



Elina Kainulainen

COVID-19 pandemian aiheuttamat muutostarpeet sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

1.12.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Elina Kainulainen
Otsikko:	COVID-19 pandemian aiheuttamat muutostarpeet sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa
Sivumäärä:	38 sivua
Aika:	01.12.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	Tekniikan tohtori, Piia Sormunen Lehtori, Pasi Partonen

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia kolmen suomalaisen sairaalan odotustilojen ilmanvaihtoratkaisuja sekä sitä, kuinka tilojen ilmamäärät ja kasvomaskien käyttäminen vaikuttavat mahdollisuuteen saada koronatartunta. Työssä lisäksi tutkittiin, kuinka ilmanpuhdistimen lisääminen odotustilaan parantaisi sisäilman laatua ja auttaisi tartuntojen hillitsemisessä.

Insinööriyön toimeksiantajana oli Granlund Oy. Granlund Oy on yksi Suomen suurimmista ja johtavista talotekniikka-alan yrityksistä. Työ tehtiin osana Business Finlandin rahoittamaa hanketta E3, Excellence in Pandemic Response and Enterprise Solution. E3-hankkeen päätavoitteena on kehittää ratkaisuja, joiden avulla yhteiskunnan eri toiminnot voivat jatkua keskeytyksettä epidemia- tai pandemiatilanteesta riippumatta.

Sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon tutkimisessa käytettiin eurooppalaisen LVI-alan insinööriryhdistys REHVA:n Covid-19-ilmanvaihtolaskuria. Ilmanvaihtolaskurin avulla pystyttiin laskemaan COVID-19 varianttien tartunnan todennäköisyys odotustilassa. Lisäksi insinööriyössä haastateltiin Granlund Oy:n sairaaloiden ilmanvaihdon suunnittelun projektipäälliköitä ja asiantuntijoita.

Haastatteluissa kävi ilmi, että sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihto tulisi mitoittaa minimissään 10 l/s henkilöä kohden. Työn tuloksista huomattiin, että tälläkään mitoitusarvolla ei pystytä yksinään hillitsemään epidemiaa. Tartunnan leviämisen todennäköisyyteen voitiin ilmamäärän lisäksi vaikuttaa vähentämällä odotustilan henkilömäärää ja tilassa vietettyä aikaa, pitämällä kasvomaskia tai lisäämällä tilaan ilmanpuhdistin. Insinööriyötä voidaan käyttää apuna sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa.

Avainsanat: Ilmanvaihto, odotustila, sairaala

Abstract

Author(s): Elina Kainulainen
Title: Changes in Ventilation Design of Hospital Waiting Rooms
Caused by COVID-19 Pandemic
Number of Pages: 38 pages
Date: 1 December 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Specialisation option: HVAC Design
Instructor(s): Piia Sormunen, PhD in Engineering
Pasi Partonen, Senior Lecturer

The purpose of this final year project was to study the effect of ventilation air volumes and the use of masks on the risk of COVID-19 infection in hospital waiting rooms. The final year project also studied whether added air purifier units in the waiting room would help to clean the air and control infections.

The final year project collected information by interviewing experts in hospitals ventilation design and project managers. Furthermore, the ventilation calculator of the Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA) was used to calculate the probability of getting the virus.

The project established that ventilation in hospital waiting rooms should be at a minimum of 10 l/s per person. However, this air volume alone cannot stop the spread of infection. Instead, the spread of infection can be controlled by reducing the number of people and the time spent in the waiting room, as well as by wearing a face mask or by adding an air purifier unit in the waiting room. This final year project can be used to help designing ventilation for hospital waiting rooms.

Keywords: Ventilation, waiting area, hospital

Sisällys

1	Johdanto	6
2	Ilmavälitteisesti leviävät hengitysaerosolit	6
3	COVID-19:ää koskevat ilmanvaihtosuositukset	7
3.1	REHVA	7
3.2	FINVAC	8
3.3	ASHRAE	8
4	Haastattelut	10
4.1	Nykytilanne ilmavälitteisesti leviävien hengitysaerosolien huomioimisessa sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa	10
4.2	Kehitettävää ilmavälitteisesti leviävien hengitysaerosolien huomioimisessa sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa	11
4.3	Haasteet vanhempien sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa ottaen huomioon ilmavälitteisesti leviävät hengitysaerosolit	12
5	Suomalaisten sairaaloiden ilmanvaihtoratkaisut odotustiloissa	12
5.1	Meilahden siltasairaala	13
5.2	Sairaala Nova	18
5.3	T3 Majakkasairaala	23
6	Puhtaan ilman tuoton parantaminen ilmanpuhdistimilla	28
6.1	Ilmanpuhdistin Meilahden siltasairaalan odotustilassa	29
6.2	Ilmanpuhdistin sairaala Novan odotustilassa	33
6.3	Ilmanpuhdistin T3-sairaalan odotustilassa	35
7	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

Lyhenteet

ASHRAE:	Amerikkalainen LVI-alan insinööriyhdistys.
COVID-19:	Koronavirustauti.
FINVAC:	Suomalainen LVI-alan insinööriyhdistys.
SARS-CoV-2:	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus, vakava akuutti hengitystieoireyhtymä -koronavirus.
REHVA:	Eurooppalainen LVI-alan insinööriyhdistys.
MERV:	<i>Minimum efficiency reporting value</i> . Minimaalinen tehokkuuden raportointiarvo.
HEPA:	<i>High Efficiency Particulate Filter</i> . Korkean erotusasteen suodatin.
ACH:	<i>Air change per hour</i> . Ilmanvaihtokerroin.
CARD:	<i>Clean air delivery rate</i> . Puhtaan ilman tuottoaste.
ppm:	<i>Parts per million</i> . Hiilidioksidin määrää kuvaava yksikkö.

1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan, kuinka kolmen eri sairaalan odotustilan ilmanvaihto vaikuttaa koronan ja sen eri varianttien leviämiseen valituissa hypoteettisissa tilanteissa. Työssä tutkitaan lisäksi, kuinka ilmanpuhdistimien lisääminen odotustiloihin vaikuttaisi tartunnan saannin mahdollisuuteen. Sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon tutkimisessa käytetään REHVA:n COVID-19-ilmanvaihtolaskuria. REHVA on eurooppalainen LVI-alan insinööriyhdistys.

Työn tavoitteena on kehittää sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelemaa Suomessa ja tutkia haastattelujen sekä ilmanvaihtolaskurin tulosten perusteella, kuinka koronan ja muiden virusinfektioiden tartuntaa voidaan ennaltaehkäistä sairaaloiden odotustiloissa. Ilmanvaihtolaskurin avulla voidaan laskea koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun tiedetään lähtötiedot, kuten esimerkiksi tilan pinta-ala, henkilömäärä ja se, onko tilassa olevilla henkilöillä kasvomaskit.

Insinööriyö tehdään osana Business Finlandin rahoittamaa hanketta E3, Excellence in Pandemic Response and Enterprise Solution. E3-hankkeessa pyritään kehittämään ratkaisuja, joiden avulla ihmiset pystyvät liikkumaan ja elämään turvallisesti epidemiasta tai pandemiasta huolimatta. Työn toimeksiantaja on Granlund Oy, yksi Suomen suurimmista kiinteistö- ja rakennusalan asiantuntijakonserneista. Granlundilla on myös laaja erityisosaaminen sairaalasuunnittelussa.

2 Ilmavälitteisesti leviävät hengitysaerosolit

Hengitystievirukset leviävät aerosoli-, pisara- tai kontaktitartuntana. Koronavirus SARS-CoV-2 tarttuu kuitenkin yleisemmin aerosoli- ja pisaratartuntana. [1, s. 2.] Pisaratartunta tapahtuu usein lähietäisyydellä, koska pisarat laskeutuvat nopeasti ja seuraavat lentorantaa. Tämän takia pisaratartunnan ehkäisemiseksi usein riittää turvaväli ja riittävä ilmanvaihto. Verrattuna pisaroihin aerosolihiukkaset pystyvät kulkemaan pitkiäkin matkoja ja pysyvät ilmassa pidempään, koska hiukkaset seuraavat ilmavirtaa. Aerosolihiukkaset voivat olla tilassa jopa

useamman tunnin ajan. [2, s. 3.] Tällöin riittävästä turvavälistä ei ole hyötyä vaan tarvitaan myös tehokas ja riittävä ilmanvaihto sekä kasvomaskit [3, s. 2.].

3 COVID-19:ää koskevat ilmanvaihtosuositukset

Tässä luvussa käydään läpi eri LVI-alan insinööriyhdistysten ohjeita ja suosituksia. Ohjeissa käydään läpi, kuinka ilmanvaihdon suunnittelua tulisi parantaa, jotta ilmajälitteisesti leviävien virusten tartuntariskiä voidaan paremmin hallita.

3.1 REHVA

Eurooppalainen LVI-alan insinööriyhdistys REHVA on julkaissut asiakirjan, jonka tarkoituksena on täydentää olemassa olevia standardeja, joissa ilmajälitteisten tartuntatautien leviämistä ei ole otettu juuri ollenkaan huomioon. Asiakirjassa on päivitettyjä suosituksia ilmanvaihdon suunnitteluun, joiden avulla voidaan vähentää tartuntariskiä asuinrakennuksissa. Tätä ei ole tarkoitettu kuitenkaan terveydenhuolto- ja teollisuusrakennusten suunnitteluun. [4, s. 2.]

REHVA:n asiakirjassa suositellaan pitämään epidemian aikana vähintään 1,5 metrin turvaväliä. Myös ilmanvaihdon mitoituksessa tulisi ottaa huomioon epidemian mahdollisuus. Epidemiatilanteessa ilmanvaihdon tulisi olla riittävä. Normaalitilanteessa ilmanvaihto ei ole maksimi-ilmavirralla, vaan ilmanvaihtoa säädelään riippuen henkilökuormituksen- ja epidemiatilanteen mukaan. Jos tiloissa ei päästä epidemian vaatimiin ilmavirtoihin, pitää tilojen henkilömääriä pienentää. [4, s. 2.]

