
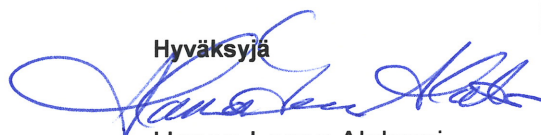




Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistimen mikrobiologinen tehokkuus

Kirjoittajat: Jaana Huotari, Inga Mattila, Satu Salo

Luottamuksellisuus: Luottamuksellinen

Raportin nimi Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistimen mikrobiologinen tehokkuus	
Asiakkaan nimi, yhteys henkilö ja yhteystiedot Scanoffice Atte Kallio Juvanmalmintie 11, 02970 Espoo	Asiakkaan viite
Projektin nimi Scan_sim	Projektin numero/lyhytnimi VTT-V-128897
Tiivistelmä <p>Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaitteen tehoa mikrobin poistamiseksi ilmasta tutkittiin koeasetelmassa, jossa suljetun tilan ilma saastutettiin bakteereja (sekä kasvuvaiheessa olevia soluja että itiöitä), homeita ja viruksia sisältävällä mikrobiosaerosolilla. Mikrobeja ei lisätty kokeen aikana, jolloin ilmassa olevat mikrobit myös inaktivoituivat luonnollisesti kokeen edetessä. Ensimmäisen tunnin aikana ilmanpuhdistuslaitte vähensi bakteeri-itiöiden tasoa ilmassa yli 3,64 logaritmiyksikköä (99,977 %), ja samassa ajassa homeitiöiden ja virusten tasot laskivat alle määritysrajan (10 virusta ja 10 homeitiötä/ 100 l ilmaa). Läpivirtauskokeessa MS2-virusten määrä väheni 3,73 logaritmiyksikköä, <i>Bacillus</i>-bakteeri-itiöiden määrä 2,72 logaritmiyksikköä ja <i>A. niger</i> -homeitiöiden määrä yli 1,12 logaritmiyksikköä.</p>	
Espoo 24.2.2021 Laatija  Satu Salo Senior Scientist	Hyväksyjä  Hanna-Leena Alakomi Research Team Leader
VTT:n yhteystiedot VTT, Satu Salo, PO Box 1000, 02044 VTT, Finland	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Asiakas, Atte Kallio, Scanoffice ja VTT-arkisto	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet

Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaitteen tehokkuutta ilmassa olevien mikrobin määrän vähentämiseksi tutkittiin 30 m³:n pilottimittakaavan koehuoneessa. Huoneen ilma kontaminoitiin mikrobiaserosolilla, ja mikrobin lukumäärä analysoitiin ajan funktiona. Ilmanäytteiden elinkykyisten mikrobin määrää verrattiin tilanteessa, jossa käytettiin Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaitetta ja tilanteessa, jossa ilmanpuhdistinta ei käytetty.

Tutkimuksessa käytetyn ilmanpuhdistuslaitteen toimitti asiakas (Kuva 1). Tutkimusta varten ilmavirran nopeudeksi valittiin laitteen täysi teho.



Kuva 1. Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaite testihuoneessa.

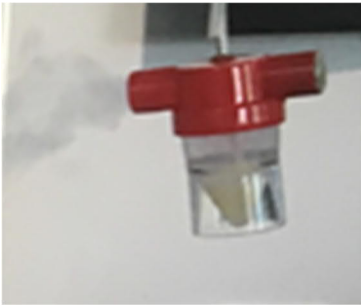
2. Menetelmät

Suljetun testihuoneen ilma (30 m³) saastutettiin aerosolilla, joka sisälsi bakteeri-itiöitä (*Bacillus atrophaeus*, VTT E-052737), homeitiöitä (*Aspergillus niger*, VTT D-081297), kasvuvaiheessa olevia bakteerisoluja (*Staphylococcus simulans*, VTT E-97784T) ja viruksia (bakteriofaagi MS2, DSM 13767). MS2-bakteriofaagia on yleisesti käytetty korvikkeena esimerkiksi norovirukselle. *B. atrophaeus* itiösuspensio valmistettiin viljelemällä VTT E-052737 -kantaa (VTT:n kantakokoelma) 7 päivän ajan 30°C:ssa Nutrient Agarilla, joka sisälsi MnSO₄ x H₂O 10 mg/l. Solut kerättiin ja suspendoitiin Ringerin liuokseen. Suspensio setrifugoitiin ja kuumennettiin 15 min 80 °C:een vesihautessa. Kuumennuksen jälkeen suspensiota pestiin kolme kertaa Ringerin liuoksella ja sentrifugoinnilla. *A. niger* -itiösuspensio valmistettiin

