* -kannan HS5 herkytyden ja paneeli B näyttää *Trichoderma atroviride* H1 / 226: n herkytyden eri kemikaaleille.



Kuva 16. Eri homeiden vastustuskyky biosideille ja Genapol X-080:lle, joka näkyy fluoresenssiemissiona (ylempi rivi), sameutumisena (keskimmäinen rivi) ja uudelleen itiöintinä (alareuna). Rivinumero osoittaa biosidin kahden kerran laimennukset vasemmalta oikealle seuraavasti: Booraksi (1), Boracol (2), PHMB (3), Genapol X-080 (4), fenoksietanoli (5), Kloramin (6), triklosaani (7) ja negatiivinen kontrolli (8). Ylemmän rivin levyissä kuroumaitiöiden itävyys ilmaistaan sinisellä tai sinivihreällä fluoresenssilla (paneelissa C fluoresenssi peitetään uudella askosporilla riveissä 1,2,7 ja 8). Keskimmäisellä rivillä olevat levyt osoittavat vastustuskyvyn kemikaaleille sameuden muodossa, alarivillä resistenssi näkyy uusien mustien kuroumaitiöiden uudelleen itämisenä. Levyt tarkastettiin inkuboinnin jälkeen 28 °C:ssa 2 vuorokauden (levyt A, B, D, E) ja 10 vuorokauden (levyt C, F, G, H ja I) jälkeen.

Taulukko 20. *Chaetomium* ja *Chaetomium* kaltaisten kantojen vastustuskyky biosideille (A=Booraksi, B=Boracol, C=PHMB, D=Genapol X-080, E=Fenoksiethanoli, F=Kloramin, G= Triklosaani). Resistenssi mitattiin kuroumaitöiden ja askosporien itävytytenä, lisääntyneellä sameudella, fluoresenssiemissiona ja uudelleen itiöintinä.

Biosidit Kannat	Sisäympäristöstä eristetyt <i>Chaetomium globosum</i> kannat						
	A	B	C	D	E	F	G
	EC ₅₀ (µg ml ⁻¹)						
MTAV 35	5000	100	4	< 50	700	1200	2
MTAV 37	5000	100	4	< 50	700	1200	4
HS5	>5000	100	8	50	1500	2500	2
2b/26,	>5000	100	8	50	1500	2500	4
MH 52	5000	50	4	< 50	1500	1200	2
RUK 10	5000	100	4	< 50	1500	2500	2
ABCD	5000	100	4	< 50	1500	1200	4
MO9	>5000	100	4	< 50	700	2500	2
2c/MT	>5000	100	8	50	1500	2500	4
Mö9	>5000	100	8	50	1500	2500	4
C22/LM	>5000	100	8	50	1500	2500	4
3b/AP	>5000	100	8	50	1500	2500	4
	Sisäympäristöstä eristetyt <i>Chaetomium cochliodes</i> kannat						
OT7	750	50	8	>5000	3000	ND	4
OT7b	750	50	8	>5000	3000	ND	4
Referenssikannat	<i>Chaetomium</i> kaltaiset kannat						
	Sisäympäristöstä eristetty <i>Dichotomophilus vaniostiolatus</i> kanta						
M015	5000	100	4	50000	1500	1200	2
	Ulkoa eristetty <i>Dichotomophilus sp.</i> kanta						
CH1/tu	1200	100	4	<50	1500	1200	2
	Sisäympäristöstä eristetyt kannat, jotka voivat kasvaa 37 °C:ssa						
	<i>Aspergillus section nigri</i>						
Asp21	≥5000	1600	30	>50000	3000	1200	30
Asp33b	≥5000	1600	30	>50000	3000	1200	16
Asp 32	≥5000	1600	60	>50000	3000	1200	16
	<i>Aspergillus section flavi</i>						
7D	2500	200	120	>50000	1500	600	8
1/37	5000	1600	120	>50000	1500	600	8
	<i>Aspergillus calidoustus</i>						
MH4	5000	200	8	>5000	3200	ND	16
	<i>Paecilomyces variotii</i> strains						
Pac1/kop	≥5000	800	30	>50000	3000	1200	4
Pac2/kop	≥5000	400	30	>50000	3000	1200	4
	<i>Indoor Paecilomyces sp.</i> strains						
Pec1/skk	≥5000	800	16	>50000	3000	1200	4
Pec1/his	≥5000	400	30	>50000	3000	1200	30
	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>						
THG	1200	<50	1	>50000	1500	1200	16
	<i>Trichoderma citrinoviride</i>						
SJ40	1200	<50	2	>50000	1500	1200	8
	Kannat jotka eivät kasva 37 °C:ssa						
	<i>Aspergillus versicolor</i>						
SL/3	5000	100	60	>50000	800	600	16
Gas/226	5000	100	60	>50000	400	1200	16
	<i>Aspergillus westerdijkiae</i>						
PP2	5000	100	60	>50000	1500	600	16
PP3	5000	100	60	>50000	1500	600	16
AW/KL	2500	100	60	>50000	1500	600	16
	Sisäympäristöstä eristetyt <i>Trichoderma atroviride</i> kannat						
H1/226	1200	100	2	>50000	1500	1200	16
Ke14	1200	100	4	>50000	1500	1200	16
Kiv10	2500	100	4	>50000	3000	2400	30
Tri335	2500	100	4	>50000	3000	1200	30
14/AM	1200	100	4	>50000	3000	1200	30
Tri7A/SKK	1200	100	8	>50000	1500	2500	16
	Ulkoa eristetyt <i>Trichoderma atroviride</i> kannat						
SZMC 12541	1200	100	2	>50000	1500	2500	16
SZMC 12474	2500	100	4	>50000	3000	2500	8
SZMC 207080	1200	100	8	>50000	3000	2500	8
SZMC 1723	1200	100	8	>50000	1500	2500	16
SZMC 12516	2500	200	30	>50000	1500	2500	16
SZMC 12323	1200	100	8	>50000	1500	2500	30
	Sisäympäristöstä eristetyt <i>Penicillium sp</i> kannat						
35/skk	5000	<50	30	>50000	350	600	ND
26/skk	>5000	<50	30	>50000	3000	600	30
5/skk	2500	100	8	>50000	1500	600	2
HJ2	2500	100	1	>50000	800	1200	8
20b/skk	>5000	<50	30	>50000	1500	600	2
Vaip/skk	>5000	<50	8	>50000	800	600	4
	Nisäkäs solulinjat (ICT testi)						
MNA	150	<50	4	25	400	80	4-8
PK-15	600	<50	15	25	1500	150	8-15