REHVA:n ohjeistuksessa esiintyy uusi malli, joka pohjautuu vanhaan Wells-Riley-malliin. Wells-Riley-malli on alun perin kehitetty tutkimaan tuhkarokkoepidemiaa ja sen tartuntariskiä. [5.] Mallin avulla voidaan laskea viruksen tartunnan todennäköisyyden, kun tiedetään esimerkiksi tilan pinta-ala ja korkeus, henkilömäärä, aktiivisuuden määrä ja onko tilan henkilöillä kasvomaskia. Mallissa oletetaan, että tilassa on yksi tartunnan levittäjä. [4, s. 2.]

3.2 FINVAC

Suomalaisen LVI-alan insinööriyhdistys FINVAC:n Covid-19-ohjeet perustuvat pitkälti REHVA:n julkaisemaan 2020 Covid-19-oppaaseen. Kuten REHVA:n ohjeistus, myös FINVAC:n ohjeet koskevat vain asuinrakennusten ilmanvaihdon suunnittelua. Ohjeistusta ei ole tarkoitettu terveydenhuolto- ja teollisuusrakennusten suunnitteluun. FINVAC on julkaissut REHVA:n oppaan pohjalta ohjeistuksia, kuinka REHVA:n ohjetta tulisi soveltaa Suomen olosuhteissa.

FINVAC:n ohjeistuksen mukaan Suomessa palvelurakennusten ilmanvaihto ei ole käytössä yöaikaan. Ilmanvaihto tulee laittaa päälle kaksi tuntia ennen rakennuksen käytön alkamista ja kaksi tuntia käytön jälkeen. Myöskään rakennuksen vessojen poistoilmanvaihto ei ole käytössä, kun rakennusta ei käytetä. Pandemian aikana ilmanvaihdon tulee olla maksimiteholla, ja on tärkeää, että ilmanvaihto toimii suunnitellulla tavalla. Ohjeistuksen mukaan ilmanvaihdon riittävyyden indikaattorina Suomessa voidaan käyttää tilan hiilidioksidipitoisuutta. Jos odotustilan hiilidioksidipitoisuus on suurempi kuin 950 ppm, tulee tilan ilmanvaihtoa lisätä tai pienentää tilan henkilömäärää suunnitellusta. [6.]

3.3 ASHRAE

Amerikkalaisen LVI-alan insinööriyhdistys ASHRAE:n ohjeistuksen mukaan ilmanvaihdon tulee täyttää vaaditut tilakohtaiset vähimmäisilmavirrat. Nämä on määritelty ASHRAE:n omissa sovellettavissa säännöissä ja standardeissa. Ilmanvaihdossa tulee käyttää suodattimien ja ilmanpuhdistimien yhdistelmiä, joilla saavutetaan vähintään MERV 13 -suodatusluokka. [7.] MERV on lyhenne sanoista Minimum Efficiency Reporting Value, joka tarkoittaa suodattimen vähimmäistehokkuutta. Suodattimen MERV-luokituksen päättää ASHRAE. MERV 13 -luokan suodatin suodattaa alle 75 % hiukkasista, joiden koko on 0,3–1 µm. [8.] Kuvasta 1 näkee, kuinka MERV 13 -suodatusluokka vertautuu HEPA-suodattimiin. HEPA-suodatin on korkean erotusasteen suodatin, jota käytetään esimerkiksi sairaaloiden leikkaussaleissa.

MERV Rating	Air filter will trap particles sized .3 to 1.0 microns	Air filter will trap particles sized 1.0 to 3.0 microns	Air filter will trap particles sized 3.0 to 10 microns	Filter Type & Particles Removed
MERV 1	<20%	<20%	<20%	Fiberglass and Aluminum Mesh pollen, dust mites, spray paint, carpet fibers, pet dander
MERV 2	<20%	<20%	<20%	
MERV 3	<20%	<20%	<20%	
MERV 4	<20%	<20%	<20%	
MERV 5	<20%	<20%	20% - 34%	Disposable Filters mold spores, kitchen aerosols, hair spray, furniture polish, household cleaning sprays
MERV 6	<20%	<20%	35% - 49%	
MERV 7	<20%	<20%	50% - 69%	
MERV 8	<20%	<20%	70% - 85%	Home Box Filters lead dust, flour, auto fumes, welding fumes
MERV 9	<20%	>50%	85% or better	
MERV 10	<20%	50% - 64%	85% or better	
MERV 11	<20%	65% - 79%	85% or better	Commercial Filters bacteria, wildfire smoke, respiratory droplets
MERV 12	<20%	80% - 90%	90% or better	
MERV 13	>75%	90% or better	90% or better	
MERV 14	75% - 84%	90% or better	90% or better	
MERV 15	85% - 94%	95% or better	90% or better	
MERV 16	95% or better	95% or better	90% or better	
MERV 17	99.97%	99% or better	99% or better	
MERV 18	99.997%	99% or better	99% or better	HEPA and ULPA viruses, carbon dust
MERV 19	99.9997%	99% or better	99% or better	
MERV 20	99.99997%	99% or better	99% or better	

Kuva 1. Taulukko MERV-luokituksista ja suodatintyypistä sekä hiukkasten erotuskyky [9].

ASHRAE:n ohjeistuksen mukaan huonetilassa tulee käyttää vain ilmanpuhdistimia, joiden tehokkuudesta ja turvallisuudesta on selkeää näyttöä. Suodattimien ja ilmanpuhdistimien sekä niitä ohjaavien laitteiden tulee muodostaa mahdollisimman tehokas yhdistelmä, jolla voidaan pienentää altistumisen todennäköisyyttä. Laittevalinnoissa tulee huomioida järjestelmästä aiheutuvat energiakustannukset. [7.]

ASHRAE:n ohjeistuksen mukaan tiloissa, joissa ei erityisesti vaadita syrjäyttävää ilmanvaihtoa, voidaan käyttää sekoittavaa ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon mitoituksessa tulee huomioida, että ilmapvirtauksen nopeus pysyy kohtuullisena, ettei synny voimakkaita ilmapvirtauksia. Tällöin ilman mukana siirtyvät epäpuhtaudet eivät siirry niin helposti henkilöstä toiseen. Raitisilmamäärän tulee myös olla aina määräysten mukainen, kun tila on käytössä. Ohjeistuksen mukaan tiloissa, kuten leikkaussaleissa, on operaatioiden välissä tarpeen pitää tauko, jonka aikana ilma vaihtuu vähintään kolme kertaa. [7.] Tätä aikaa kutsutaan leikkaussalin toipumisajaksi [10].

4 Haastattelut

Haastattelut toteutettiin vuonna 2023 syys-lokakuun välisenä aikana ja haastatteluissa haastateltavina oli Aila Puusaari, Jaakko Niemelä, Jyrki Kämäräinen, Tapani Idman ja Erno Haapio. Haastateltavat ovat Granlund Oy:n sairaaloiden ilmanvaihdon suunnittelun asiantuntijoita ja projektipäälliköitä. Haastattelut järjestettiin pääosin Microsoft Teams -alustan välityksellä lukuun ottamatta yhtä haastattelua, joka pidettiin Granlund Oy:n Espoon toimistolla. Kaikille haastateltaville esitettiin samat kysymykset.

Haastattelun kysymykset olivat:

- Miten tällä hetkellä on otettu huomioon ilmavälitteisesti leviävät hengitysaerosolit sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa?
- Miten tulisi ottaa huomioon ilmavälitteisesti leviävät hengitysaerosolit sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa?
- Mitä haasteita vanhemmissa sairaaloiden odotustiloissa on/voi olla liittyen ilmavälitteisesti leviäviin hengitysaerosoleihin?

4.1 Nykytilanne ilmavälitteisesti leviävien hengitysaerosolien huomiomisessa sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa

Kaikkien haastattelussa tuli ilmi että, infektioriskiä ei ole otettu erityisesti huomioon tällä hetkellä odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa. Ilmavälitteisesti leviäviä viruksia on alettu vasta koronapandemian aikana tutkimaan tarkemmin ja sen jälkeen.

Puusaaren mukaan sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihto suunnitellaan henkilö määrän tai $(\text{dm}^3/\text{s})/\text{m}^2$ eli ilmamäärään neliötä kohden [11]. Haastateltaessa Niemelää kävi ilmi, että ilmanvaihdon suunnittelussa on usein käytössä sisäilmastotaulukko, joka on suunnittelutoimiston itsensä laatima. Taulukossa on kerrottu tilojen ilmanvaihtomitoituksen perusteet ja huomioitu esimerkiksi lämpö-

kuormat sekä mahdolliset vahtikortin ilmoittamat tilan henkilömäärät. [12.] Puusaari painotti, jos odotustilan henkilömäärät ovat tiedossa niin ilmanvaihto tulee mitoittaa sen mukaan. Silloin 10 l/s henkilöä kohden on minimi mitoitus. [11.]

Kämäräisen mukaan ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoittelulla on merkitystä il-mavälitteisesti leviävien virusten hillitsemisessä [13]. Ilmanvaihdon poistopäätelaitteet pyritään sijoittamaan odotustilan nurkkaan tai seinän lähetyville. Niemelä totesi, että tuloilma taas pyritään tuomaan tilaan tasaisesti, jolloin ilma sekoittuu kaikkialla odotustilassa. [12.]

4.2 Kehitettävää ilmavälitteisesti leviävien hengitysaerosolien huomioimisessa sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa

Idmanin mielestä ilmanvaihdon suunnittelussa tulisi ottaa huomioon tarkemmin ilmanvaihdon päätelaitteiden sijoittelu ja sitä kautta ilmavirtojen hallinta [14]. Haapion mukaan tällä hetkellä sairaaloiden odotustiloissa sekoittava ilmanvaihto on vallitsevin. Sekoittavan ilmanvaihdon tehokkuus ei ole kovin korkea, ja tämän takia ilmanvaihtokertoimet joutuvat olemaan suuria. Kerrostava ilmanvaihto olisi tehokkaampi ja siinä tuloilmaa puhallettaisiin seinäpintaa pitkin alas. [15.]

Niemelän mukaan sairaaloiden ilmanvaihdon suunnittelussa voitaisiin kehittää ilmanvaihdon tarkempaa päätelaitesijoittelua mittaamalla tilojen aerosolien liik-kumista ja tällöin todeta ideaali sijoittelu [12]. Sekä Puusaari että Niemelä totesivat, että odotustilojen ilmamäärät ovat usein suuria, ja tällöin olisi hyvä, jos ilmamäärää voitaisiin ohjata henkilömäärän mukaan [11; 12]. Tässä voitaisiin käyttää apuna hiilidioksidimittaria, joka säätelisi ilmanvaihtoa tilan hiilidioksidipitoisuuden avulla.