keräämällä viljeltyjä pesäkkeitä Ringerin liuokseen ja suodattamalla liuos lasikuidun läpi. MS2 viljeltiin *Escherichia coli* -bakteeria sisältävässä Nutrient-liemessä ja puhdistettiin kloroformilla. *S. simulans* -bakteeria käytettiin tuoreena liemiviljelmänä, jota oli kasvatettu yön yli Nutrient-liemessä 37 °C:ssa. Ilman saastuttamiseksi valmistettiin mikrobiseos, jossa mikrobien määrä oli seuraavanlainen: *A. niger* 10⁶ pesäkettä muodostavaa yksikköä (pmy)/ml, MS2 10¹⁰ plakkia muodostavaa yksikköä (pmy)/ml, *B. atrophaeus* 10⁸ pmy/ml ja *S. simulans* 10⁷ pmy/ml. Vahva mikrobiseos sumutettiin ilmaan lääkinnällisellä Spira-sumuttimella (Kuva 2) yhden baarin paineella kuuden minuutin ajan. Testihuoneessa oli tuuletin, jotta ilma sekoittuisi tehokkaasti.

Ensimmäinen ilmanäyte otettiin bioaerosolien muodostamisen jälkeen ajanhetkellä 0 h. Näytteenoton jälkeen (0 h) Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaite kytkettiin päälle. Seuraavat ilmanäytteet otettiin ajanhetkillä 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min, 1 h ja 2 h. Ilmanäytteet (100 l yhdessä minuutissa) kerättiin suodattimelle (Sartorius, Gelatine Disposables) MD8-ilmanäytteenottimella (Sartorius). Suodattimien mikrobitasot tutkittiin viljelymenetelmillä seuraavia kasvualustoja ja -olosuhteita käyttäen: homeet - Potato Dextrose Agar (PDA; inkubaatio 25 °C, 5 d), bakteerit - Plate Count Agar (PCA; inkubaatio 37 °C, 2 d) ja virukset - *Escherichia coli* -bakteeria sisältävä Nutrient Agar (NA; inkubaatio 37 °C, 1 d). Samanlaiset näytteet kerättiin tilanteessa, jossa ilmanpuhdistuslaitetta ei käytetty. Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaitteen tehokkuutta arvioitiin vertaamalla tuloksia laitteen ollessa päällä tai pois päältä. Tutkimus tehtiin kolmena rinnakkaisena kokeena 25.–26.1.2021 VTT:n tutkimustiloissa Tampereella.

Lisäksi koeajojen aikana testihuoneen ilmasta mitattiin biologisten partikkelien määrä Biovigilant IMD:lla.



Kuva 2. Mikrobiaerosolien muodostamisessa käytetty nebulisaattori.

Ilmanpuhdistuslaitteen ilmavirta ja otsonin tuotto mitattiin läpivirtausmenetelmällä käyttäen puhaltimen nopeutta 3. Mittauksissa hyödynnettiin suodatinmittausstandardin SFS-EN ISO 16890 mukaista järjestelmää. Laite asennettiin kahden suljetun kammion väliin siten, että laitteen sisään- ja ulostulo oli kytketty eri kammioihin. Laitteen painehäviö säädettiin nollassa käyttämällä lisäpuhaltimia. Tällä tavoin olosuhteet olivat samanlaiset kuin avoimessa huonetilassa. Laitteen tuottama ilmavirta mitattiin standardin ISO 5167:2003 mukaisella venturiputkella (103 mm). Paine-ero mitattiin DPM TT550SV ser 8730 -mikromanometrillä. Otsonipitoisuus mitattiin ilmanpuhdistuslaitteen sisään- ja ulostuloilmasta. Sisään- ja ulostuloilman otsonipitoisuus vähennettiin ulostuloilman pitoisuudesta. Mittausjärjestelmä sijaitsi VTT:n laboratoriossa, jossa ilman otsonipitoisuus oli noin 3 ppb. Otsonipitoisuus mitattiin Teledyne T400 -otsonianalysaattorilla. Mittaus tehtiin puhaltimen nopeudella 3.

