

TIIVISTELMÄRAPORTTI

ILMANVARAISTEN MIKROBIOLOGISTEN UHKIEN HAVAITSEMINEN AEROSOLEISTA

Antti Hyvärinen (email: antti.hyvarinen@fmi.fi), Ilmatieteen laitos
Nina Atanasova ja Dennis Bamford, Helsingin yliopisto

1. Johdanto

Hanke keskittyi tutkimukseen, jolla luodaan valmiuksia ilmakehässä leviävien mikrobiologisten uhkien havaitsemiseen ja tehokkaaseen tunnistamiseen. Suuri osa biologisissa aseissa käytetyistä mikrobeista leviää ilmassa aerosoleina ja tarttuu ihmiseen hengityselimistön välityksellä. Aerosoliantistutus on olennainen uhka ympäristöissä, joissa väentiheys on suuri. Esimerkiksi SARS-CoV-2 viruksen aiheuttama pandemia levisi nopeasti mm. ilmakehän välityksellä ihmisten välillä ja on esimerkki viruksesta, jolla esiintyy geneettistä muuntelua.

Mikrobiologisten hiukkasten tunnistaminen ilmakehästä on haastavaa, koska (a) Mikrobin ilmapiitoisuudet ovat tavallisesti hyvin alhaisia, ja (b) kvantitatiiviset ja nopeavasteiset tekniikat yleistyvät hitaasti (Tesson et al., 2016). Edellä mainittuihin haasteisiin voidaan vastata mm. aerosoliteknisillä mittausten menetelmillä, joita tosin on hyödynnetty tässä kontekstissa melko vähän (Wolf et al. 2015 & 2017). Tutkimuksessa selvitettiin, millaisia havaintoja mikrobiologisista hiukkasista kyetään tekemään moniulotteisilla mikrobiologian ja aerosolifysiikan havainto- ja analyysimenetelmillä erilaisissa, Suomelle tyypillisissä ympäristöissä.

2. Tutkimusmenetelmät ja toteutus

2.1 Menetelmät

Hankkeessa käytettiin mikrobin tunnistusta varten erilaisia molekyylibiologian menetelmiä, kuten qPCR-teknologiaa sekä DNA:n ja RNA:n sekvensointia. Elinkykyisten biologisten aerosolien kerääminen ja keräyssaannon optimointi on oleellinen osa määritysketjua. Keräyksen optimointiin testattiin erilaisia menetelmiä, mukaan lukien "open face"- filttikeräimet, Andersen- keräimet, kaskadi-impaktorit, nestepohjaiset biosamplerit ja BioSpot- prototyypikeräin.

Aerosolifysiikan menetelmistä käytettiin aerosolien kokojakaumaa mittaavia laitteita kokovälillä 10 nm – 20 µm kuten DMPS (Differential Mobility Particle Sizer) ja APS (Aerodynamic Particle Sizer). Biologisten aerosolien kokojakaumaa välillä 0.5 - 30 µm mitattiin WIBS (Wideband Integrated Bioaerosol Sensor)- laitteella. Lisäksi käytössä oli aerosolimassaspektrometri (AMS), joka kykenee määrittämään aerosolihiukkasten kemiallisen koostumuksen.

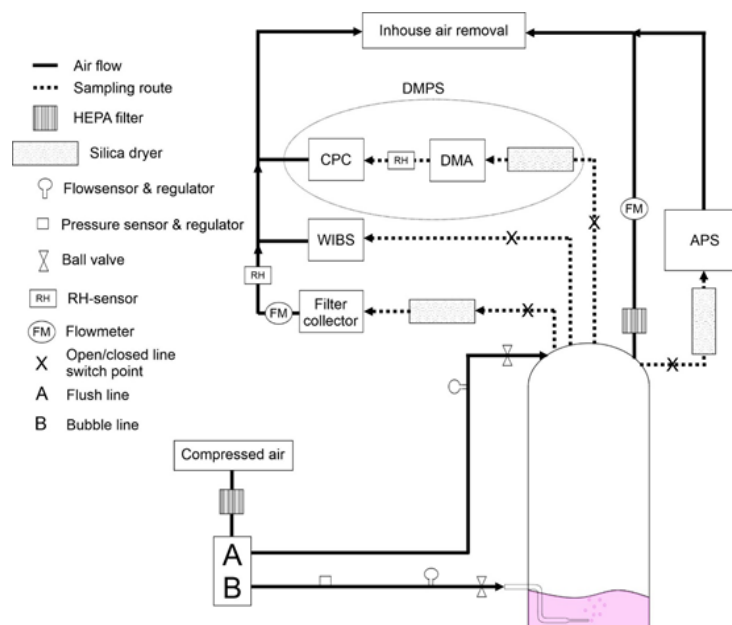
2.2 Toteutus

Edellä mainittuja menetelmiä käytettiin kahdessa erityyppisessä tutkimusympäristössä: laboratorio- kokeissa ja kenttäkokeissa.

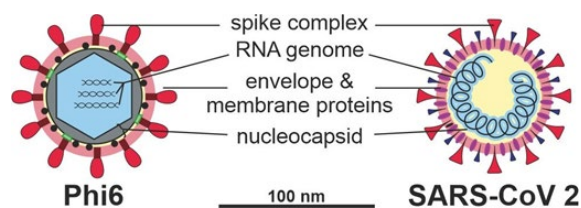
Postiosoite	Käyntiosoite	Puhelin	s-posti, internet
Postadress	Besöksadress	Telefon	e-post, internet
Postal Address	Office	Telephone	e-mail, internet
MATINE/Puolustusministeriö	Eteläinen Makasiinikatu 8 A	Vaihe 295 160 01	matine@defmin.fi
PL 31	00130 Helsinki		www.defmin.fi/matine
FI-00131 Helsinki	Finland		
Finland			

2.1 Laboratoriokokeet

Laboratoriokokeissa hyödynnettiin lasista bioaerosolikammiota (kuva 1), jolla voidaan simuloida vedestä vapautuvia biologisia aerosoleja (*Sofieva et al., valmisteilla*). Näin voidaan tutkia, miten aerosoleina leviävät mikrobit säilyvät elinkykyisinä vesi-ilma-rajapinnalla, ja kuinka suuria määriä mikrobeja vapautuu aerosoleina ilmaan. Laitteisto koottiin Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisen tiedekunnan BSL-3 turvalaboratorioon, ja yhteistyö mahdollisti kokeet suunnitellun Phi6 -viruksen lisäksi myös SARS-CoV-2 -viruksella. Nämä kaksi virusta muistuttavat rakenteellisesti hyvin paljon toisiaan (kuva 2), joten vaaratonta Phi6 -virusta voidaan käyttää surrogaattina tilanteissa, joissa halutaan simuloida SARS-CoV-2:n leviämistä.