4.3 Haasteet vanhempien sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa ottaen huomioon ilmavälitteisesti leviävät hengitysaerosolit

Niemelä totesi, että yleensä vanhemmissa sairaaloissa ei ole tarvittavan tehokasta ilmanvaihtoa. Alun perin ilmanvaihto on mitoitettu aika vaatimattomaksi ja sen suurentaminen jälkikäteen voi olla hyvinkin vaikeaa. [12.] Puusaaren mielestä tämä johtuu siitä, että tiloissa on matalammat kerroskorkeudet ja olemassa olevat IV-koneet sekä kanavistot eivät mahdollista ilmanvaihdon suurentamista [11].

Puusaari lisäsi, että paikalliset ilmaa suodattavat yksiköt voisivat varmasti parantaa tilannetta vanhemmissa sairaaloissa. Hänen mukaansa odotustiloihin voisi sijoittaa ilmaa kierrättäviä yksiköitä, joissa HEPA-suodattimet suodattaisivat likaista ilmaa ja poistaisivat tällöin taudin aiheuttajia ilmasta. [11.]

5 Suomalaisen sairaaloiden ilmanvaihtoratkaisut odotustiloissa

Insinööriyössä on ollut tehtävänä mallintaa ja tutkia kolmen modernin sairaalan odotustilan ilmanvaihtoa REHVA:n Excel-pohjaisen Covid-19-ilmanvaihtolaskurin [16] avulla. Ilmanvaihtolaskurin avulla on tutkittu, riittääkö nykyinen ilmanvaihto myös pandemiatilanteessa ja kuinka ilmanvaihdon laatua pystyttäisiin parantamaan.

REHVA:n Covid-19-ilmanvaihtolaskurin avulla on tutkittu odotustilojen ilmanvaihdon toimivuutta, kun tilassa on yksi tartunnan saanut henkilö. Ilmanvaihtolaskurin avulla voidaan laskea koronavarianttien tartunnan todennäköisyys eri tiloissa ja tilanteissa, kun tiedetään tarvittavat lähtötiedot. Insinööriyössä päätettiin tutkia Helsingissä sijaitsevan Meilahden siltasairaalan, Jyväskylässä sijaitsevan sairaala Novan ja Turussa sijaitsevan T3 Majakkasairaalan odotustilojen olosuhteita. Työssä tutkittiin viittä eri vaihtoehtoa:

- Kenelläkään odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia, odotustila on täynnä.

- Kenelläkään odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia, odotustilan enimmäishenkilömäärästä on tilassa puolet.
- Altistuneilla henkilöillä on kasvomaskit odotustilassa, mutta tartunnan saaneella henkilöillä ei ole ja odotustila on täynnä.
- Tartunnan saaneella henkilöillä on kasvomaski odotustilassa, mutta altistuneilla henkilöillä ei ole ja odotustila on täynnä.
- Kaikilla henkilöillä odotustilassa on kasvomaskit ja odotustila on täynnä.

Tässä luvussa tullaan tutkimaan tilanteita lisääntymisluvun (event reproduction number) mukaan. Lisääntymisluku saadaan, kun uusien tautitapausten lukumäärä jaetaan tartuntaa levittävien henkilöiden lukumäärällä. Jos lisääntymisluku on 1, niin silloin yksi tartunnan saanut henkilö tartuttaa yhden terveen henkilön. Epidemian hillitsemiseksi tämän luvun tulisi olla alle 1, mutta olisi suositeltavaa, että luku on alle 0,5. [17, s. 6.]

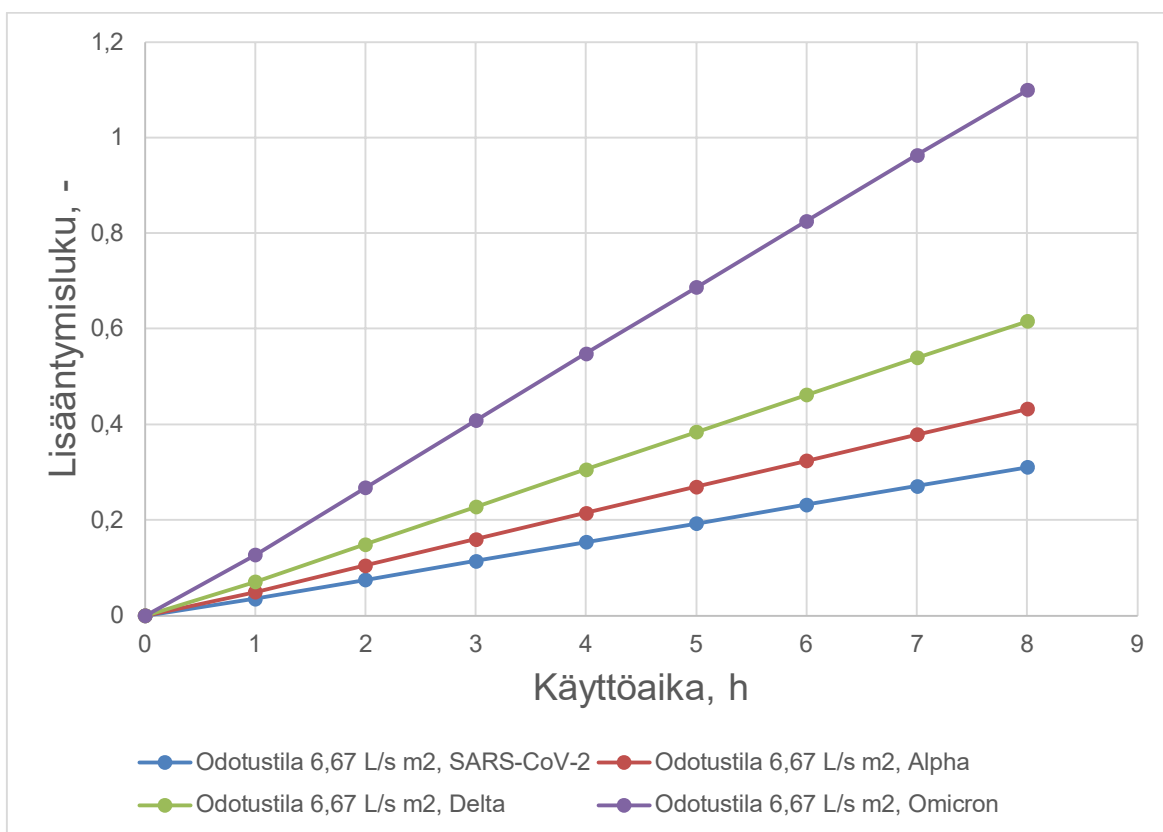
Laskennassa on tutkittu neljää eri virusvarianttia SARS-CoV-2:ta, Alphaa (Brittiläinen), Deltaa ja Omikron-varianttia. Odotustilojen hengitystiheytenä on käytetty toimistotyön arvoja. Arvoissa on otettu huomioon, että noin 20 % tilassa olevista ihmistä puhuu ja eikä fyysinen rasitus ole suurta.

Tartuntaa levittävän henkilön käyttämän kasvomaskin tehokkuus saattaa poiketa tartunnalle alttiin henkilön käyttämän kasvomaskin tehokkuudesta. Tämä johtuu siitä, että suusta lähtevät pisarat ovat suurempia ja sisältävät enemmän vettä kuin hengitetyt pisarat. Tämän takia kasvomaskin tehokkuuden laskennassa tartuntaa levittävälle henkilölle käytetään arvoa 0,5 ja tartunnalle altistuneelle henkilölle lukua 0,3. [17, s. 4.] REHVA:n Covid-19-ilmanvaihtolaskurin tuloksia voidaan käyttää suuntaa antavina, mutta tuloksia ei tule käyttää absoluuttisen riskin arvointiin.

5.1 Meilahden siltasairaala

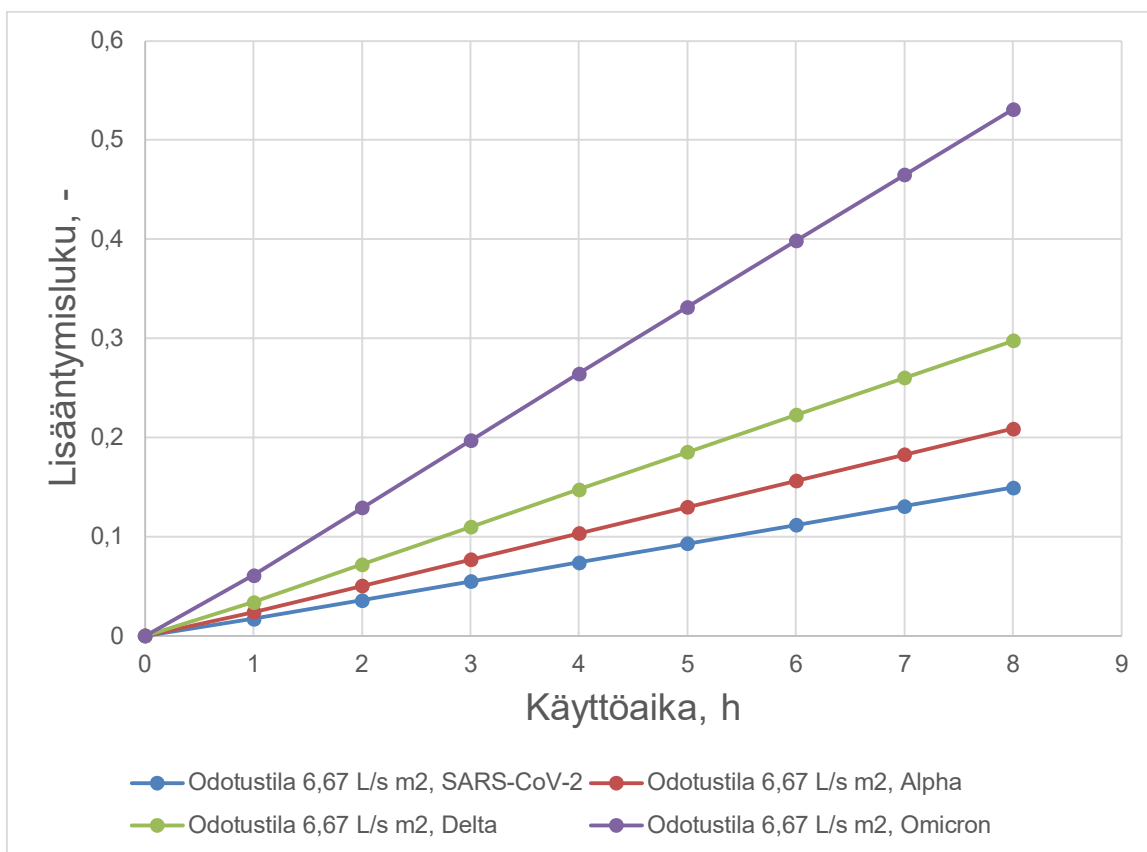
Meilahden siltasairaalan tutkimukseen valittiin vastaanoton odotustila. Odotustila on pinta-alaltaan 45 neliötä. Odotustila on 30 henkilölle. Tulo- ja poistoilmaa tilaan tulee 300 l/s eli odotustilan ilmamäärä on mitoitettu noin 6,7 l/s neliötä kohden tai 10 l/s henkilöä kohden. Odotustilan alakattokorkeus on 2,9 metriä.