Edellä mainittua läpivirtausmenetelmää käytettiin myös mittaamaan Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaitteen kykyä eliminoida elinkykyiset mikrobit ilmavirrasta, joka kulkee laitteen läpi yhden kerran. Mikrobeja lisättiin ilmavirtaan samalla tavalla kuin testihuoneessa nebulisaattoria käyttäen ja mikrobien lukumäärä määritettiin laitteen sisäänmeno- ja ulostuloilmasta.

3. Tulokset

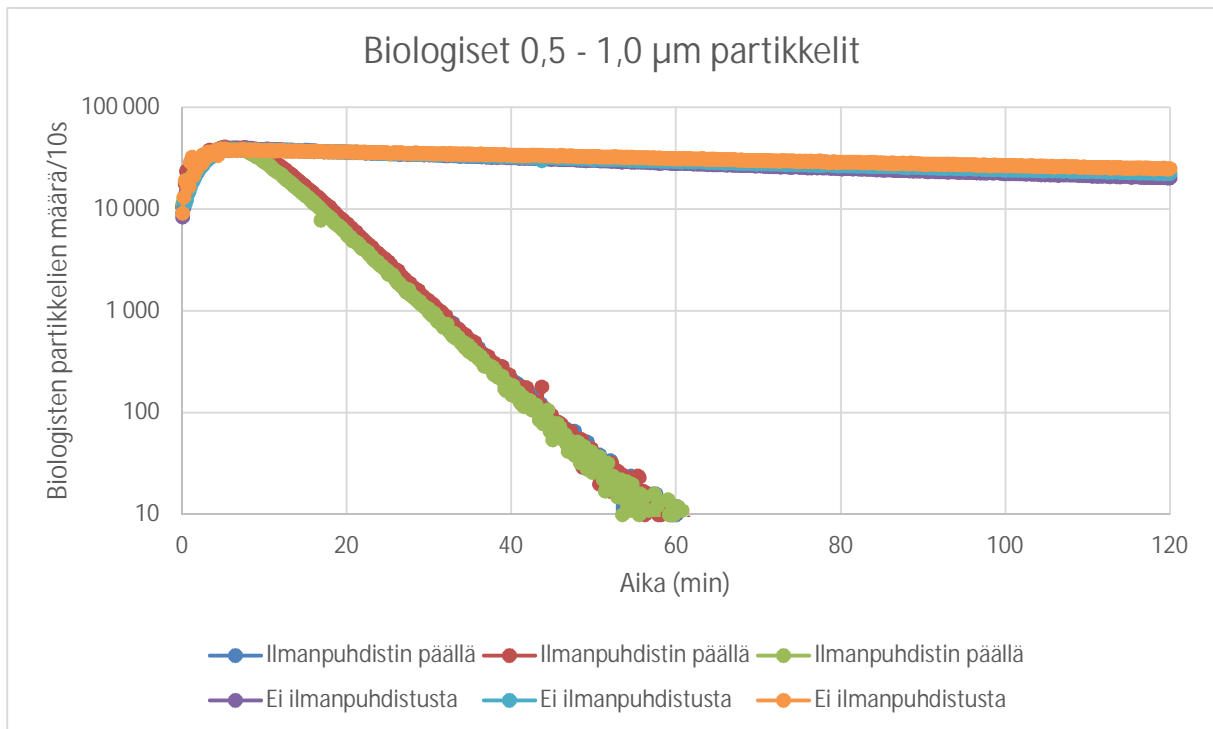
Ilmassa olevien mikrobin määrää ajan funktiona verrattiin tilanteissa, joissa ilmanpuhdistin oli päällä ja pois päältä. Testissä käytettiin laitteen puhaltimen nopeutta 3. Ilmavirta nopeudella 3 mitattiin ja se oli 283 m³/h. Biologisten partikkelien lukumäärä on esitetty kuvissa 3–4. Elinkykyisten mikrobin lukumäärien keskiarvot (pesäkettä tai plakkia muodostavaa yksikköä 100 litrassa ilmaa) on esitetty kuvissa 5–7. Kuvien tulokset perustuvat kolmen rinnakkaisen kokeen tuloksiin. Tässä tutkimuksessa määrittäjä MS2-viruksille, *B. atrophaeus* -itiöille, *S. simulans* -bakteerisoluille ja *A. niger* -homeitiöille oli 10 pmy/100 l ilmaa.