Kuva 17. Kahden *Trichoderma atroviride* kannan vastustuskyky biosideille ja Genapol X-080:lle mitattuna resatsuriinin pelkistykseenä (paneelit A ja C) ja uudelleen itiöimisenä (B ja D). Rivinumerot osoittavat biosidin kahden kerran laimennukset vasemmalta oikealle seuraavasti: Booraksi (1), Boracol (2), PHMB (3), Genapol X-080 (4), fenoksietanoli (5), Kloramin (6), triklosaani (7) ja negatiivinen kontrolli (8). Mustat nuolet osoittavat, että kaivo on täytetty vain väliaineella. Elinkykyiset ja germinoituneet homeitiöt pelkistivät 2 vuorokauden inkuboinnin jälkeen lisätyn sinisen resatsuriinin nopeasti ensin resurofiiniksi ja lopuksi värittömäksi dihydroresurofiiniksi. Kaivot, joissa homeitiöt ovat eläviä, ovat 2 vuorokauden jälkeen värittömiä ja 16 vuorokauden jälkeen uusien vihreiden kuromaitöiden peitossa.

3. Johtopäätökset ja pohdinta

Tutkimushankkeessa saatiin arvokasta tietoa pääkaupunkiseudun koulu- ja päiväkotirakennuksissa käytössä olevista siivousmenetelmistä ja -kemikaaleista sekä niiden vaikutuksista koettuun ja mitattuun sisäilman laatuun.

Haastattelututkimuksen mukaan siivouskemikaalien käyttö tutkituissa pääkaupunkiseudun koulu- ja päiväkotirakennuksissa oli odotettua vähäisempää. Siivousaineissa käytetyt tehoaineet olivat pääasiassa ionittomia tensidejä, joiden pitoisuudet olivat alhaisia käyttöliuoksissa. Siivouskemikaaleja käytetään enemmän ainoastaan, jos lika pinnalta ei lähde normaalilla käyttöliuoksella tai vedellä. Lisäksi monissa kohteissa normaalissa siivouksessa käytettiin siivousvälineiden kostutukseen pääasiassa pelkkää vettä, mikä on voinut vaikuttaa tutkimustuloksiin verrattaessa normaalsiivouksen ja kemikaalittoman siivouksen vaikutuksia.