Kuva 1. Laboratoriossa käytetty laitteisto mikrobeja sisältävän liuoksen aerosolisointiin ja aerosolien ominaisuuksien mittaamiseen



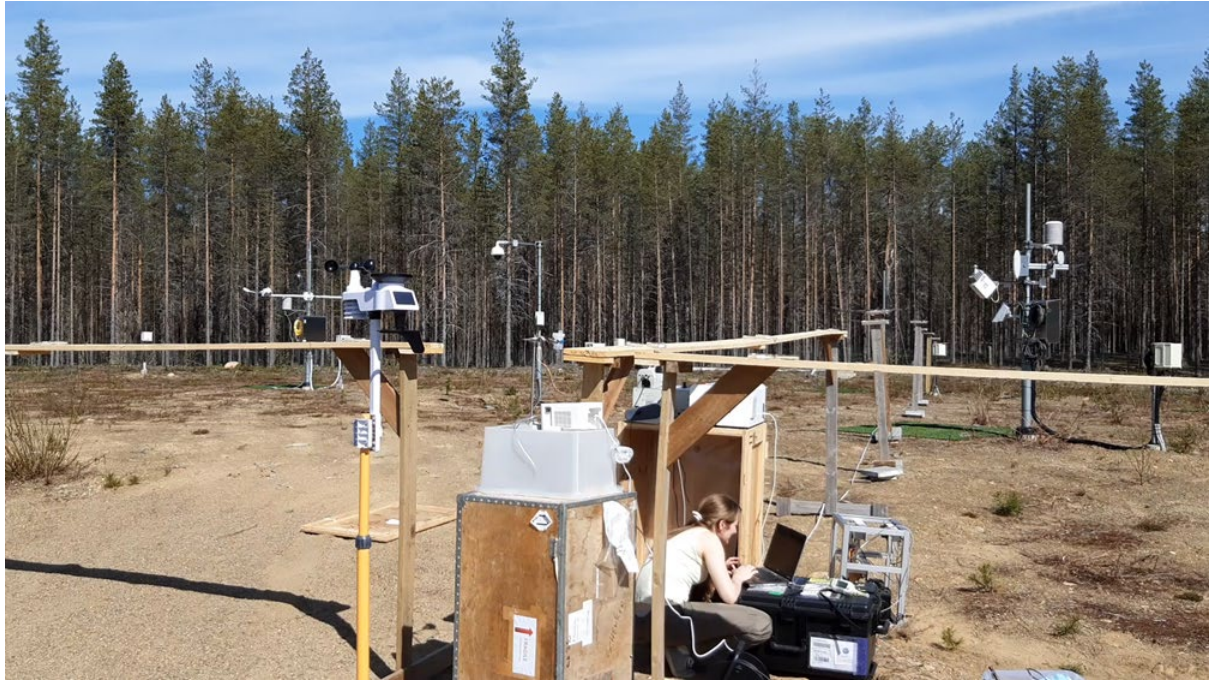
Kuva 2. Havainnekuva tutkituista viruksista Phi6 ja SARS-CoV-2.

2.2 Kenttämittaukset

2.2.1 Kontrolloitu kenttäkoe

Kontrolloidut kenttäkokeet suoritettiin touko-kesäkuussa 2021 maaperän tutkimuskeskus Soiliassa ja Sodankylän arktisessa avaruuskeskuksessa. Tutkimusasetelma kehiteltiin ensin Soiliassa, jonka jälkeen se siirrettiin Sodankylään ja skaalattiin suuremmaksi. Lopullinen asetelma

(kuva 3) koostui tuulen suuntaan suunnatusta 75 m pitkstä mittausrivistöstä ja siitä molemmille puolille 90° kääntyvistä sivuriveistä (10 m). Mittausrivistön 0-pisteestä aerosolisoiitiin Phi6 -virusta, jota kerättiin rivistöön aseteltujen agarmaljojen, filtertikeräinten ja Biosampler-nestekeräinten avulla.



Kuva 3. Sodankylän kontrolloidun kenttäkokeen tutkimusasetelma.

Ulkoilmassa leviämisen lisäksi Sodankylässä tutkittiin auringon UV:n vaikutusta sen selviämiseen pinnalla ja aerosolissa. UV:n vaikutuksia ilmanvaraiseen leviämiseen tutkittiin suorittamalla kenttäkokeita eri päivänaikaan, jolloin virus altistui erilaisille UV-säteilyn määrille. Vaikutusta pinnalla selviämiseen tutkittiin kuivaamalla virusta petrimaljalle ja altistamalla se joko auringon tai UV-lampun säteilylle. Näytteistä tarkistettiin sekä viruksen viabiliteetti, että mahdolliset muutokset perimässä.

2.2.2 Aerosolimassaspektrometrin historiadata

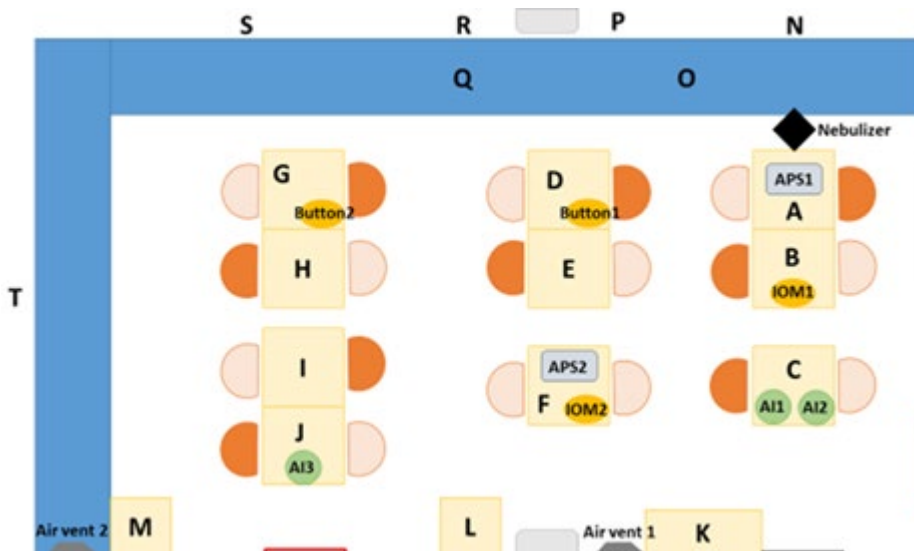
Hankkeessa hyödynnettiin aiemmin tehtyjä aerosolimassaspektrometrimittauksia erilaisissa ympäristöissä Helsingissä (kuva 4). Mittaukset tehtiin vuosina 2008–2019 ja mittaustaikoina olivat kaupunkitausta-, katukuilu, kaupunkikeskusta- ja pientaloalue. Näistä datoista etsittiin biologisille hiukkasille tyypillisiä fragmentteja.



Kuva 4. Kolme AMS historiadatan mittausasemista.