Biovigilant-partikkelilaskurilla mitattujen 0,5–1,0 µm ja 1,0–3,0 µm -kokoisten biologisten partikkelien lukumäärä on esitetty kuvissa 10 ja 11. Ilmanpuhdistimen ollessa päällä 0,5–1,0 µm ja 1,0–3,0 µm -kokoisten biologisten partikkelien määrä ilmassa laski lähelle nollaa kaikissa rinnakkaisissa kokeissa vastaavasti ensimmäisten 60 ja 50 min aikana. Kontrollitilanteessa, ilman ilmanpuhdistusta, partikkelien määrä laski vain hieman koko 120 min testijakson aikana.

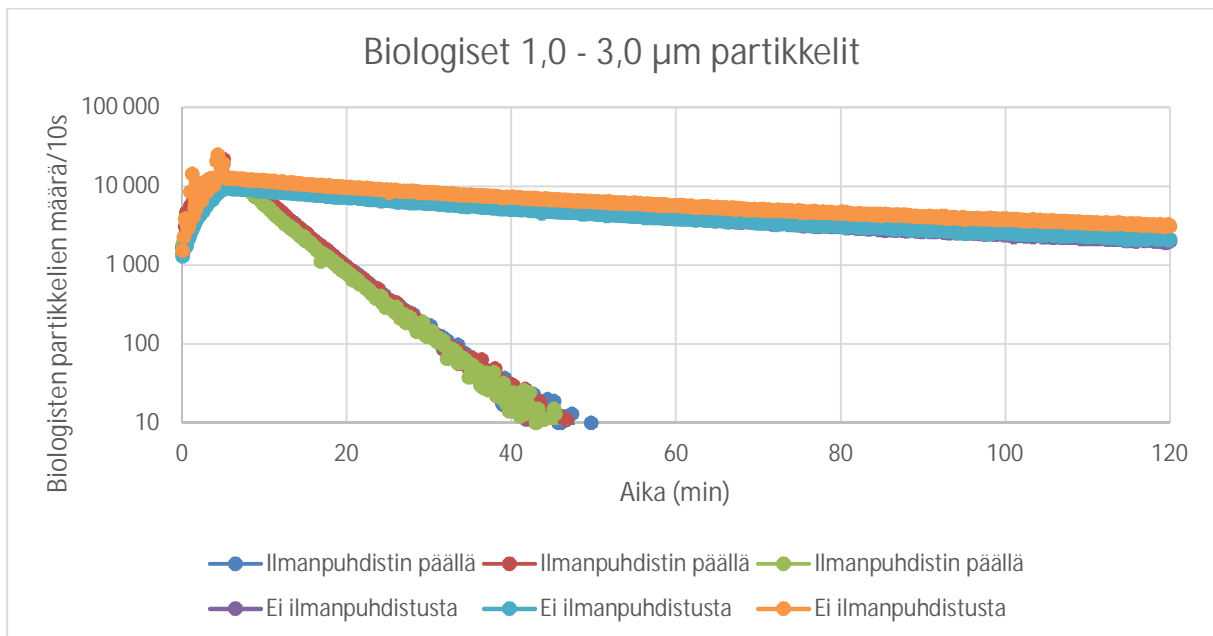
Elinkykyisten mikrobin lukumäärien keskiarvot (pesäkettä tai plakkia muodostavaa yksikköä 100 litrassa ilmaa) kolmesta rinnakkaisesta kokeesta on esitetty kuvissa 5–7. Ilmanpuhdistimen ollessa päällä elinkykyisten mikrobin määrä väheni merkittävästi verrattuna testitilanteeseen ilman ilmanpuhdistusta.