Kemialliset, mikrobiologiset ja toksikologiset tutkimustulokset osoittivat, että ”normaalsiivouksen” ja kemikaalittoman siivouksen vaikutuksissa sisäilman mitattuun laatuun ei ollut merkittäviä eroavaisuuksia. Siivousaineiden vähäinen käyttö tutkituissa kohteissa ei nostanut oleellisesti haihtuvien kemiallisten yhdisteiden tai partikkeliin pitoisuutta sisäilmassa verrattuna kemikaalittomaan vesisiivoukseen. Kenttätutkimuksissa huomattiin, että siivouksessa emittoituvat haihtuvien siivouskemikaalien pitoisuudet laimenivat nopeasti ennen oppituntien alkua muun muassa ilmanvaihdon avulla.

Pelkästään vedellä tapahtuvan siivouksen vaikutus laskeutuneen pölyn mikrobitasoihin ei ollut selvää ja johdonmukaista. Tiettyjen mikrobiryhmien vaihtelut ”normaalsiivouksen” ja kemikaalittoman siivouksen välillä johtuivat todennäköisesti ulkomikrobitasojen kausivaihteluista eivätkä siivoustoimenpiteistä. Luokkahuoneista, luentosaleista ja tiloista kerätyissä laskeutuneen pölyn mikrobitasoissa havaittiin suuria eroja tutkittujen rakennusten sisällä ja niiden välillä. Merkittävimpiä olivat päiväkodista mitatut moninkertaisesti korkeammat bakteeri- ja sienitasot verrattuna lukion luokkahuoneista mitattuihin tasoihin. Havaintoa tiettyjen mikrobiryhmien vähentymisestä pelkällä vedellä siivouksen aikana toisessa tutkimusperiodissa ei saatu selvitettyä täysin tässä tutkimuksessa, mutta se liittyy todennäköisesti mittausjakson aikaiseen maan lumipeitteeseen (vaikuttaa ulkoilman mikrobistoon). Tulosten perusteella siivouksessa ei havaittu sisäilman mikrobien määrissä tai lajeissa suurta eroa käytettäessä pelkkää vesijohtovettä verrattuna vähäkemikaaliseen ”normaalsiivoukseen”, joten vesisiivous ei heikentänyt sisäilman mikrobiologista laatua. Toisaalta se viittaa siihen, että tutkimuskohteiden siivoukseen käytettävillä vähäisillä kemikaalimäärillä ei ollut vaikutusta sisäilman mikrobiomiin. Epäpuhtaudet, jotka voisivat toimia mikrobien kasvualustana, puhdistuivat yhtä hyvin vedellä kuin siivouskemikaaleilla.

UltraH₂O-vesisiivouksessa joidenkin yksittäisien yhdisteiden, kuten etikkahapon, pitoisuudet olivat matalampia kuin ”normaalsiivouksessa”. Jatkuvatoimisilla sensoreilla mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) kokonaispitoisuudet olivat hieman alhaisempia ultraH₂O-vesisiivouksessa verrattuna vähäkemikaalisen ”normaalsiivouksen” aikana tehtyihin vastaaviin tutkimuksiin. UltraH₂O-vesisiivouksella ei ollut selkeää ja johdonmukaista vaikutusta sisätilojen mikrobitasoon.

Ilmasta kerätyn veden toksisuus oli suurempi ultraH₂O-vesisiivouksen aikana kuin normaalsiivouksessa, mutta ulkoilman pitoisuuksilla on voinut olla vaikutusta tuloksiin. Sisäilman toksisuudesta mittaa sisäilmasta kerätyn veden sytotoksisuutta näytteenottohetkellä, joten tulokseen vaikuttavat käytettyjen siivousaineiden lisäksi monet muuttujat kuten tilan tuuletus, tilan käyttöaste (onko tila ollut tyhjiään vai onko siellä ollut tilankäyttäjiä), tiloissa tapahtuva toiminta (onko tilassa käytetty liimoja, maaleja ym. kemikaaleja), sekä rakennusmateriaalien päästöt. Lisäksi tulokseen vaikuttavat ulkoilman kemialliset

saasteet (riippuen esimerkiksi tuuletuksesta, ilmanvaihdosta ja korvausilman suodatuksesta). Jotta siivousmenetelmien vaikutus sisäilman veden toksisuuteen voitaisiin luotettavasti selvittää käytetyllä toksisuustestillä, pitäisi näiden muuttujien vaikutus pystyä eliminoimaan. Laboratoriotutkimukset osoittivat, että nisäkässolut ovat herkempiä monille biosideille kuin homeet ja vastustuskykyisimpiä niille olivat potentiaalisesti patogeeniset *Aspergillus* ja *Paecilomyces* kannat.