2.2.3 Ravintolakoe

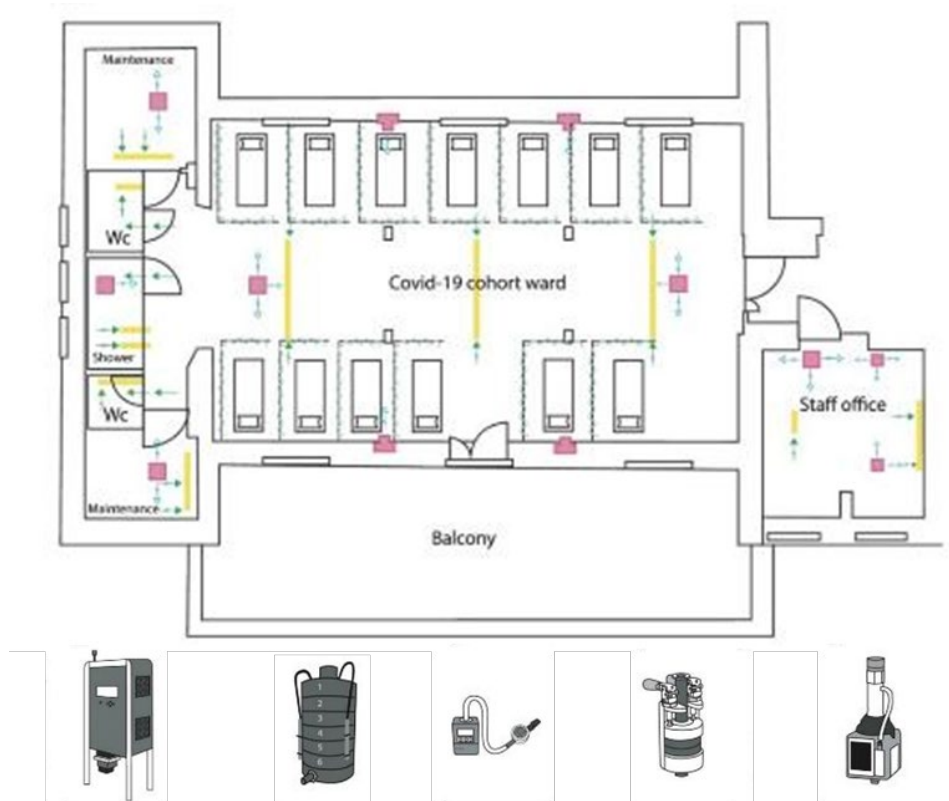
Ravintolakokeet suoritettiin Ultima- ravintolassa (kuva 5) Helsingissä lokakuun 2020 ja tammikuun 2021 välisenä aikana yhteistyössä Työterveyslaitoksen (TTL) ja Helsingin yliopistollisen sairaalan (HUS) kanssa. Kokeissa aerosolisoiitiin Phi6 liuosta ultraäänisumuttimella ravintolatilaan. Tilassa mitattiin hiukkasten kokojakaamaa, ja kerättiin virusaerosolia aktiivisilla ilmakeräimillä sekä laskeumanäytteisiin. Näistä näytteistä analysoitiin infektiivisen Phi6 -viruksen määrät.



Kuva 5. Pohjapiirros Ultima- ravintolan kokeista. Nebulizer: ultraäänisumutin. APS: aerodynamic particle sizer. AI, IOM, Button: ilmakeräimiä. Kirjaimet viittaavat laskeumanäytteiden keräyspisteisiin.

2.2.4 Sairaalakoe

Sairaalakokeet suoritettiin Helsingin kirurgisessa sairaalassa heinäkuun 2020 ja maaliskuun 2021 välisenä aikana yhteistyössä HUS:n ja TTL:n kanssa. Kokeissa kerättiin ilma-, laskeuma- ja pintanäytteitä korona- kohortissa (kuva 6). Yhteensä kerättiin 259 ilmanäytettä ja 252 pinta- näytettä, mikä on muuhun kirjallisuuteen verrattuna suuri näytemäärä. Näytteille suoritettiin RT-PCR ja virusviljelyanalyysit SARS-CoV-2:n tunnistamiseksi.



Kuva 6. Pohjapiirros Kirurgisen sairaalan korona- kohortista ja käytetyistä ilmanäytekeräimistä. Keräimet vasemmalta oikealle: Biospot- keräin, Andersen- keräin, Button-keräin, kaskadi-impaktori, Dekati Oy:n eFilter.