Kuvan 2 tilanteessa kenelläkään odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia, ja silloin tässä tilanteessa ilmapölyiset virukset leviävät helpoiten. Lisääntymisluku kahdeksan tunnin käyttöajan ja Omikron-variantin kohdalla on 1,10. Epidemian hallitsemiseksi luvun pitäisi olla alle 1. Epidemia- ja pandemiatilanteissa tulee siis huolehtia, että odotustilan henkilöillä on joko kasvomaskit, tila ei saa olla täynnä tai tila ei ole yhtäjaksoisessa käytössä kahdeksan tunnin ajan.



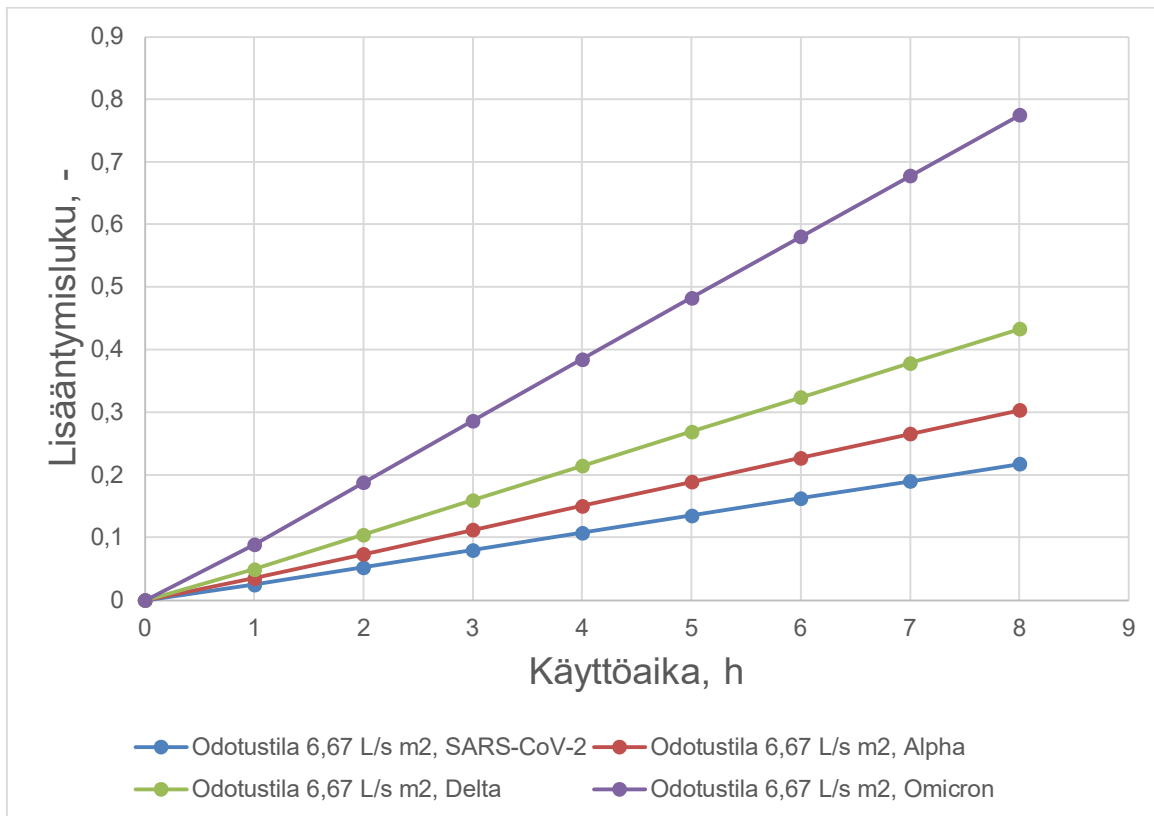
Kuva 2. Koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia ja odotustila on täynnä.

Kuvan 3 tilanne on muuten samanlainen kuin kuvan 2 tilanne, mutta odotustilassa on vain puolet henkilöistä. Henkilömäärän vähenemisen myötä lisääntymisluku on vähentynyt Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla luvusta 1,10 lukuun 0,53. Muiden varianttien lisääntymisluku on kahdeksan tunnin kohdalla alle 0,5.



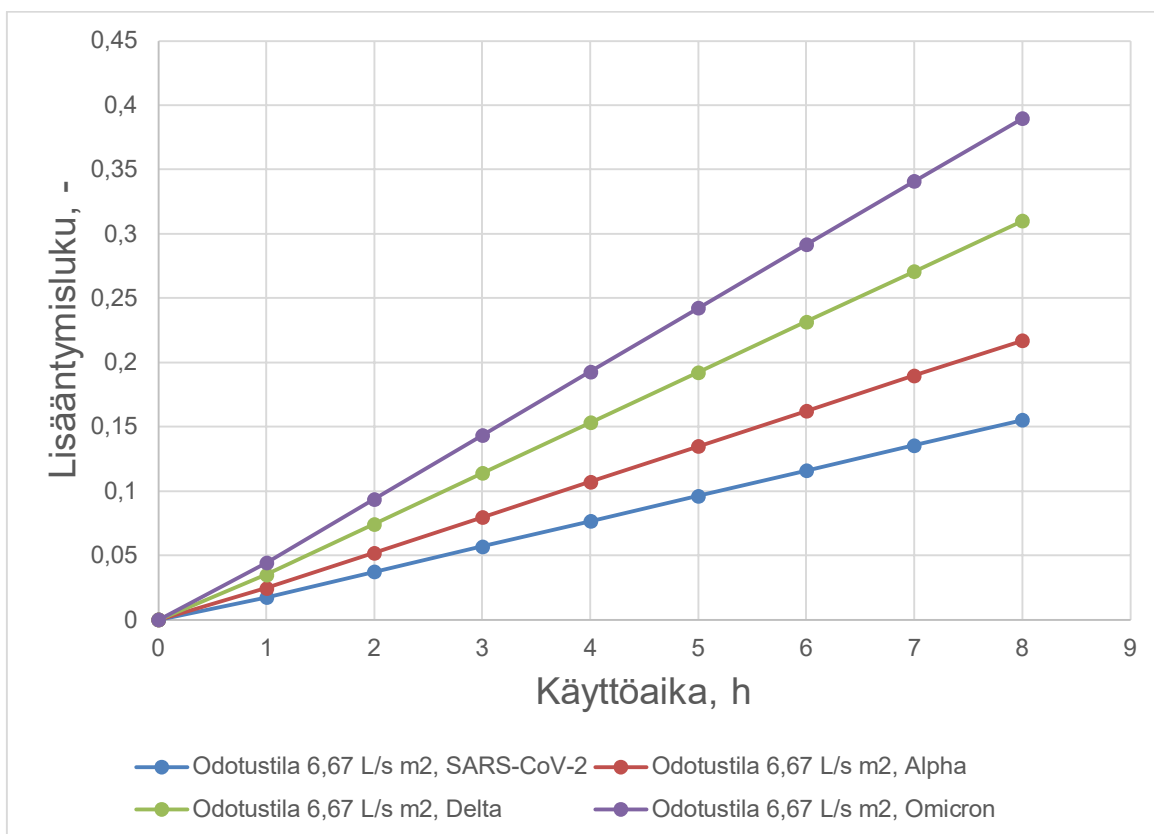
Kuva 3. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia ja odotustila on puolillaan.

Kuvan 4 tilanteessa kaikilla huoneen altistuneilla henkilöillä eli 29 henkilöllä on kasvomaskeetit, mutta tartuntaa levittävällä ei ole. Kuvan 4 tilanne on huomattavasti parempi kuin kuvan 2 tilanne. Kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla kaikki koronavariantit ovat alle 1.