Tutkimuksen perusteella siivousaineiden käyttö päivittäissiivouksessa ei ole välttämätöntä hyvän siivoustuloksen ja laadukkaan sisäilman turvaamiseksi. Toisaalta tutkimuksen aikana käytetyt vähäiset siivouskemikaalimäärät eivät myöskään huonontaneet sisäilman laatua. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää siivoustyöntekijöiden sekä tilankäyttäjien siivousainealtistumisen vähentämisessä julkisissa toimitiloissa. Tutkimustulokset auttavat myös valitsemaan taloudellisesti mahdollisimman optimaalisia siivousmenetelmiä ja -käytäntöjä heikentämättä sisäilman koettua ja mitattua laatua. Oikeilla siivousmenetelmävalinnoilla ja kemikaalien vähentämisellä voidaan myös vaikuttaa merkittävästi ympäristön kemikaalikuormaan.

Tutkimuksia erilaisten siivousmenetelmien ja -kemikaalien vaikutuksista sisäilman laatuun erilaisissa sisäympäristöissä, kuten kouluissa, toimistoissa ja sairaaloissa tarvitaan lisää. Kenttätutkimusten lisäksi tarvitaan myös tutkimusta tarkasti kontrolloitavissa olosuhteissa (koehuone- ja laboratoriotutkimukset), joissa siivouksessa käytettäviä kemikaalimääriä voidaan tarkasti valvoa. Uusien kemikaalittomien siivousmenetelmien, kuten esimerkiksi otsonoidun- ja suodatetun veden vaikutusta sisäympäristön ja sisäilman mikrobiologiseen ja kemialliseen laatuun tulisi myös tutkia tarkemmin.

4. Tutkimushankkeen julkaisut

- Alapieti T., Täubel M., Mikkola R., Valkonen M., Leppänen H., Hyvärinen A., Salonen H. (2019). Siivouskemikaalien ja –menetelmien vaikutukset sisäympäristön mikrobistoon ja sisäilman laatuun [in finnish]. Sisäilmastoseminaari (Indoor Climate Seminar), 2019. Messukeskus, Helsinki, Finland. 14.3.2019. Sisäilmayhdistys ry. SIY report 37, p. 291-297. SIY Sisäilmatieto Oy. ISSN 1237-1866. ISBN 978-952-5236-49-1.
- Alapieti T., Täubel M., Mikkola R., Valkonen M., Leppänen H., Hyvärinen A., Salonen H. (2019). Cleaning practices and chemicals: Effects on indoor microbiome and air quality. ISES-ISIAQ 2019 Kaunas, Lithuania, August 18-22). Submission ID 514.
- Andersson M., Nagy S., Andersson M., Kurnitski J., Salonen H. Kaupunkiasunnoista kerätyt sisätilapölyt saattavat sisältää ksenobioottisia rasvaliukoisia yhdisteitä, jotka solutesteissä vahingoittavat mitokondrioiden toimintaa. Sisäilmastoseminaari 2020. Messukeskus, Helsinki, Finland. 10.3.2020. Sisäilmayhdistys ry. SIY report 38.
- Andersson M., Marik T., Kredics L., Salonen H., Kurnitski J. (2019). Old dry mold growth seems to emit less bioactive metabolites and surfactants than actively growing microbes. Sisäilmastoseminaari (Indoor Climate Seminar), 2019. Messukeskus, Helsinki, Finland. 14.3.2019. Sisäilmayhdistys ry. SIY report 37, p. 215-220. SIY Sisäilmatieto Oy. ISSN 1237-1866. ISBN 978-952-5236-49-1.
- Andersson M., Nagy S., Mikkola R., Kurnitski J., Salonen H. (2019). Toxicities of detergents used in cleaning chemicals and hygiene products in a test battery of ex vivo and in vitro assays. Sisäilmastoseminaari (Indoor Climate Seminar), 2019. Messukeskus, Helsinki, Finland. 14.3.2019. Sisäilmayhdistys ry. SIY report 37, p. 297-302. SIY Sisäilmatieto Oy. ISSN 1237-1866. ISBN 978-952-5236-49-1.
- Castagnoli E., Andersson MA., Mikkola R., Kurnitski J., Salonen H. (2018). Airborne toxicity in ex Vivo and in Vitro assays of Genapol x-080, a wetting agent used in cleaning chemicals Indoor Air 2018 konferenssi, International Society of Indoor Air Quality & Climate (ISIAQ). 22-27.7. 2018, Philadelphia, PA, USA.
- Castagnoli E., Salo J., Toivonen MS., Marik T., Mikkola R., Kredics L., Vincente-Carillo A., Nagy S., Andersson MT., Andersson MA., Kurnitski J., Salonen H. (2018). An Evaluation of Boar Spermatozoa as a Biosensor for the Detection of Sublethal and Lethal Toxicity. *Toxins* (Basel). 2018 Nov 8;10(11): pii: E463. doi: 10.3390/toxins10110463.
- Kakko L., Reunanen E., Mikkola R., Mannerström M., Alapieti T., Täubel M., Kylmäkorpi P., Heinonen T., Heidi Salonen H. (2020). Siivouskemikaalien ja menetelmien vaikutukset kouluympäristön mikrobistoon ja sisäilman laatuun. Sisäilmastoseminaari 2020. Messukeskus, Helsinki, Finland. 10.3.2020. Sisäilmayhdistys ry. SIY report 38.
- Kakko L., Reunanen E., Kylmäkorpi P., Alapieti T., Mikkola R., Andersson M., Leppänen H., Täubel M., Hyvärinen A., Salonen H. (2019). Siivouskemikaalien ja –menetelmien käytön haastattelu ja havainnointi SIBI-hankkeen tutkimuskohteissa [in finnish]. Sisäilmastoseminaari (Indoor Climate Seminar), 2019. Messukeskus, Helsinki, Finland. 14.3.2019. Sisäilmayhdistys ry. SIY report 37, p. 307-310. SIY Sisäilmatieto Oy. ISSN 1237-1866. ISBN 978-952-5236-49-1.
- Kakko L., Reunanen E., Kylmäkorpi P., Alapieti T., Täubel M., Mikkola R., Salonen H. (2019). Siivouskemikaalien ja –menetelmien vaikutukset koulu- ja päiväkotiympäristön mikrobistoon ja sisäilman laatuun. Rakennusfysiikka -seminaari 2019, 28 -30.10.2019, Tampereen yliopisto.
- Kakko L., Reunanen E. (2019). Siivouskemikaaleja käytetään kouluissa oletettua vähemmän. *Puhtausala* 3/2019. Lehtijuttu ammattilehdessä.
- Kakko L. (2019). Esitys hankkeen alustavista tuloksista. *Puhtaustiedon Huipputapahtuma* 8.3.2019
- Kakko L. (2018). Pilaavatko siivouskemikaalit sisäilmaa. *Puhtausala* 2 /2018. Lehtijuttu ammattilehdessä