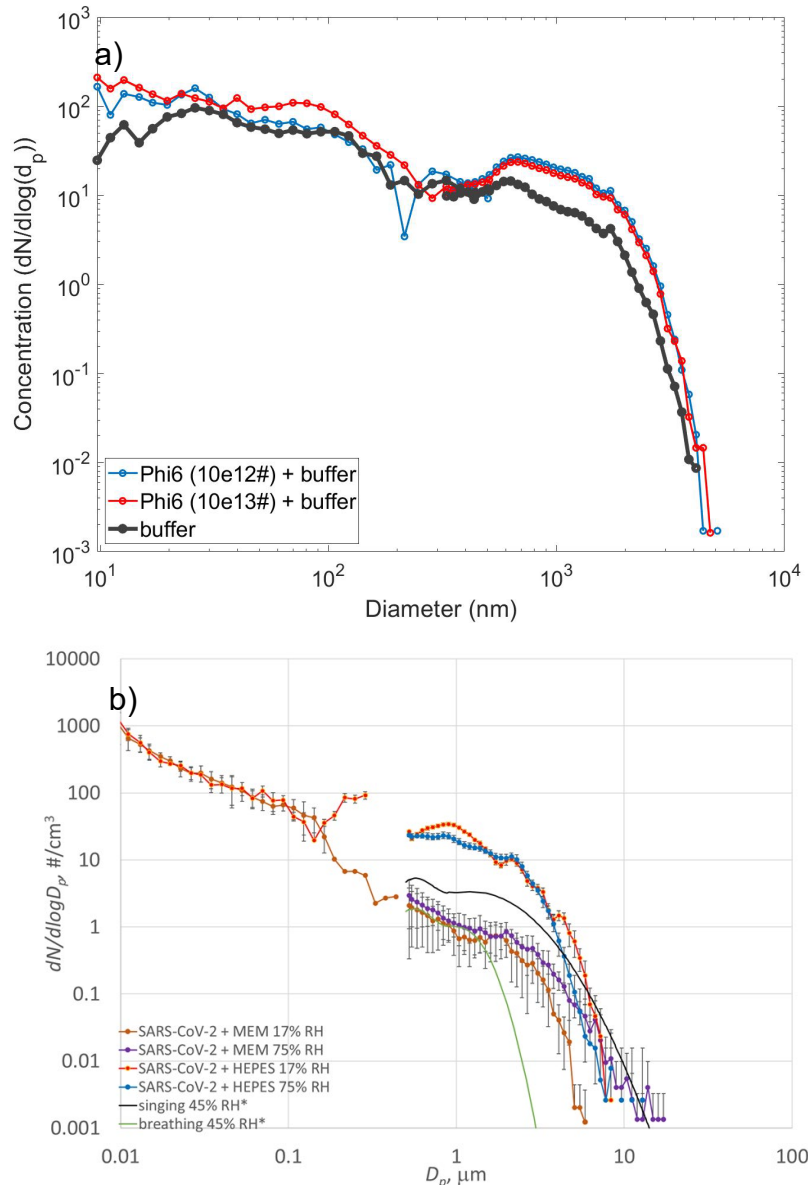
3. Tutkimuksen tulokset

3.1 Laboratoriokokeet

Laboratoriossa mitattiin Phi6:ta ja SARS-CoV-2:ta sisältävien liuosten kuplituksesta syntyvien aerosolien ominaisuuksia. Kokeissa myös varioitiin erilaisia muuttujia kuten liuoksen viruspitoisuutta, kuplituksen voimakkuutta ja näyteilman suhteellista kosteutta.

Aerosolikokojakaumamittausten perusteella (kuva 7) voidaan todeta, että tutkitut virukset eivät erotu muista aerosolisoiduista hiukkasista, vaan ovat todennäköisesti sisäisesti sekoittuneita muuhun hiukkaspopulaatioon. Tämä myös implikoi, että hiukkasten ominaisuudet seuraavat voimakkaasti puskuriliuoksesta aiheutuvia ominaisuuksia. Mitatut aerosolikokojakaumat ja pitoisuudet olivat hyvin samankaltaisia kuin hengittämisestä ja laulamisesta kirjallisuudessa esi-

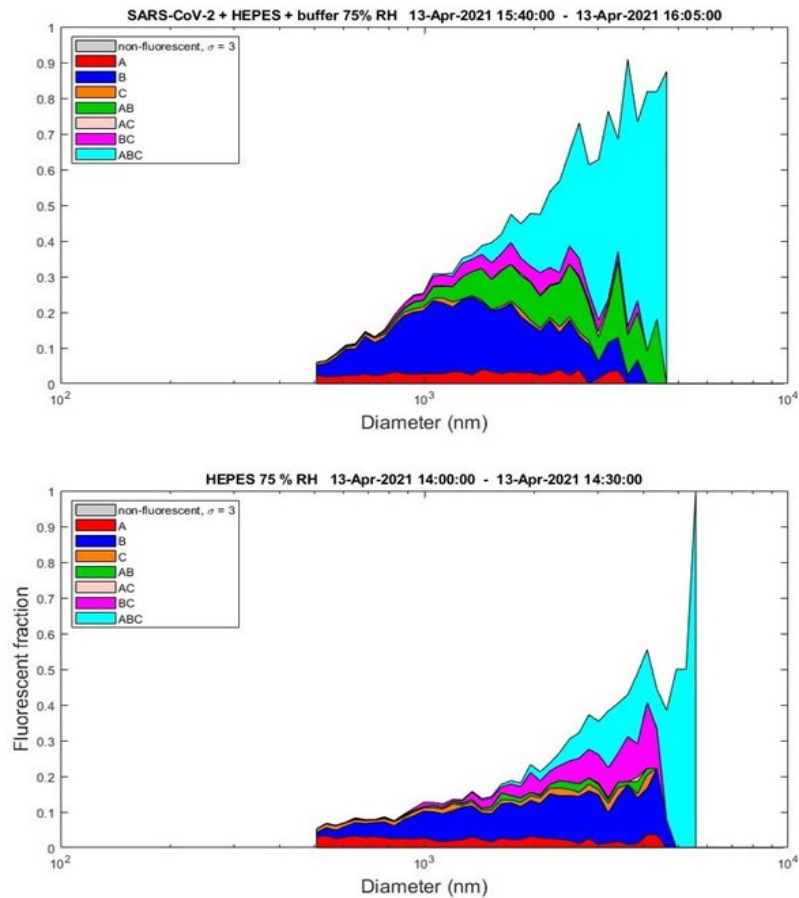
tetyt (Gregson et al. 2021).



Kuva 7. a) Bioaerosolikammiolla tuotetun aerosolin kokojakauma Phi6 + puskuriliuokselle (K-phosphate + MgCl) ja b) SARS-CoV-2 + puskuriliuokselle (MEM, HEPES).

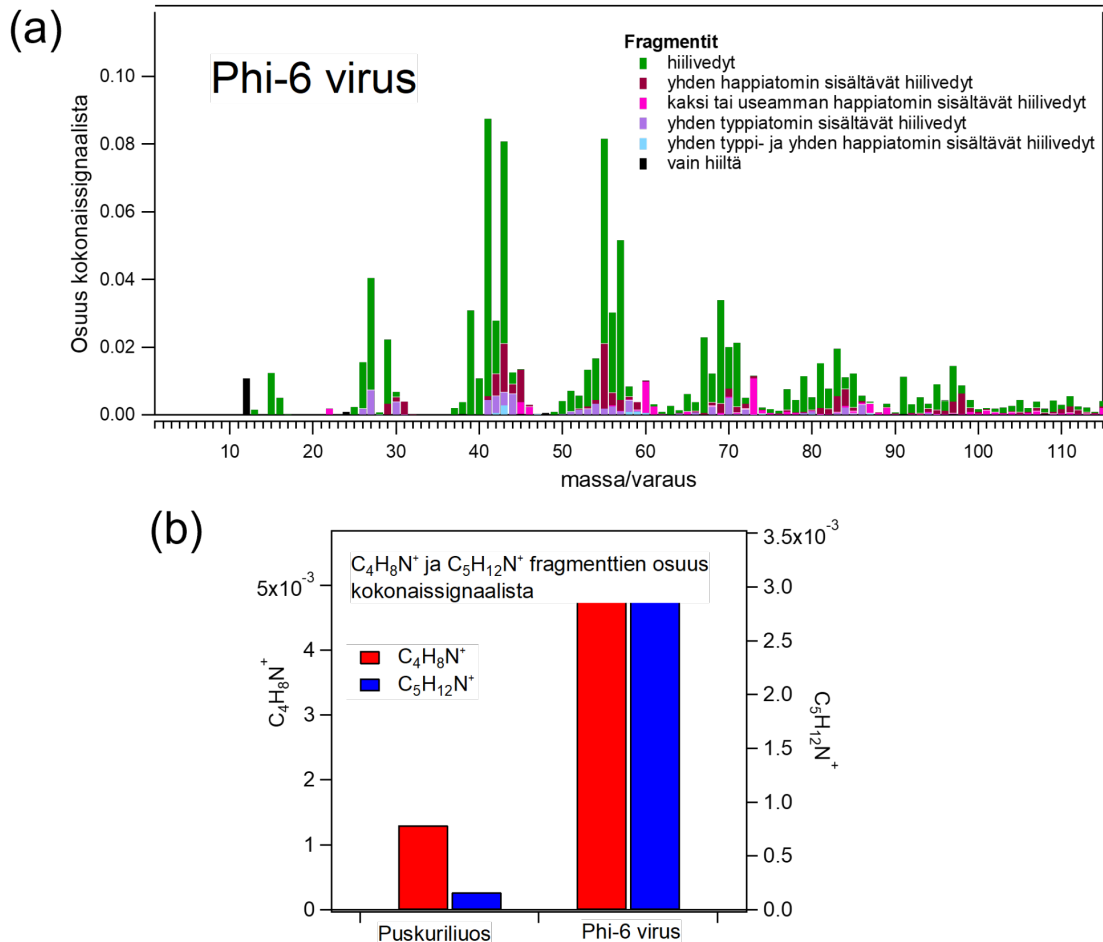
*) Laulamisesta ja hengittämisestä syntyvien aerosolien kokojakauma (Gregson et al. 2021).