MS2-virusten ja *B. atrophaeus* bakteeri-itiöiden määrät vähenivät nopeasti ilmanpuhdistimen ollessa päällä ja olivat vastaavasti alle määrittäjäajan 30 ja 60 minuutin näytteenoton jälkeen. Ilmanpuhdistuksen puuttuessa (kontrolli) *B. atrophaeus* -itiöitä ja MS2-viruksia havaittiin vielä testijakson lopussa (120 min). Kun ilmanpuhdistin oli päällä, 30 min näytteenottopisteessä havaittiin 3,11 Log pmy/100 l ilmaa (99,92 %) vähenemä kontrolliin verrattuna. *B. atrophaeus* -itiöiden määrä oli laskenut 60 min näytteenottopisteessä 3,64 Log pmy/100 l ilmaa (99,977 %) kontrolliin verrattuna (taulukko 1).

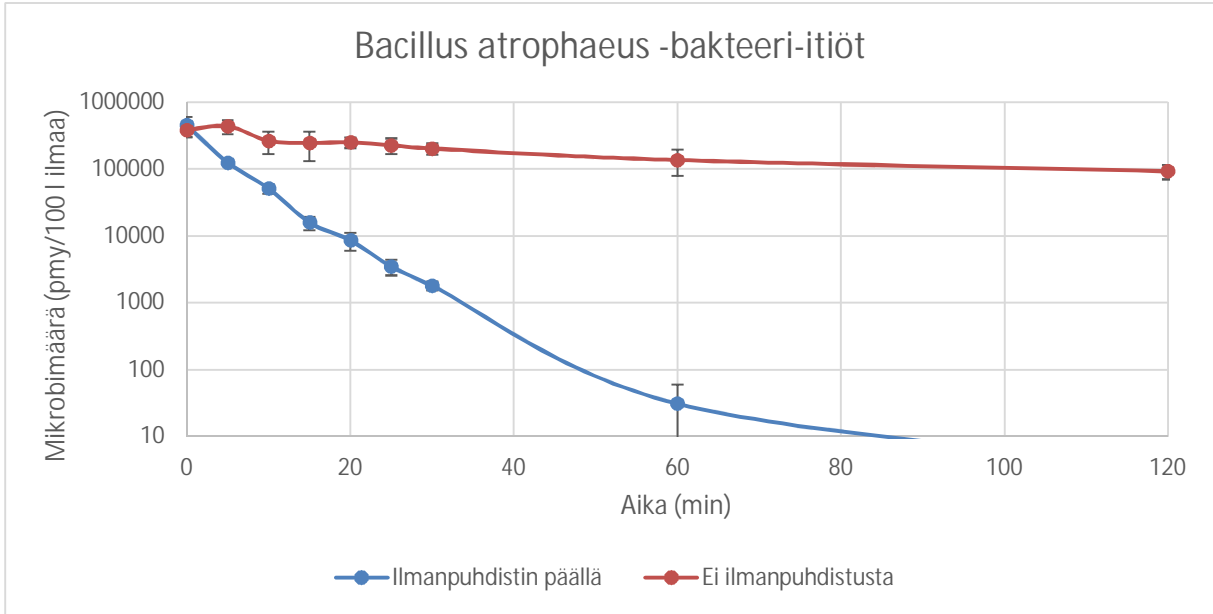
A. niger -homeitiöiden määrä laski alle määrittäjäajan 15 min näytteenoton jälkeen. Kontrolliasetelmassa *A. niger* -homeitiöitä ei havaittu perinteisillä viljelymenetelmillä 60 min näytteenottopisteeseen jälkeen. 15 min näytteenottopisteessä *A. niger* -homeitiöiden määrä oli vähentynyt 1,12 Log pmy/100 l ilmaa (92,5 %) verrattuna kontrolliin ilman ilmanpuhdistusta. Ilmanpuhdistuksen ollessa päällä *S. simulans* -bakteereja havaittiin vain satunnaisissa näytteenottopisteissä (0 ja 10 min, tuloksia ei esitetty). Tämä johtui siitä, että *B. atrophaeus* -itiöiden pitoisuus oli huomattavasti suurempi ja peitti *S. simulans* -bakteerin kasvun. Yleisesti ottaen bakteerien itiöt ovat vastustuskykyisempiä kuin kasvuvaiheessa olevat solut, joten todennäköisesti myös *S. simulans* -solut eliminoituivat ilmasta nopeammin kuin *Bacillus*-itiöt.