- Kakko L., Reunanen E., Järvi K., Alapieti T., Mikkola R., Andersson M., Leppänen H., Täubel M., Hyvärinen A., Salonen H. (2018). Siivouskemikaalien ja biosidien vaikutukset mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun. Sisäilmastoseminaari 2018 (Indoor Climate Seminar 2018). 15.3.2018. SIY raportti 36. ISSN 1237-1866, ISBN 978-952-5236-46-0..
- Kylmäkorpi P. (2019). Haastattelut ja havainnot siivouskemikaalien käytöstä SIBI-hankkeentutkimuskohteista, opinnäytetyö, 05/2019, Tampereen ammattikorkeakoulu.
- Salonen H., Heinonen T., Mannerström M., Jackson M., Andersson M., Mikkola R., Kurnitski J., Khurshid S., Novoselac A, Corsi R. (2018). Assessing indoor air toxicity with condensate collected from air using the mitochondrial activity of human BJ fibroblasts and THP-1 monocytes. 15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (ISIAQ) Philadelphia, PA, USA, July 22 to 27, 2018. Paper ID: 330.
- Selkäinaho J., Harmo P., Salkinoja-Salonen M., Luukkaa J., Siren H.M., Riekkola M.L, Andersson M.A, Mikkola R., Salonen H., Kurnitski J., Visala A. (2018). Water vapour mobilises building related non-volatile chemicals and mycotoxins and may be used to remove substances of potential health hazard from indoor surfaces. Roomvent & ventilation-conference. Espoo, Finland, June 2-5, 2018.