Bioaerosolikokojakaumaa mittaavan WIBS- laitteen mittauksista erottui viruksista aiheutuva signaali sekä Phi6:n että SARS-CoV-2:n tapauksessa. Mittausten perusteella esim. SARS-CoV-2 virus havaittiin n. 1-3 μm:n hiukkasissa (kuva 8). Yli 5 μm:n hiukkasissa ei näy enää biologista materiaalia (Hyvärinen et al, valmisteilla).



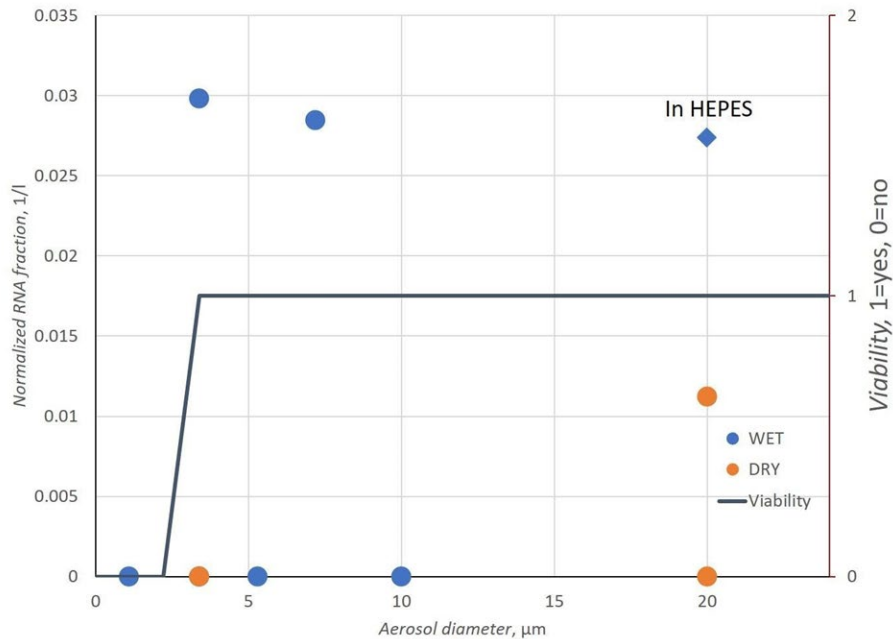
Kuva 8. WIBS mittaus SARS-CoV-2 + HEPES puskuriliuoksesta ja pelkästä HEPES- puskuriliuoksesta. Viruksia sisältävät hiukkaset erottuvat etenkin laitteen mittauskanavissa B ja AB.

Phi6 virukselle mitattu massaspektri on esitetty kuvassa 9a. Siitä voidaan nähdä, että Phi6 virusta sisältävät hiukkaset koostuvat lähinnä hiilivetyfragmenteista (merkitty vihreällä) (Saarikoski et al. valmisteilla). Kuitenkin, kun massaspektriä tutkitaan tarkemmin, huomataan, että noin 7% kokonaissignaalista muodostuu tyyppiä sisältävistä fragmenteista. Näistä fragmenteista korkein signaali on CHN^+ (massa/varausluvulla 27) ja $\text{C}_2\text{H}_6\text{N}^+$ (massa/varausluvulla 44) fragmenteilla, mutta näitä fragmentteja syntyy myös polttoperäisistä prosesseista. Sen takia valitsimme tutkimukseksi tyyppiä sisältäviksi fragmenteiksi $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}^+$ (massa/varausluvulla 70) ja $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}^+$ (massa/varausluvulla 86), joiden on jo aiemmassa tutkimuksessa havaittu olevan spesifisiä biologiselle materiaalille (bakteereille) hiukkasissa (Wolf et al. 2015 & 2017). Kuvasta 9b voidaankin havaita, että $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}^+$ ja $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}^+$ fragmenttien osuus Phi6 hiukkasissa on selvästi suurempi kuin puskuriliuoksesta muodostuneissa hiukkasissa. AMS ei ollut käytettävissä SARS-CoV-2 -mittauksissa.



Kuva 9.a) Massaspektri Phi6 virusaerosolille ja b) $C_4H_8N^+$ ja $C_5H_{12}N^+$ fragmenttien osuudet puskuriliuksesta ja Phi6 viruksesta muodostuneissa aerosoleissa.

Virusia myös kerättiin soluviljelyä ja qPCR- koetta varten. Phi6 -viruksella tehtiin testisarja, jossa varioitiin eri keräysparametreja parhaan metodiikan (saannon) löytämiseksi. Tätä parhaaksi löytynyttä menetelmää (keräys selluloosa-asettafilterille 2 tunnin keräysajalla) hyödynnettiin kokojaotelluissa keräyksissä SARS-CoV-2-aerosolille. Näiden mittausten perusteella SARS-CoV-2:ta sisältävien hiukkasten pitää olla kooltaan n. 2 μm tai suurempia säilyäkseen infektiivisinä (kuva 10) (Hyvärinen *et al.* *valmisteilla*). Tehdyt qPCR- testit puolestaan osoittavat, että jo n. 2 μm leikkausrajalla kootut hiukkaset sisältävät yhtä paljon virusta kuin ilman leikkausrajaa kerätyt hiukkaset; tosin näihin kokeisiin sisältyy tulosten perusteella isoa epävarmuutta.