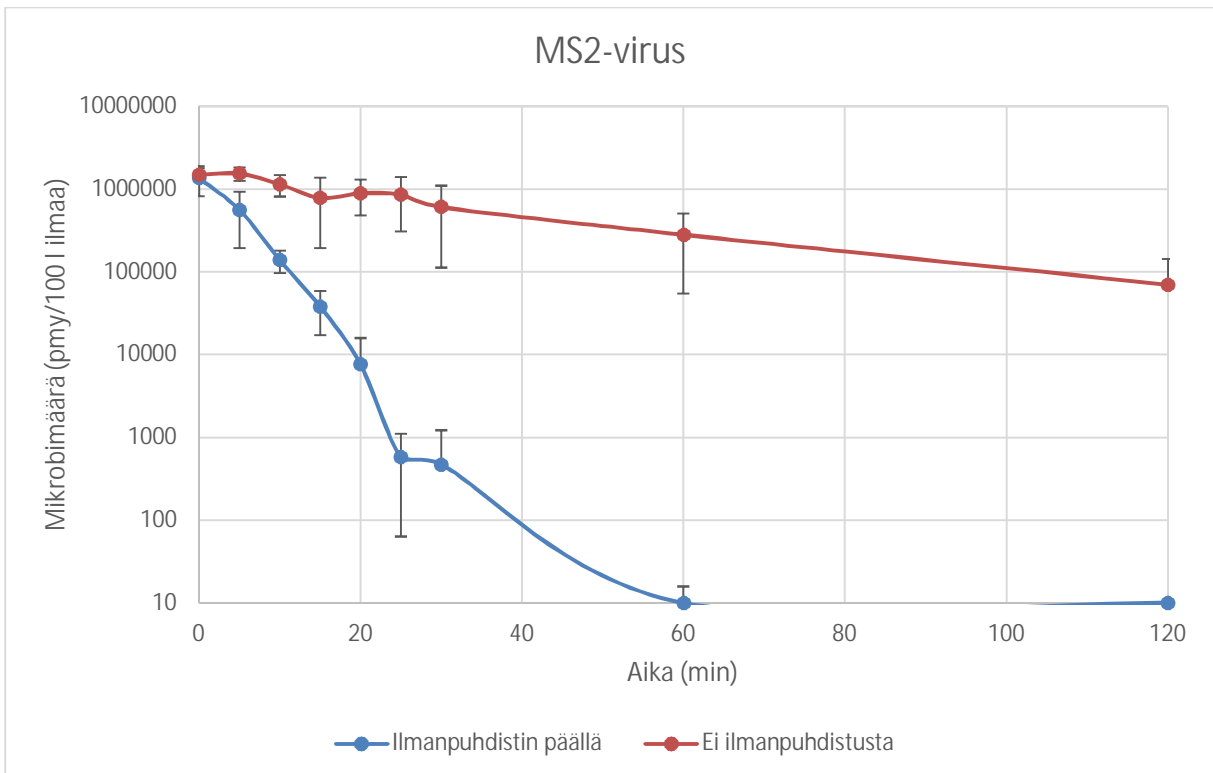
Kuva 3. 0,5–1,0 µm -kokoisten biologisten partikkelien määrä 10 sekunnissa ilmavirtaa Biovigilant-partikkelilaskurilla mitattuna. Partikkelilaskija kerää 1,14 l ilmaa minuutissa, joten 10 sekuntia vastaa 0,19 l ilmanottoa. Kolme rinnakkaisita testiajota on piirretty erillisinä käyriä.