5. Kirjallisuusviitteet

- Asumisterveysasetus, 2015. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Saatavilla: <http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/> [Viitattu 15.2.2020].
- Bonvallet N, Mandin C, Mercier F, Le Bot B, Glorennec P. (2010). Health ranking of ingested semi-volatile organic compounds in house dust: an application to France Indoor Air. 20(6): 458-72. doi: 10.1111/j.1600-668.2010.00667.x.
- Casas, L., Zock, J.P., Carsin, A.E., Fernandez-Somoano A., Esplugues A., Tardón A., Ballester F., Santa-Marina L., Basterrechea M., Sunyer J. (2013). The use of household cleaning products during pregnancy and lower respiratory tract infections and wheezing during early life. *Int J Public Health*. 58: 757.
- Casas L., Zock JP., Torrent M., García-Esteban R., Gracia-Lavedan E., Hyvärinen A., Sunyer J. (2013). Use of household cleaning products, exhaled nitric oxide and lung function in children. *Eur Respir J*. 5:1415-1418.
- Casas L., Espinosa A., Borràs-Santos A., Jacobs J., Krop E., Heederik D., Nemery B., Pekkanen J., Hyvärinen A., Täubel M., Zock JP. (2015). Domestic use of bleach and infections in children: a multicentre cross-sectional study. *Occup Environ Med*. 8:602-604.
- Castagnoli, E., Andersson, M. A., Mikkola, R., Kredics, L., Marik, T., Kurnitski, J., Salonen, H., (2017). Indoor chaetomium-like isolates: resistance to chemicals, fluorescence and mycotoxin production. Sisäilmastoseminaari 2017, Helsinki, 15.03.2017. Säteri, J. & Ahola, M. (eds.). Sisäilmayhdistys ry, Vol. 35. p. 227-232 (SIY raportti 35).
- Castagnoli E., Andersson M., Mikkola R., Kurnitski J., Salonen H. (2018). Airborne toxicity of a non-ionic alcohol ethoxylate surfactant and wetting agent used in cleaning chemicals. The 15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (ISIAQ) Philadelphia, PA, USA, July 22 - 27, Paper ID: 373.
- Chandhuri N., Fruchtagarten L. (2005). Where the child lives and plays In: Children's Health and the Environment - A Global Perspective: A Resource Manual for the Health Sector Pronczuk-Garbino J, editor. WHO.

- Chowdhury PH., He Q., Male TL., Brune WH., Rudich Y., Pardo M. (2018). Exposure of lung epithelial cells to photochemically aged secondary organic aerosol shows increased toxic effects. *Environ Sci Technol Lett.* 7:424-430.
- Dai D., Prussin AJ. 2nd, Marr LC., Vikesland PJ., Edwards MA., Pruden A. (2017). Factors Shaping the Human Exposome in the Built Environment: Opportunities for Engineering Control. *Environ Sci Technol.* 51:7759-7774.
- European Chemicals Agency (ECHA), (<https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.003.563>).
- Fahimipour AK, Ben Maamar S, McFarland AG, Blaustein RA, Chen J, Glawe AJ, Kline J, Green JL, Halden RU, VanDen Wymelenberg K, Huttenhower C, Hartmann EM. (2018). Antimicrobial chemicals associate with microbial function and antibiotic resistance indoors. *3 (6)*. e00200-18 msystems.asm.org
- Farhat SC., Paulo RL., Shimoda TM., Conceição GM., Lin CA., Braga AL., Warth MP., Saldiva PH. (2005). Effect of air pollution on pediatric respiratory emergency room visits and hospital admissions. *Braz J Med Biol Res.* 38: 227-235.
- Folletti I., Zock JP., Moscato G., Siracusa A. (2014). Asthma and rhinitis in cleaning workers: a systematic review of epidemiological studies. *J Asthma.* 51:18-28.
- Friman M., Kakko L., Constantin C., Simojoki H., Andersson M.A., 2,5 Nagy S., Salonen H., Andersson M. (2019), An atypical *Bacillus anthracis* infection in a bull—A potential occupational health hazard. *Reprod Dom Anim.* 54:1279-1283.
- Gameiro A., Coutinho I., Ramos L., Goncalo M. (2014). Methyisothiazolinone: second "epidemic" of isothiazolinone sensitization. *Contact Dermatitis.* 70:238-260.
- Hwang HM, Park EK, Young TM, Hammock BD. (2008). Occurrence of endocrine-disrupting chemicals in indoor dust. *Sci. Tot. Environ.* 404(1): 26-35
- Haugland RA, Siefring SC., Wymer LJ., Brenner KP., Dufour AP. (2005). Comparison of *Enterococcus* measurements in freshwater at two recreational beaches by quantitative polymerase chain reaction and membrane filter culture analysis. *Water Res.* 39:559–568.
- Haugland R., Vesper SJ. (2003) Method of identifying and quantifying specific fungi and bacteria. US patent 6387652.
- Hyttiäinen HK., Jayaprakash B., Kirjavainen PV., Saari SE., Holopainen R., Keskinen J., Hämeri K., Hyvärinen A., Boor BE., Täubel M. (2018) Crawling-induced floor dust resuspension affects the microbiota of the infant breathing zone. *Microbiome* 6:25.
- Inácio, A., Costa G., Domingues N., Santos M., Moreno A., Vaz W., Vieira O. (2013). Mitochondrial Dysfunction Is the Focus of Quaternary Ammonium surfactant toxicity to mammalian epithelial cells. *Antimicrob Agents Chemother.* 57:2631-2639.
- Ishikawa S., Matsumura Y., Katoh-Kubo K., Tsuchido T. (2002). Antibacterial activity of surfactants against *Escherichia coli* cells is influenced by carbon source and anaerobiosis. *J Appl Microbiol.* 93: 302–309.
- ISO 16000-3. (2011). Indoor air – Part 3.
- ISO 16000-6. (2011). Indoor air – Part 6.
- Kwan SE., Shaughnessy RJ., Hegarty B., Haverinen-Shaughnessy U., Peccia J. (2018). The reestablishment of microbial communities after surface cleaning in schools. *J Appl Microbiol.* 3:897-906.
- Kwan SE., Peccia J., Simonds J., Haverinen-Shaughnessy U., Shaughnessy RJ. (2019). *Am J Infect Control.* 6:671-676.
- Kwon D., Kwon JT, Lim YM., Shim I., Kim E., Lee DH., Yoon BI., Kim P., Kim HM. (2019). Inhalation toxicity of benzalkonium chloride and triethylene glycol mixture in rats *Toxicol Appl Pharm.* 378:114609.
- Kärkkäinen PM., Valkonen M., Hyvärinen A., Nevalainen A., Rintala H. (2010). Determination of bacterial load in house dust using qPCR, chemical markers and culture. *J Environ Monit.* 12:759-68.
- Liu X., Lao XQ., Wong CC., Tan L., Zhang Z., Wong TW., Tse LA., Lau APS., Yu ITS. (2016). J Frequent use of household cleaning products is associated with rhinitis in Chinese children. *Allergy Clin Immunol,* 138:754-760.
- Lundov MD., Zachariae, C., Menné, T. (2012). Airborne exposure to preservative methylisothiazolinone causes severe allergic reactions. *Brit Med J.* 345:e822.