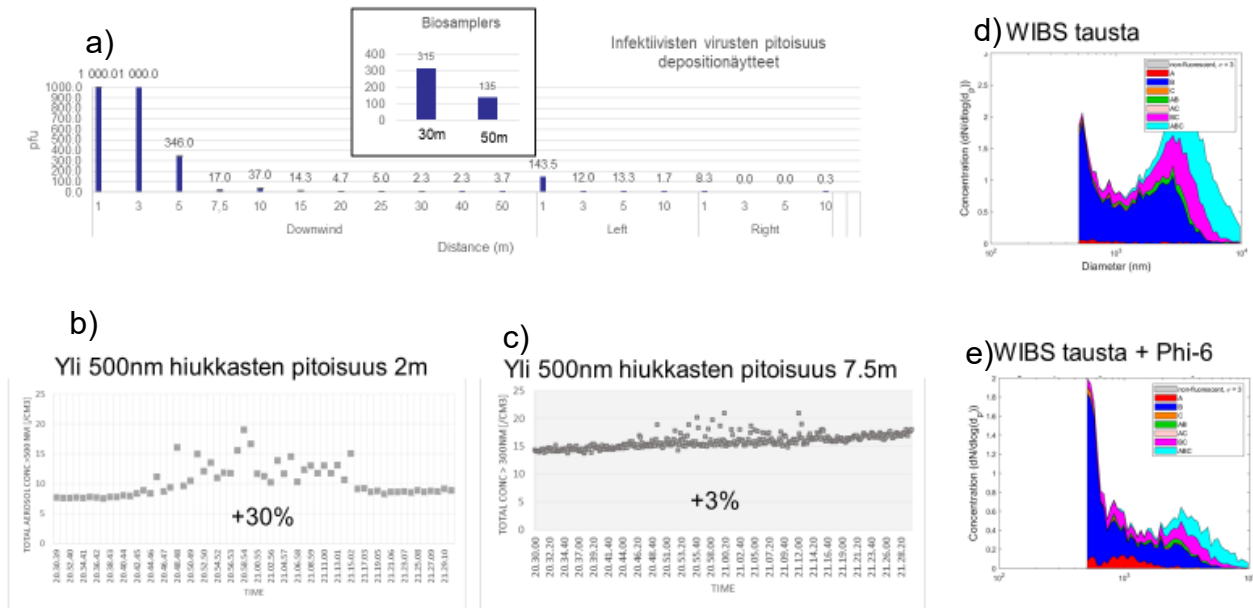


Kuva 10. SARS-CoV-2 keräyksistä analysoidut tulokset virusaerosolin infektiivisyydestä ja RNA- määrästä. Aerosol diameter on kokoraja, jota pienemmät hiukkaset kuhunkin mittaustulokseen kerättiin. WET: RH=75%, DRY: RH=25%.

3.2 Kenttäkokeet

3.2.1 Kontrolloitu kenttäkoe Soiliassa ja Sodankylässä

Kontrolloitujen kenttäkokeiden tärkein löydös oli Phi6 -viruksen kyky levitä ulkona infektiokykyisenä suhteellisen pitkän matkan, jopa 50 m (kuva 11) (Malmgren et al. valmisteilla). Agarmaljoilta löydettiin useassa kokeessa muutamia (1-5) plakkeja jopa 50 m päästä. Plakit olivat hyvin pieniä verrattuna lyhyemmän matkan levinneisiin viruksiin, joka viittaisi niiden kärsineen jonkin verran pitkästä matkasta aerosolissa. Biosampler-nestekeräimillä kerätessä viruksia saatiin kiinni 50 m:stä jopa yli 100. Biosampler-nestekeräinten todettiin olevan ensiluokkaisia elävien virusten keräämiseen ilmasta. Kenttäkokeissa ei havaittu merkittävää eroa viruksen leviämisen ja UV-säteilyn voimakkuuden välillä, mahdollisesti siksi, että Phi6 kestää hyvin UV-säteilyä ja, koska aerosoli ei altistu edes 50 m matkalla kovinkaan suurelle UV-säteilyn määrälle Sodankylän olosuhteissa.

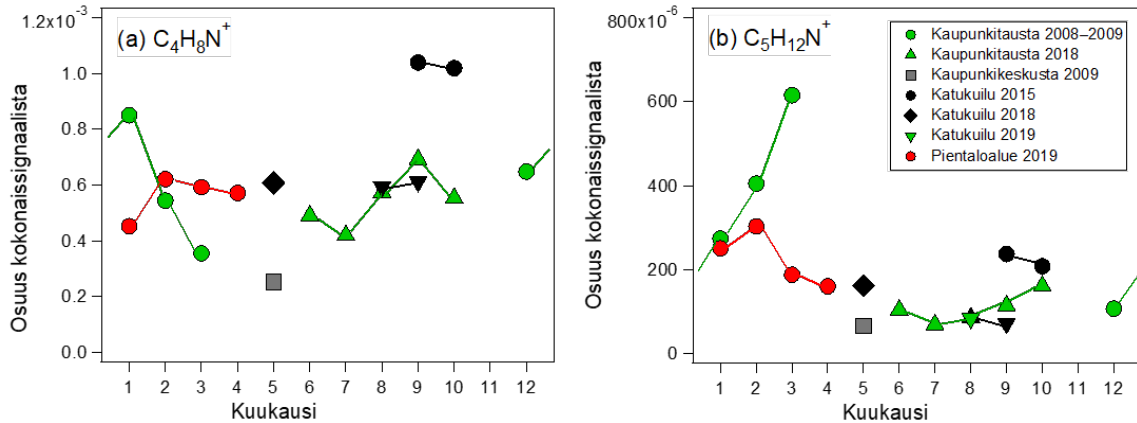


Kuva 11. Kontrolloidut kenttäkokeet. a) Infektiivisten virusten pitoisuus depositionsäyteen ja ilmanäytteistä etäisyyden funktiona. b) ja c) kokonaishiukkaslukumäärän muutos virussumutuksen aikana. d) ja e) WBS mitattu biologisten hiukkasten kokojakauma ennen sumutusta ja sumutuksen aikana.

UV-pintakokeissa huomattiin, että Phi6 vaati noin 4 h, tai $> 15 \text{ J/m}^2$, altistuksen auringon UV-säteilylle ennen kuin merkittävää laskua viruskonsentraatiossa alkoi näkyä. UV-säteilyn perimään aiheuttaman vahingon tutkimus on vielä kesken, mutta alustavasti Phi6:n isäntäbakteerista on löytynyt 3 potentiaalisesti UV-säteilylle altista lokaatiota.

3.2.2 Ulkoilmasta kerätyn aerosolimassaspektrometridatan analyysi

Kirjallisuuden ja Phi6 viruksella tehtyjen laboratorikokeiden perusteella potentiaalisimmiksi merkkiaineiksi mikrobeille valittiin $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}^+$ ja $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}^+$ fragmentit. Näiden fragmenttien esiintyvyyttä ulkoilmassa mitatuista hiukkasista tutkittiin seitsemän aiemmin kerätyn mittausdatan avulla. Kuvasta 12 voidaan huomata, että $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}^+$ fragmentin osuus hiukkasissa oli hyvin samankaltainen eri kuukausina ja eri mittauspaikoissa, kun taas $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}^+$ fragmentin osuus oli korkeimmillaan pientaloalueella talvella ja keväällä sekä kaupunkitausta-aseamalla keväällä. Erityisesti pientaloalueella $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}^+$ fragmenttia syntyy luultavasti kuitenkin myös puunpoltosta.