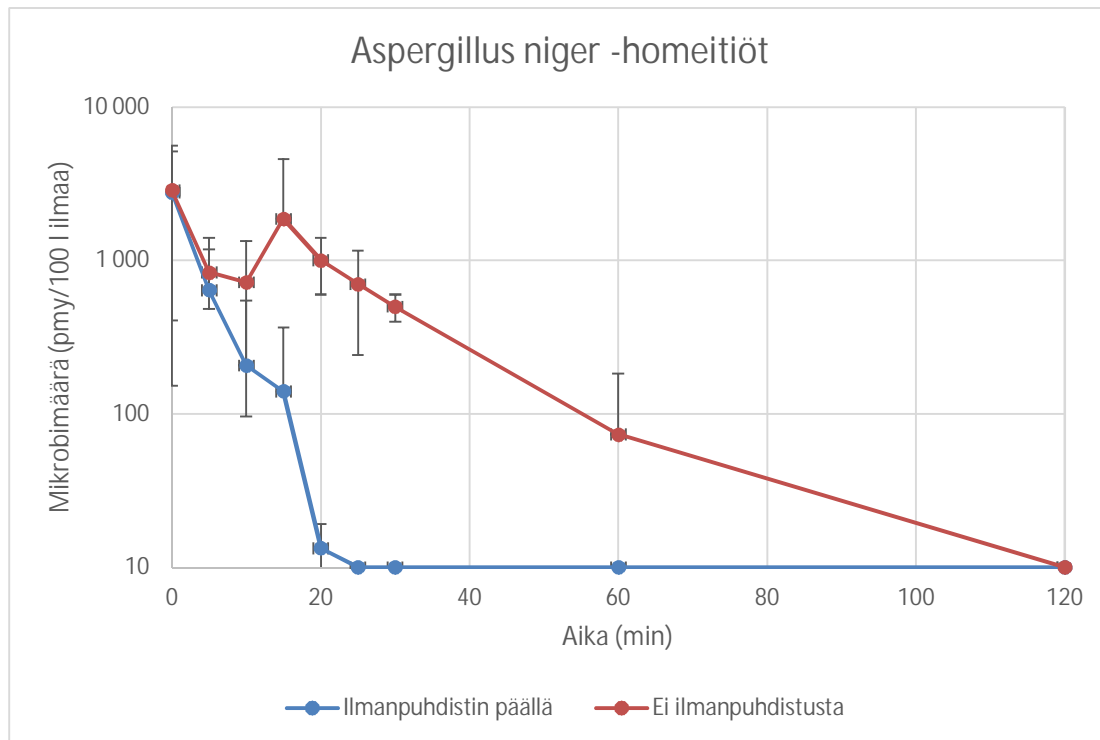
Kuva 4. 1,0–3,0 µm -kokoisten biologisten partikkelien määrä 10 sekunnissa ilmavirtaa Biovigilant-partikkelilaskurilla mitattuna. Partikkelilaskija kerää 1,14 l ilmaa minuutissa, joten 10 sekuntia vastaa 0,19 l ilmanottoa. Kolme rinnakkaisita testiajota on piirretty erillisinä käyriä.



Kuva 5. *Bacillus atrophaeus* -bakteeri-itiöiden määrä 100 litrassa ilmaa ilmanpuhdistimen ollessa päällä ja pois päältä (kontrolli) ajan funktiona. Kuvaajassa on esitetty kolmen rinnakkaisen mittauksen keskiarvot ja keskihajonnat.



Kuva 6. MS2-virusten määrä 100 litrassa ilmaa ilmanpuhdistimen ollessa päällä ja pois päältä (kontrolli) ajan funktiona. Kuvaajassa on esitetty kolmen rinnakkaisen mittauksen keskiarvot ja keskihajonnat.



Kuva 7. *Aspergillus niger* -homeitiöiden määrä 100 litrassa ilmaa ilmanpuhdistimen ollessa päällä ja pois päältä (kontrolli) ajan funktiona. Kuvaajassa on esitetty kolmen rinnakkaisen mittauksen keskiarvot ja keskihajonnat.

Taulukko 1. *Bacillus atrophaeus* -itiöt 30 m³:n testihuoneessa ilmanpuhdistuksen ollessa päällä ja pois päältä. Bakteeri-itiöiden määrän vähentyminen ilmanpuhdistuksen ollessa päällä on laskettu logaritmiyksiköinä ja prosentteina.

<i>Bacillus atrophaeus</i>						
Elinkykyiset mikrobit (pmy/100 l)			Keskihajonta		Itiöiden väheneminen ilmanpuhdistuksen ollessa päällä	
Aika-piste (min)	Ilmanpuhdistin päällä	Ei ilmanpuhdistusta	Ilmanpuhdistin päällä	Ei ilmanpuhdistusta	log pmy/100 l	%
0	450 000	385 000	150 000	88 000	-0,07	-17
5	130 000	430 000	9 000	100 000	0,54	71
10	51 000	260 000	8 300	98 000	0,71	81
15	16 000	250 000	3 600	110 000	1,19	93,5
20	8 600	250 000	2 500	46 000	1,47	96,6
25	3 500	230 000	900	59 000	1,82	98,5
30	1 800	200 000	260	38 000	2,05	99,11
60	31	140 000	29	57 000	3,64	99,977
120	< 10	92 000	6	22 000	>3,96	>99,989