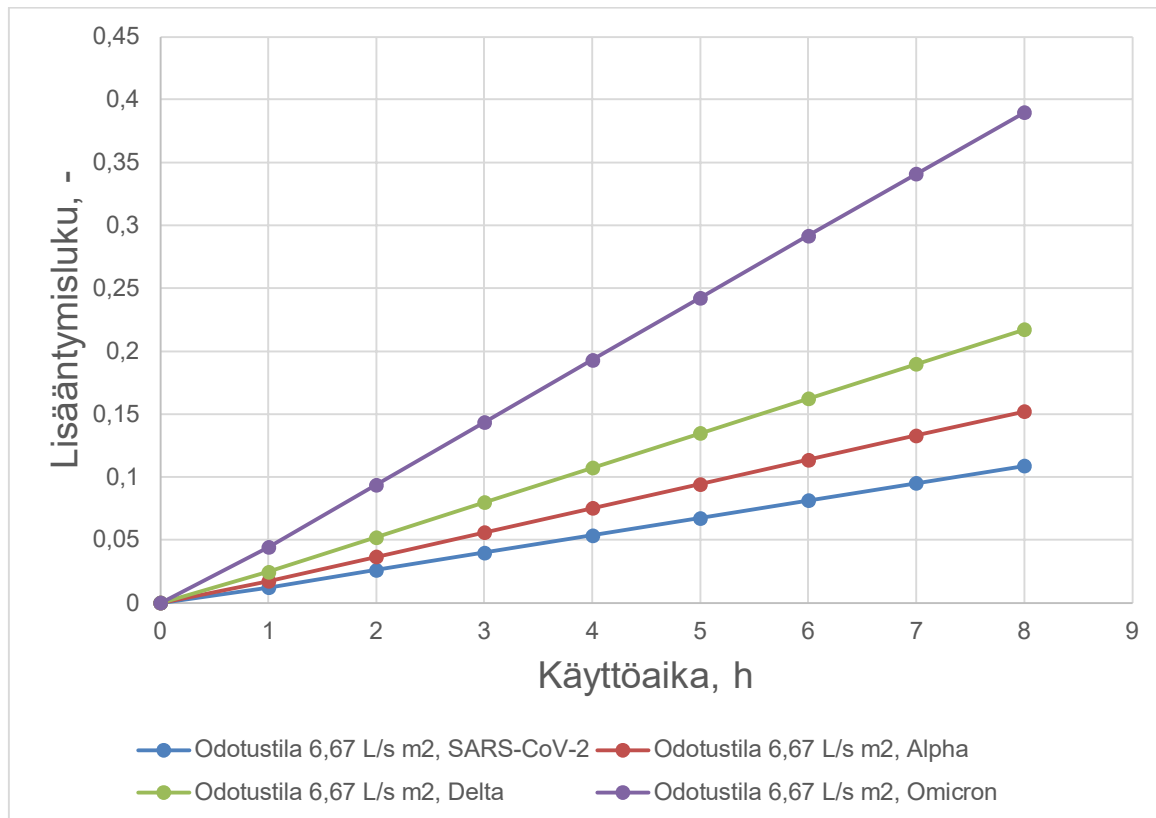
Kuva 4. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun altistuneilla on kasvomaskeetit, mutta tartunnan saaneella ei ja odotustila on täynnä.

Kuvan 5 tilanteessa tartuntaa levittävällä henkilöllä on kasvomaski, mutta odotustilan tartunnalle altistuneilla henkilöillä ei ole. Verrattaessa kuvan 4 ja 5 tilanteita huomataan, että kun tartuntaa levittävällä on kasvomaski, lisääntyvyysluku pienenee merkittävästi Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla luvusta 0,77 lukuun 0,39.



Kuva 5. Koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun tartunnan saaneella on kasvomaski, mutta altistuneilla ei ja odotustila on täynnä.

Kuvan 6 tilanteessa kaikilla odotustilan henkilöillä on kasvomaskit. Odotustila on tässäkin tapauksessa täynnä. Verratessa kuvia 2 ja 6 voidaan huomata kasvomaskien pitämisen merkitys. Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla lisääntymisluku on pienentynyt luvusta 1,10 lukuun 0,39.



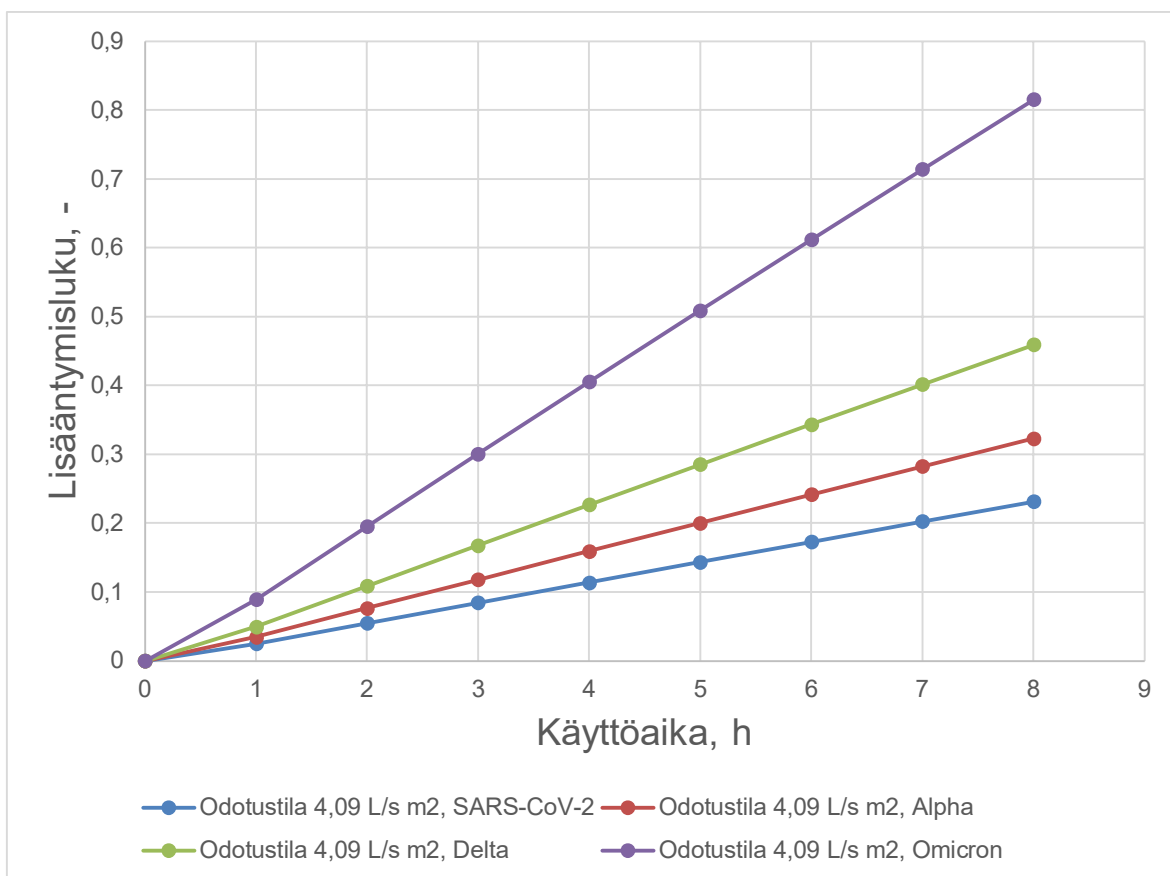
Kuva 6. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun kaikilla on kasvomaskit ja odotustila on täynnä.

5.2 Sairaala Nova

Sairaala Novan tutkimukseen valittiin päivystyksen odotustila. Odotustila on pinta-alaltaan 44 neliötä. Odotustila on 15 henkilölle. Tuloa ja poistoa tilaan tulee 180 l/s eli odotustilan ilmamäärä on mitoitettu noin 4,1 l/s neliötä kohden tai 12 l/s henkilöä kohden. Odotustilan alakattokorkeus on kolme metriä.

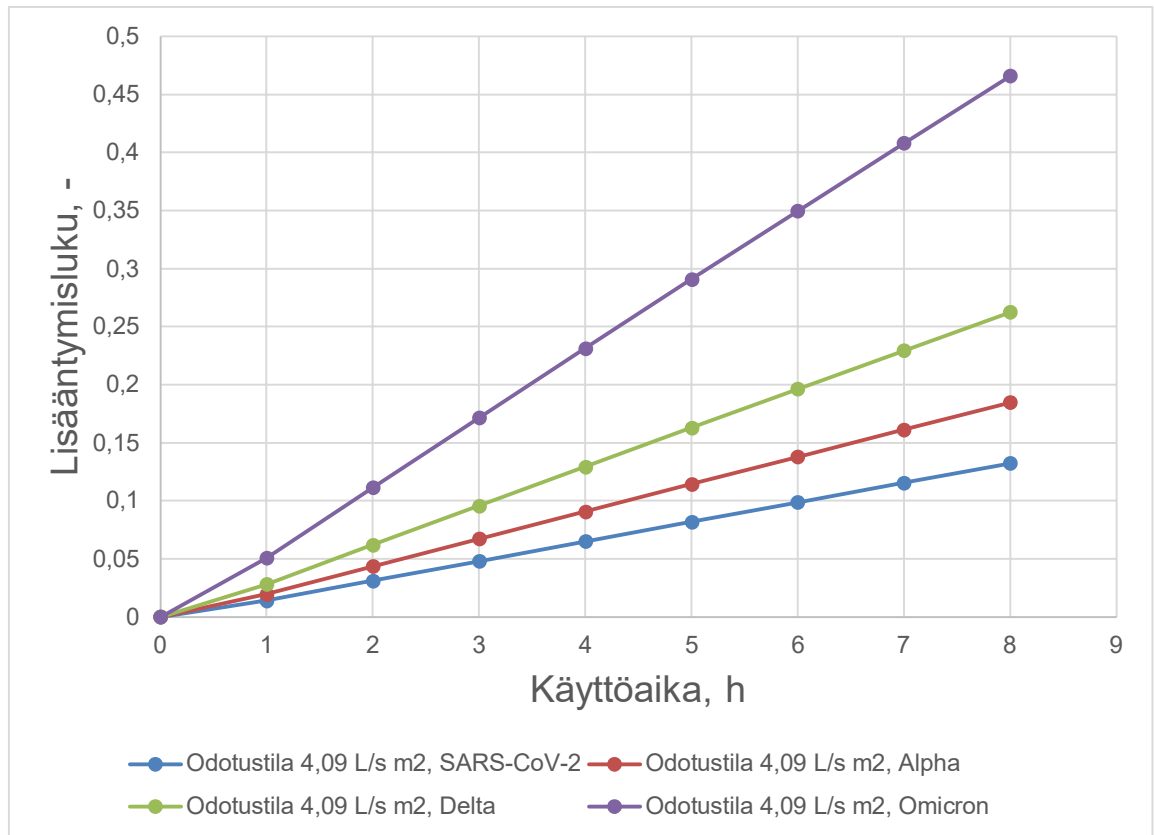
Kuvan 7 tilanteessa lisääntymisluku on 0,82 Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin kohdalla. Epidemian hallitsemiseksi luvun tulisi olla alle 1, ja tämä täyttyy jopa pahimmassa tilanteessa, jossa kenelläkään odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia. Kuvan 2 odotustilassa ilmamäärä oli mitoitettu 10 l/s henkilöä

kohden, kun taas kuvan 7 odotustila 12 l/s henkilöä kohden. Lisääntymisluvussa huomataan merkittävä ero, kun ilmamäärä on suurempi luvusta 1,10 lukuun 0,82.