- Mishra N, Bartsch J, Ayoko G.A, Salthammer T, Morawska L. (2015). Volatile Organic Compounds: Characteristics, distribution and sources in urban schools. *Atmos Environ.* 106: 485-449.
- Mitro S., Dodson R., Singla V., Adamkiewicz G., Elmi A., Tilly M., Zota A. (2016). Consumer Product Chemicals in Indoor Dust: A Quantitative Meta-analysis of U.S. Studies. *Environ Sci Technol.* 19:10661-10672.
- Morawska L., He C., Johnson G., Guo H., Uhde E., Ayoko G. (2009). Ultrafine particles in indoor air of a school: possible role of secondary organic aerosols. *Environ Sci Technol.* 43: 9103-9109.
- Mwamburi LA., Laing MD., Miller RM. (2015). Effect of surfactants and temperature on germination and vegetative growth of *Beauveria bassiana*. *Braz J Microbiol.* 1: 67-74.
- Myers D. (1988). *Surfactant Science and Technology*. VCh Publishers New York 1988.
- Nazaroff W., Weschler C. (2004). Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmos Environ* 38, 18:2841-2865.
- Nagorka R., Gleue C., Scheller C., Moriske HJ., Straff W. (2015). Isothiazolone emissions from building products. *Indoor Air.* 25: 68-78.
- National Academy of Sciences (NAS). (2017). *Engineering and Medicine*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Niu X., Ho SSH., Ho KF., Huang Y., Cao J., Shen Z., Sun J., Wang X., Wang Y., Lee S., Huang R. (2017). Indoor secondary organic aerosols formation from ozonolysis of monoterpene: An example of d-limonene with ammonia and potential impacts on pulmonary inflammations. *Sci Total Environ.* 579:212-220.
- Nørgaard AW., Kofoed-Sørensen V., Mandin C., Ventura G., Mabilia R., Perreca E., Cattaneo A., Spinazzè A., Mihucz VG., Szigei T., de Kluienaar Y., Cornelissen HJ., Trantallidi M., Carrer P., Sakellaris I., Bartzis J., Wolkoff P. (2014). Ozone-initiated terpene reaction products in five European offices: replacement of a floor cleaning agent. *Environ Sci Technol.* 48:13331-13339.
- Quirce S., Barranco P. (2010). Cleaning agents and asthma. *J Investig Allergol Clin Immunol.* 20:542-550.
- Salonen H., Salthammer T., Morawska L. (2018). Human exposure to ozone in school and office indoor environments. *Environ Int.* 119: 503-514.
- Sherriff A., Farrow A., Golding J., Henderson J. (2005). Frequent use of chemical household products is associated with persistent wheezing in pre-school age children. *Thorax*; 60: 45-49.
- Singh P., Patil Y., Rale V. (2018). Biosurfactant production: emerging trends and promising strategies. *J Appl Microbiol.* 126:2-13.
- Siracusa A., De Blay F., Folletti I., Moscato G., Olivieri M., Quirce S., Raulf-Heimsoth M., Sastre J., Tarlo SM., Walusiak-Skorupa J., Zock JP. (2013). Asthma and exposure to cleaning products - a European Academy of Allergy and Clinical Immunology task force consensus statement. *Allergy.* 68:1532-1545.
- Sunde M., Pham CLL., Kwan AH. (2017). Molecular Characteristics and Biological Functions of Surface-Active and Surfactant Proteins. *Annu Rev Biochem.* 86: 585-608.
- Työterveyslaitos. Kooste toimintaympäristöjen epäpuhtaus- ja olosuhtetasoista, joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin. Saatavilla: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/09/sisaympariston-viitearvoja.pdf>. [Viitattu 15.2.2020]
- Velazquez S., Griffiths W., Dietz L., Horve P., Nunez S., Hu J., Shen J., Fretz M., Bi C., Xu Y., Van Den Wymelenberg KG., Hartmann EM., Ishaq SL. (2019). From one species to another: A review on the interaction between chemistry and microbiology in relation to cleaning in the built environment. *Indoor Air.* 29:880-894.
- Wei W, Boumier J, Wyart G, Ramalho O, Mandin C. (2016). Cleaning practices and cleaning products in nurseries and schools: to what extent can they impact indoor air quality? *Indoor Air.* 26: 517-525.
- Weschler CJ., Shields HC. (1999). Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles *Atmos Environ.* 33:2301-2312.
- Wolkoff P., Nielsen GD. (2001). Organic Compounds in Indoor Air—Their Relevance for Perceived Indoor Air Quality. *Atmos Environ.* 35:4407-4417.
- Wolkoff P., Schneider T., Kildesø J. (1998). Risk in cleaning: chemical and physical exposure. *Sci total Environ* 23:135-156.