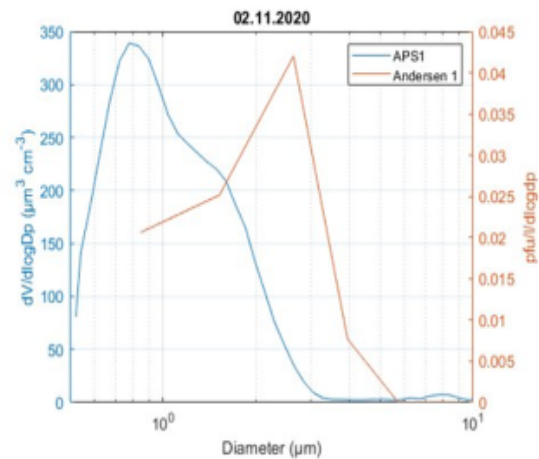


Kuva 12. $C_4H_8N^+$ (a) ja $C_5H_{12}N^+$ (b) fragmenttien osuudet ulkoilmasta mitatuissa hiukkasissa eri kuukausina.

3.2.3 Ravintolakoe

Ravintolakokeessa todettiin Phi6 -virusten leviävän tartuntakykyisenä koko käytössä olleeseen tilaan (kuva 13) (Atanasova et al., valmistella). Viruspitoisuuden todettiin laskevan huomattavasti ilmavaihdon ansiosta jo minuuttien kuluessa tartunnan lähteen poistuessa tilasta. Andersen-keräimillä kerätyistä ilmanäytteistä havaittiin, että infektiivisten virusten huippupitoisuus osui hiukkaskokovälille 2-3 μm , mikä on yhtenevä tulos laboratoriokokeiden kanssa.

Location, distance from Nebulizer	Duration	pfu
Table A, 64 cm	90 min	täynnä
Table C, 245 cm	90 min	424
Chair D, 270 cm	90 min	621
Table G, 420 cm	90 min	135
Table I, 860 cm	90 min	84
Back wall J, 870 cm	90 min	49
Couch M, 900 cm	90 min	103
Table A, 64 cm	30 min (after)	0
Table C, 245 cm	30 min (after)	16
Chair D, 270 cm	30 min (after)	10
Table G, 420 cm	30 min (after)	7
Table I, 860 cm	30 min (after)	1
Back wall J, 870 cm	30 min (after)	5
Couch M, 900 cm	30 min (after)	4



Kuva 13. Ravintolakokeessa kerättyjen laskeumanäytteiden virusmäärät, APS-laitteella mitattu hiukkaskokojakauma ja Andersen-keräimeltä analysoidut infektiiviset virusmäärät. Laskeumanäytteiden kirjaintunnisteet viittaavat kuvassa 5 esitettyihin sijainteihin.

3.2.4 Sairaalakokeet

Sairaalakokeissa kerätyistä näytteistä havaittiin, että koronavirusta löytyi potilaiden ympäris-

tössä aerosolikokoluokissa 0.65 – 4.7 µm ja 7 - <100 µm (Oksanen et al. 2021). PCR positiivisia depositio- näytteitä kerättiin yli 4 m päästä potilaista. PCR-positiivisia pintoja olivat usein kosketut pinnat ja esineet, lattia ja wc- istuin. Infektiivisiä viruksia ei kuitenkaan löydetty ilmasta eikä pinnoilta. Tulos on linjassa kirjallisuudessa esitettyjen tulosten kanssa, ja osoittaa, että infektiivisten SARS-CoV-2 -virusten kerääminen on monesta syystä hyvin vaikeaa.

4. Yhteenveto, tieteellinen merkittävyys ja tulosten hyödyntämismahdollisuudet

Projektissa suoritettiin havaintoja mikrobiologisista aerosoleista laboratoriossa ja kenttäolosuhteissa. Havainnot näissä eri ympäristöissä tukevat toisiaan ja auttavat tulosten tulkinnassa. Työssä tutkittuja viruksia (Phi6, SARS-CoV-2) voidaan konventionaalisten mikrobiologisten analyysimenetelmien lisäksi periaatteessa havaita reaaliaikaisilla laitteilla kuten AMS tai WIBS. Tämä on kuitenkin haastavaa muualla kuin laboratoriossa johtuen mm. virusten pienistä pitoisuuksista, sisäisestä sekoittumisesta muun aerosolin kanssa, ja mittausvasteen peittymisestä muista vastaavista aerosoleista.

Kenttäkokeissa havaittiin, että mikrobiologiset menetelmät ovat herkkiä virusten kvalitatiiviseen havaitsemiseen, ja infektiokykyisiä Phi6 -virusta löytyi jopa 50 m päästä lähteestä Biosampler-nestekeräimillä kerätessä. Sisätiloissa tehokas ilmanvaihto auttoi puhdistamaan ilman nopeasti (alle 30 min) lähteen poistumisen jälkeen.

Sairaalakokeiden perusteella infektiivisen SARS-CoV-2:n havaitsemista aerosoleista hankaloittaa tilaisuuksien puuttuminen optimaaliseen keräyshetkeen sekä aktiivisissa keräimissä ja näyttekäsittelyssä tapahtuvat häviöt.

Tutkimussuunnitelmassa esitetyt keskeiset tutkimuskysymykset, ja miten tutkimus edisti niiden ymmärrystä

1) *Mitkä ovat ne menetelmät, joiden avulla ilmasta voidaan havaita ja tunnistaa mikrobeja tai niiden osia tehokkaasti, nopeasti ja luotettavasti?*

Tutkimuksen perusteella mikrobiologiset menetelmät ovat ylivertaisia luotettavuudeltaan, mutta vaativat paljon manuaalista näytevalmistelua ja analyysityötä. Aerosolilaitteistoista testatut WIBS ja AMS osoittavat potentiaalia, mutta kehitystyötä on jatkettava, jotta ymmärretään, miten erilaiset biologiset hiukkaset voidaan erottaa toisistaan.

2) *Miten havainto- ja analyysimenetelmiä voidaan optimoida ja yhdistää, jotta ne ovat nopeasti käytettävissä haastavissakin kenttäolosuhteissa?*

WIBS- ja AMS- laitteet voivat havaita tilanteen, jossa ilmassa on selkeitä ylimääriä biologisia hiukkasia, mikä on mahdollinen skenaario esim. mikrobiologisten uhkien tahallisessa leveyksessä. Uhan tarkempi määrittäminen tulisi ensivitteen jälkeen toteuttaa mikrobiologisen analyysin avulla. Tutkimuksessa laitteistoja käytettiin myös kenttäkokeissa, ja niiden adoptoiminen haastavampiin olosuhteisiin on periaatteessa ennen kaikkea tekninen kysymys (laitesuoja + sähköistys).