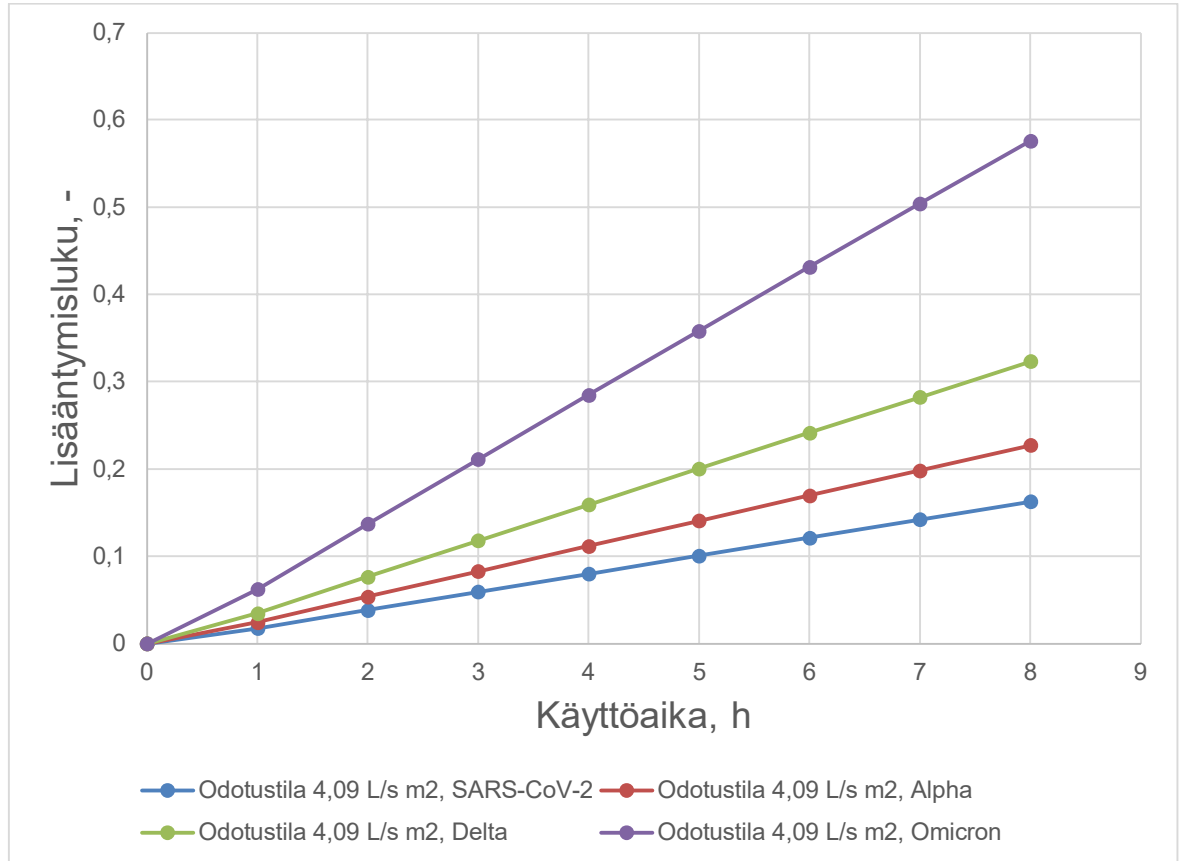
Kuva 7. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia ja odotustila on täynnä.

Kuvan 8 tilanteessa odotustilassa on noin puolet eli seitsemän henkilöä. Verrattessa Omikron-varianttia kahdeksan tunnin kohdalla, lisääntymisluku on pienentynyt luvusta 0,82 lukuun 0,41.



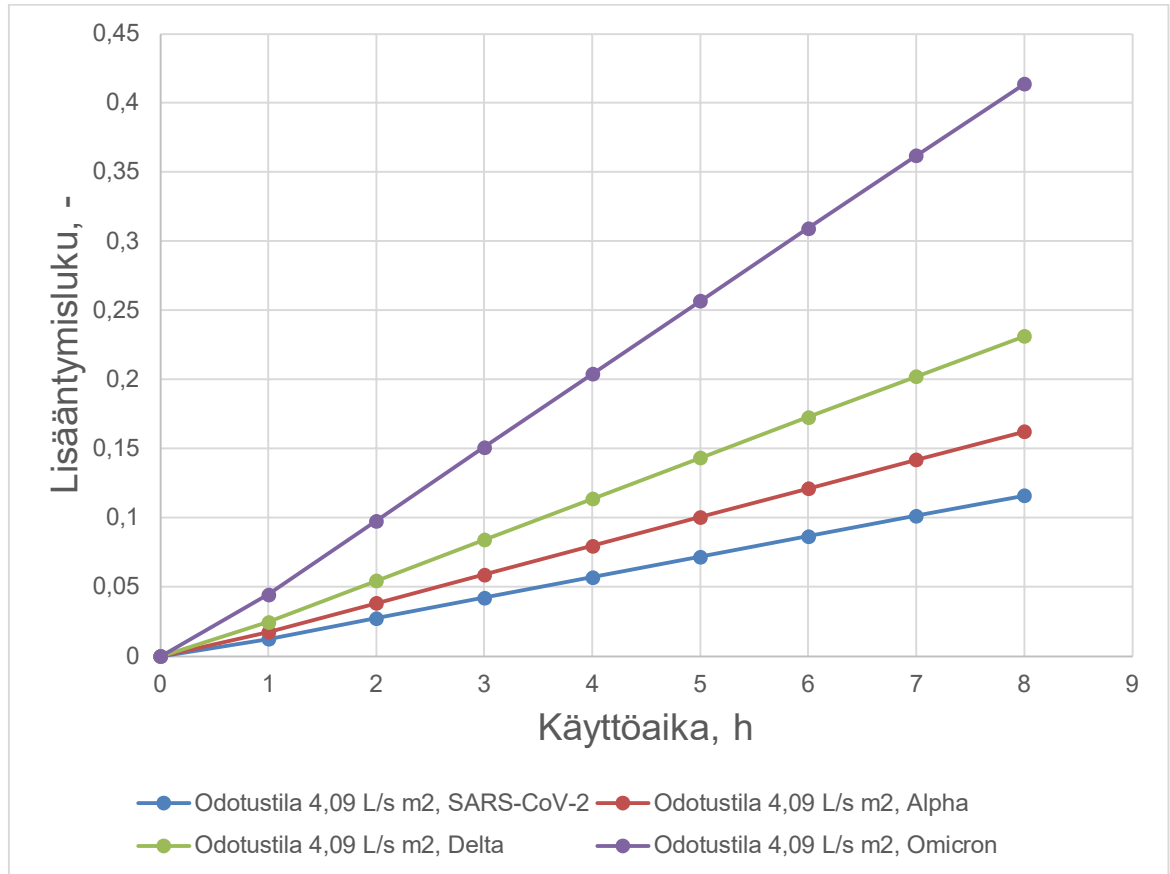
Kuva 8. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia ja odotustila kahdeksan henkilöä.

Kuvan 9 tilanteessa kaikilla odotustilan altistuneilla henkilöillä eli 14 henkilöllä on kasvomasakit, mutta tartuntaa levittävällä ei ole. Verrattessa kuvan 4 ja 9 tilanteita, Omikron-variantin lisääntymisluku on alhaisempi kuvan 9 tilanteessa. Omikron-variantin kohdalla luku on pienentynyt luvusta 0,77 lukuun 0,58.



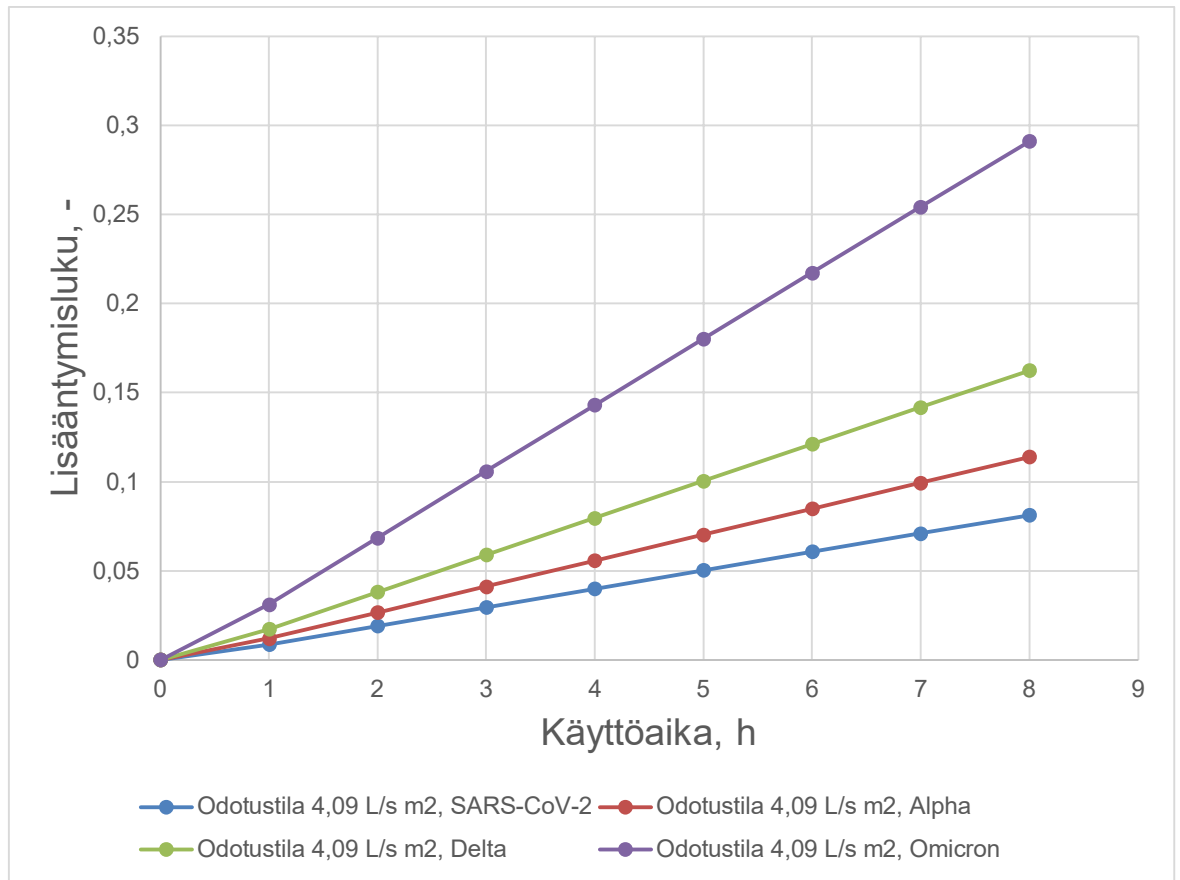
Kuva 9. Koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun altistuneilla on kasvomasakit, mutta tartunnan saaneella ei ja odotustila on täynnä.