- Yang BY., Fan S., Thiering E., Seissler J., Nowak D., Dong GH., Heinrich J. (2019). Ambient air pollution and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res.*180:108817.
- Zock JP., Kogevinas M., Sunyer J., Almar E., Muniozguren N., Payo F., Sánchez JL., Antó JM. (2001). Asthma risk, cleaning activities and use of specific cleaning products among Spanish indoor cleaners. *Scand J Work Environ Health.* 27:76-81.

Koulu- ja päiväkotirakennusten sisäilman laatuun liittyvät ongelmat ovat yleisiä ja usein monien eri tekijöiden aiheuttamia. Siivouksessa käytettävien siivouskemikaalien on epäilty olevan yksi syy sisäilman laadun ongelmiin ja tilankäyttäjien oireiluun. Hankkeen tavoitteena oli selvittää siivousaineiden ja menetelmien käyttöä kouluissa ja päiväkodeissa sekä niiden vaikutuksia sisäilman kemialliseen, mikrobiologiseen ja toksikologiseen laatuun. Tutkimustulosten mukaan siivouksessa käytetyt siivouskemikaalimäärät eivät aiheuttaneet selkeitä kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksien nousua, mikrobien vähenemistä tai kasvua tai kerätyn sisäilman veden toksisuuden nousua verrattuna kemikaalittomaan siivoukseen. Tutkimuksen johtopäätös on, että tutkituissa rakennuksissa päivittäin käytettyjen siivouskemikaalien annostelumäärät olivat niin alhaisia, ettei niillä ollut merkittävää vaikutusta sisäilman laatuun.



ISBN 978-952-60-8998-0 (painettu)
 ISBN 978-952-60-8999-7 (pdf)
 ISSN 1799-487X (painettu)
 ISSN 1799-4888 (pdf)

Aalto-yliopisto
 Insinööritieteiden korkeakoulu
 Rakennustekniikan laitos
www.aalto.fi

**KAUPPA +
 TALOUS**

**TAIDE +
 MUOTOILU +
 ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +
 TEKNOLOGIA**

CROSSOVER

**DOCTORAL
 DISSERTATIONS**