3) *Millaisia mikrobien taustapitoisuuksia tässä kehitettävillä menetelmillä voidaan havaita erilaisissa ympäristöissä, kuten Suomelle tyypillisillä tausta-alueilla, kaupungeissa tai metroasemilla*

WIBS- laitteistolla havaittiin laboratoriokokeissa taustasta erottuva signaali, kun hiukkasp-

toisuudet olivat samaa luokkaa hengityksestä ja laulamisesta syntyvien hiukkasmäärien kanssa. Myös ulkoilmasta pystyttiin havaitsemaan vastaava signaali laitteen ollessa 2 metrin päästä ylimäärää hiukkasia tuottavasta lähteestä. Alustavien tulosten perusteella AMS ei puolestaan kyennyt erottelemaan mikrobiologisia hiukkasia taustasignaalista kaupunki-ilman historiadatasta, joten taustapitoisuuksien mittaamiseen tällainen laitteisto ei vielä suoraan sovellu. Sisätiloissa havainnot molemmilla laitteilla olisi luonnollisesti helpompaa pienemmän laimenemiseffektin takia.

Tieteellinen merkittävyys

Tutkimus on edistänyt sekä havaintomenetelmien kehitystä että ymmärrystä mikrobien (etenkin virusten) ilmavitteisyydestä ja siihen liittyvästä aerosolifysiikasta ja mikrobiologiasta. Tieteellisiä artikkeleita sekä laboratorio- että kenttäkokeista on julkaistu tai valmisteilla vähintään kahdeksan kappaletta. Yksi liittyvä artikkeli on lisäksi käsitellyt mikrobien jäänukleaatioaktiivisuutta (Adams et al. 2021), millä on relevanssia ilmakehätieteiden kannalta.

Tutkimuksen tulosten loppukäyttäjärelevanssi ja hyödyntämismahdollisuudet

Tutkimuksessa tehty menetelmätestaus mahdollistaa ilmanvaraisesti leviävien biologisten hiukkasten paremman havainnoinnin ja menetelmien jatkokehityksen. Etenkin viruksiin liittyvät ilmajälitteisyyden periaatteet tunnetaan tarkemmin, mikä mahdollistaa tehokkaiden suojausmenetelmien kehityksen. Projekti on jo lisännyt tietoisuutta sairaalapuolella viruksen ilmavitteisyydestä, vaikuttaen mm. HUS- koronavuodeosaston ilmavaihdon huomioimiseen ja suojausohjeiden tarkentamiseen.

5. Julkaisuluettelo ja käsikirjoitukset, joissa MATINE projekti- on tunnustettu

Julkaistu:

1. Modelling aerosol transport and virus exposure with numerical simulations in relation to SARS-CoV-2 transmission by inhalation indoors; **Ville Vuorinen**, Mia Aarnio, Mikko Alava, Ville Alopaeus, Nina Atanasova, Mikko Auvinen, Nallannan Balasubramanian, Hadi Bordbar, Panu Erästä, Rafael Grande, Nick Hayward, Antti Hellsten, Simo Hostikka, Jyrki Hokkanen, Ossi Kaario, Aku Karvinen, Ilkka Kivistö, Marko Korhonen, Risto Kosonen, Janne Kuusela, Sami Lestinen, Erkki Laurila, Heikki J. Nieminen, Petteri Peltonen, Juho Pokki, Antti Puisto, Peter Råback, Henri Salmenjoki, Tarja Sironen, Monika Österberg, Safety Science, 130, 104866, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.10486>, 2020.
2. Ice nucleation by viruses and their potential for cloud glaciation; **Adams, M. P.**, Atanasova, N. S., Sofieva, S., Ravantti, J., Heikkinen, A., Brasseur, Z., Duplissy, J., Bamford, D. H., and Murray, B. J., Biogeosciences, 18, 4431–4444, <https://doi.org/10.5194/bg-18-4431-2021>, 2021.

Pre-print:

3. SARS-CoV-2 air and surface contamination on a COVID-19 ward and at home; **Oksanen, Lotta-Maria** & Virtanen, Jenni & Sanmark, Enni & Rantanen, Noora & Venkat, Vinaya & Sofieva, Svet-

lana & Aaltonen, Kirsi & Kivistö, Ilkka & Svirskaitė, Julija & Pérez, Aurora & Kuula, Joel & Levvanov, Lev & Hyvärinen, Antti-Pekka & Maunula, Leena & Atanasova, Nina & Laitinen, Sirpa & Anttila, Veli-Jukka & Lehtonen, Lasse & Lappalainen, Maija & Sironen, Tarja, 10.21203/rs.3.rs-1002547/v1, 2021.

Kirjoitusvaiheessa (otsikot työnimikkeitä):

4. Characterization of a marine bioaerosol chamber, **Svetlana Sofieva** et al.
5. Detection of viruses in aerosol with Aerosol Mass Spectrometer and Wideband Integrated Bioaerosol Sensor; **Sanna Saarikoski**, Paavo Heikkilä, Svetlana Sofieva, Nina Atanasova, Kirsi Aaltonen, Tarja Sironen, Jutta Kesti, Eija Asmi, Jorma Keskinen, Dennis Bamford, Antti Hyvärinen
6. Size distribution and infectivity of aerosolized SARS-CoV-2 measured in a novel bioaerosol chamber; **A.-P. Hyvärinen**, S. Sofieva, K. Aaltonen, J. Virtanen, P. Heikkilä, T. Pihlajamäki, M. Anastasina, Zlatka Plavec, Ausra Domanska, S. Butcher, O. Vapalahti, D. Bamford, T. Sironen and N. Atanasova
7. Simulating SARS-CoV-2 transmission in a real restaurant setting with the surrogate virus Phi6, **Nina Atanasova** et al.
8. Experiments of viable Phi6 dispersion in outdoor environment, **Rasmus Malmgren** et al.

Kirjallisuusviitteet

Gregson, F.K.A, et al.: Comparing aerosol concentrations and particle size distributions generated by singing, speaking and breathing, *Aerosol Science and Technology*, 55:6, 681-691, DOI: 10.1080/02786826.2021.1883544, 2021.

Tesson S. V. M. et al.: Airborne microalgae: insights, opportunities, and challenges. *Appl Environ Microbiol* 82, 1978–1991. doi:10.1128/AEM.03333-15, 2016.

Wolf, R. et al.: Characterization of ice-nucleating bacteria using on-line electron impact ionization aerosol mass spectrometry, *J. Mass. Spectrom.* 50, 662-671, 2015.

Wolf, R. et al.: Contribution of bacteria-like particles to PM_{2.5} aerosol in urban and rural environments, *Atm. Env.* 160, 97-106, 2017.