Kuvan 10 tilanteessa tartuntaa levittävällä henkilöllä on kasvomaski. Verrattaessa kuvan 9 tilanteeseen, missä altistuneilla on kasvomaskit, huomataan selkeä ero lisääntymisluvussa. Luku pienenee luvusta 0,58 lukuun 0,41. Tilanteessa 10 lisääntymisluku alittaa epidemian hallitsemiseksi suositellun luvun 0,5.



Kuva 10. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun tartunnan saaneella on kasvomaski, mutta altistuneilla ei ja odotustila on täynnä.

Kuvan 11 tilanteessa kaikilla odotustilan henkilöillä on kasvomaskit. Kuvasta huomataan, että kaikkien varianttien lisääntymisluku on kahdeksankin tunnin kohdalla alle 0,5.

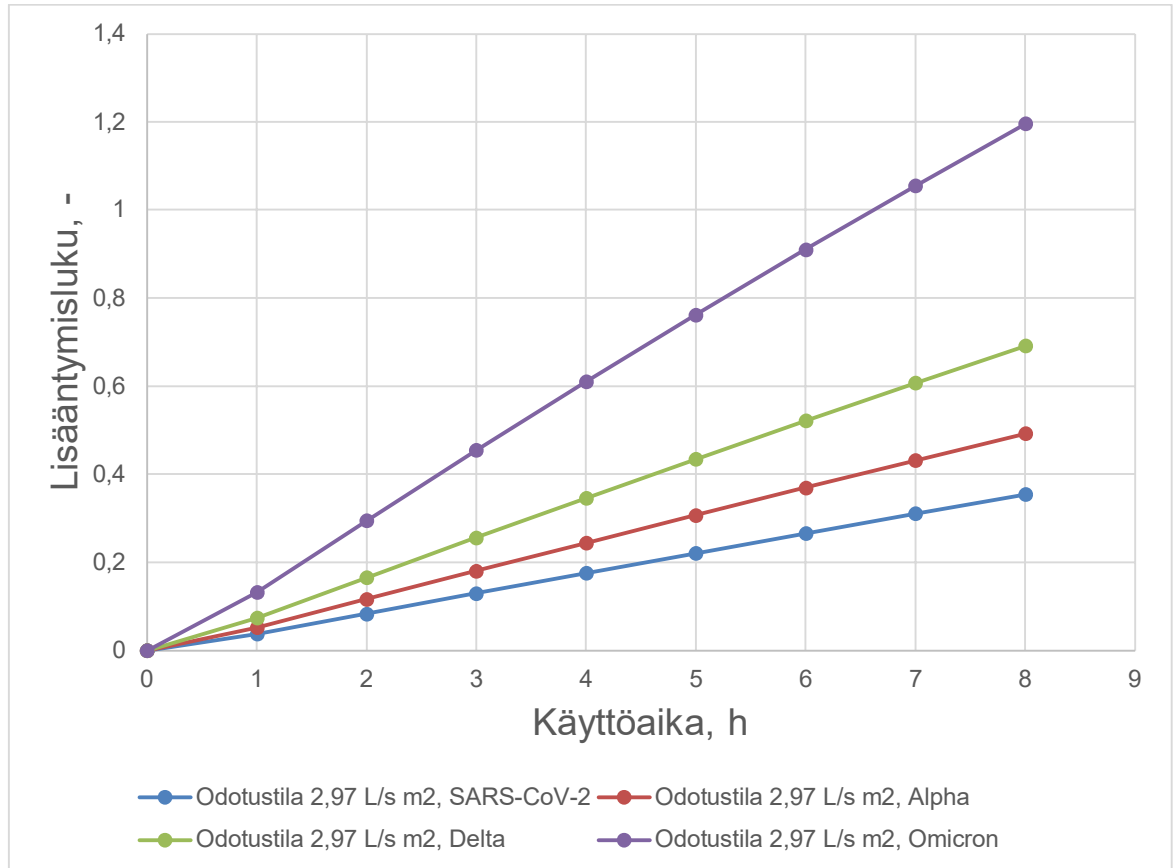


Kuva 11. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun kaikilla on kasvomaskit ja odotustila on täynnä.

5.3 T3 Majakkasairaala

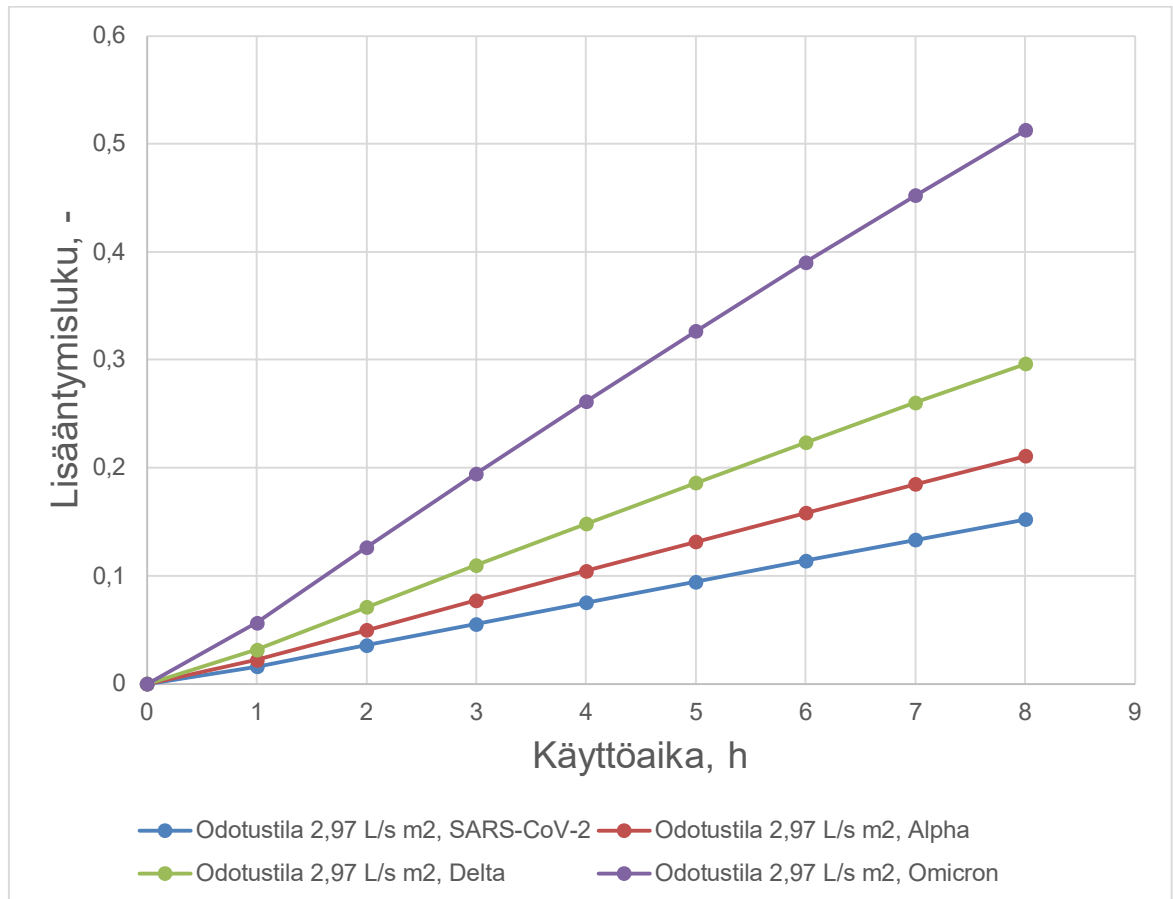
T3 Majakkasairaalan tutkimukseen valittiin vastaanoton odotustila. Odotustila on pinta-alaltaan 18,5 neliötä. Odotustila on kahdeksalle henkilölle. Tuloa ja poistoa tilaan tulee 55 l/s eli odotustilan ilmamäärä on mitoitettu noin 3 l/s neliötä kohden tai noin 6,9 l/s henkilöä kohden. Odotustilan alakattokorkeus on 2,8 metriä.

Kuvan 12 tilanteessa lisääntymisluku on 1,2 Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin kohdalla. Epidemian hallitsemiseksi luvun tulisi olla alle 1. Epidemia- ja pandemiatilanteissa tulee siis huolehtia, että odotustilan olevilla henkilöillä on joko kasvomasakit, tila ei saa olla täynnä tai tila ei saa olla yhtäjaksoisessa käytössä kahdeksan tunnin ajan.