Läpivirtauskokeessa elinkykyisinä säilyneiden mikrobien määrä on esitetty taulukossa 2. Homeitiöiden taso ei ollut riittävän korkea yli 92,5 % vähenemän havaitsemiseksi. Läpivirtauskokeen tulosten perusteella Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaite eliminoi 2,72 logaritmiyksikköä (99,81 %) *Bacillus*-itiöistä ja 3,73 logaritmiyksikköä (99,981 %) MS2-viruksista ilmasta, joka virtasi laitteen läpi yhden kerran.

Taulukko 2. Läpivirtauskokeen mikrobimäärät.

Mikrobi	Ennen ilmanpuhdistusta		Ilmanpuhdistuksen jälkeen		Tehokkuus; vähenemä ilmavirtauskokeessa	
	pmy/100 l	keskihajonta	pmy/100 l	keskihajonta	log pmy/100 l	%
<i>A. niger</i> -home	130	58	<10	0	>1,12	>92,5
<i>B.atrophaeus</i> -itiöt	73 000	29 000	140	20	2,72	99,81
MS2-virus	960 000	900 000	180	44	3,73	99,981

Otsonintuotto mitattiin puhaltimen nopeudella 3 (taulukko 3).

Taulukko 3. Ilmanpuhdistuslaitteen otsonin tuotto.

Laite	OTSONIN TUOTTO	
	[ppb]	[ppm]
Gree GCC300ASNB	18	0,018

4. Johtopäätökset

Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistuslaitteen tehoa mikrobien poistamiseksi ilmasta tutkittiin koeasetelmassa, jossa suljetun tilan ilma saastutettiin bakteereja (sekä kasvuvaiheessa olevia soluja että itiöitä), homeita ja viruksia sisältävällä mikrobiaerosolilla. Mikrobeja ei lisätty kokeen aikana, jolloin ilmassa olevat mikrobit myös inaktivoituivat luonnollisesti kokeen edetessä. Kasvullisia *Staphylococcus simulans* -bakteerisoluja ei voitu havaita hyvin, sillä niiden määrä laski nopeasti lähelle määritysrajaa tai sen alapuolelle myös kontrollinäytteissä. Bakteeri-itiöt sen sijaan säilyivät elinkykyisinä ilmassa, kun ilmanpuhdistuslaite oli pois käytöstä. Ensimmäisen tunnin aikana laite vähensi bakteeri-itiöiden tasoa yli 3,64 logaritmiyksikköä (99,977 %) ja samassa ajassa homeitiöiden ja virusten määrä laski alle määritysrajan (10 pmy/100 l). Läpivirtauskokeessa MS2-virusten määrä laski 3,73 logaritmiyksikköä, *Bacillus*-itiöiden määrä 2,72 logaritmiyksikköä ja *A. niger* -homeitiöiden määrä yli 1,12 logaritmiyksikköä.

Tässä tutkimuksessa muodostettiin sumuttimella ilmaan vahva mikrobisuspensio korkean mikrobitason varmistamiseksi. Normaaleissa olosuhteissa näin korkeita mikrobipitoisuuksia ei esiinny ilmassa. Kasvuvaiheessa olevat mikrobisolut – toisin kuin itiöt – selviytyvät huonosti ilmassa. Tässä tutkimuksessa havaittiin myös mikrobien määrän vähenemistä tilanteessa, jossa ilmanpuhdistuslaite oli pois päältä. Tutkimuksessa huoneeseen ei lisätty uusia mikrobeja. Todellisessa elämässä sekä ihmiset että ilmavirta liikuttavat mikrobeja ympäriinsä ja vaikuttavat siihen, kuinka kauan mikrobit säilyvät ilmassa.

Gree GCC300ASNB -ilmanpuhdistimen tuottama ilmavirta oli 283 m³/h suurimmalla puhallinnopeudellaan (nopeus 3). Otsonin tuotto oli 18 ppb. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvot otsonille ovat Suomessa 200 ppb (15 min) ja 50 ppb (8 h).