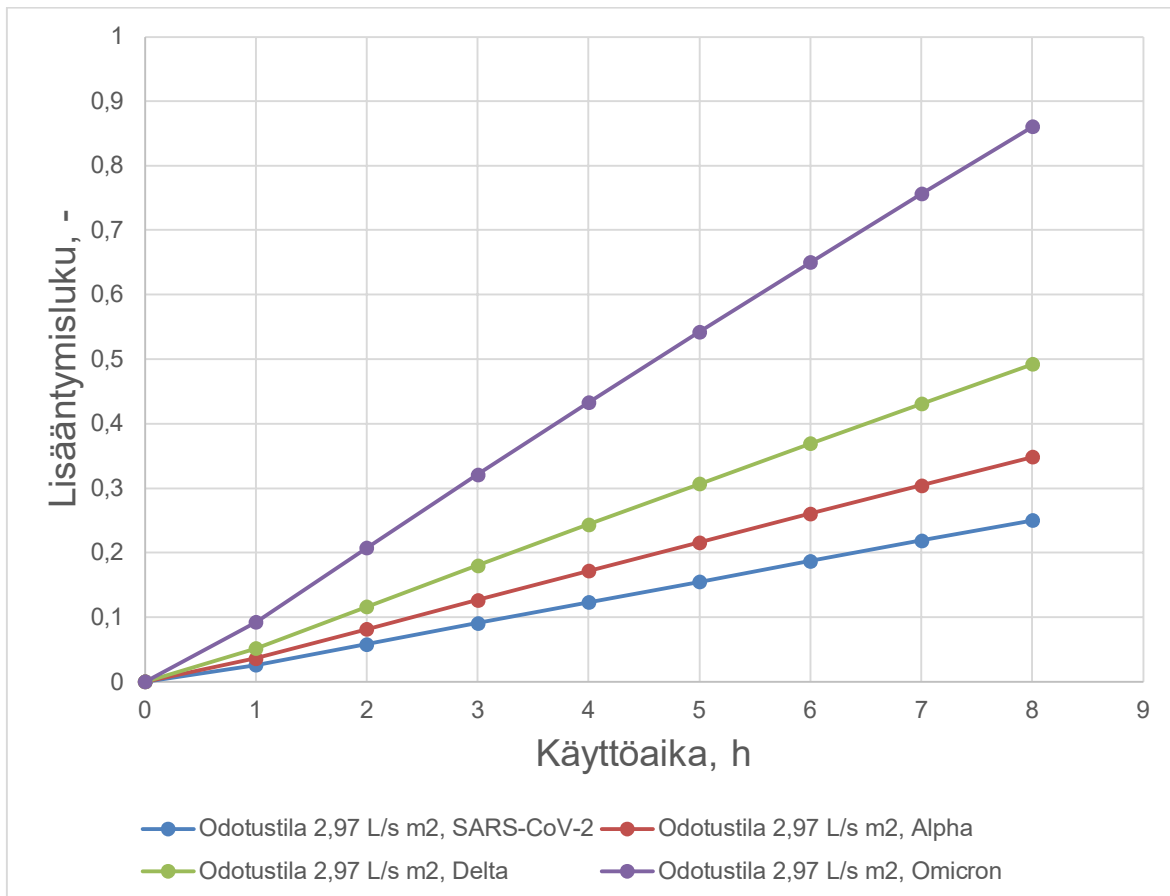
Kuva 12. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskea ja odotustila on täynnä.

Kuvan 13 tilanteessa odotustilassa on puolet enimmäishenkilömäärästä. Lisäntymisluku on laskenut kuvan 12 pahimmasta tilanteesta luvusta 1,20 lukuun 0,51. Epidemiatilanteessa odotustilan henkilömäärän puolittamisella päästään lähelle suositeltua lukua 0,5. Tilanteessa, jossa odotustilanteen henkilöillä ei ole maskia, voidaan vähentää odotustilan henkilömäärää.



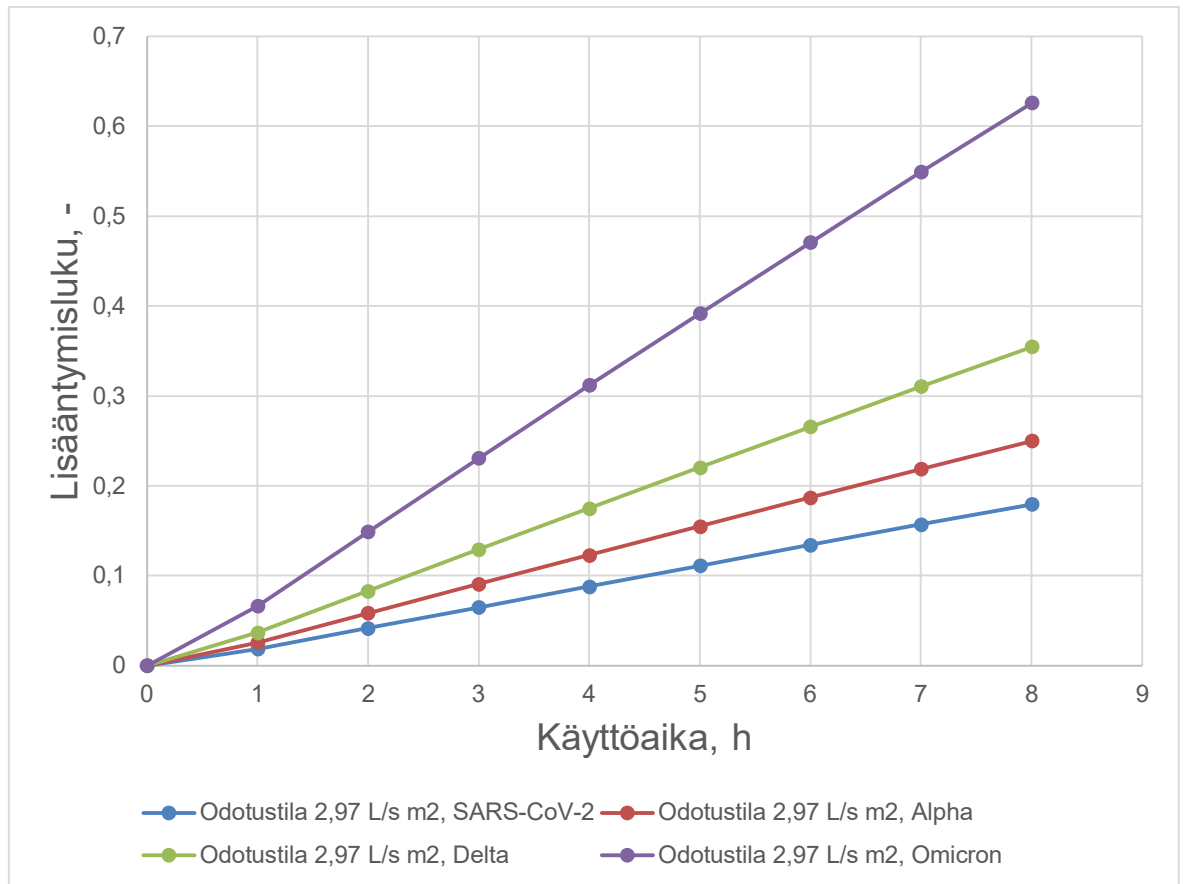
Kuva 13. Koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia ja odotustila on puolillaan.

Kuvan 14 tilanteessa altistuneilla on maskit, mutta viruksen levittäjällä ei ole. Tässä tilanteessa lisääntymisluku on 0,86. Epidemiatilanteessa joko kaikilla odotustilan henkilöillä pitäisi olla maskit, odotustila ei saa olla yhtäjaksoisessa käytössä kahdeksan tunnin ajan tai tilan henkilömäärää on pienennettävä.



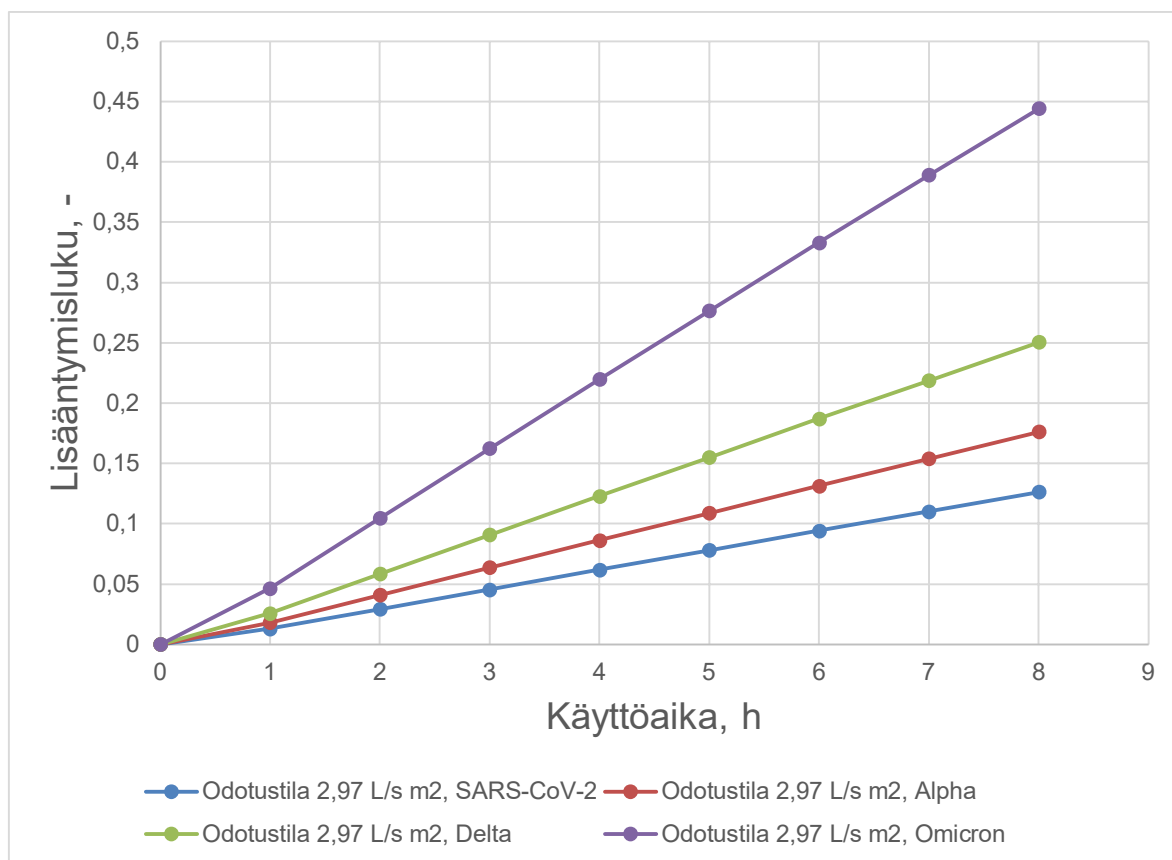
Kuva 14. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun altistuneilla on kasvomaskit, mutta tartunnan saaneella ei ja odotustila on täynnä.

Kuvan 15 tilanteessa tartuntaa levittävällä henkilöllä on kasvomaski, mutta virukselle altistuneilla henkilöillä ei ole. Ainoastaan Omikron-variantti kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla ylittää suositellun lisääntymisluvun eli luvun 0,5.



Kuva 15. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun tartunnan saaneella on kasvomaski, mutta altistuneilla ei ja odotustila on täynnä.

Kuvan 16 tilanteessa kaikilla odotustilan henkilöillä on kasvomaskit. Tällöin lisääntymisluku on Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla alle suositellun 0,5.



Kuva 16. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun kaikilla on kasvomaskit ja odotustila on täynnä.

6 Puhtaan ilman tuoton parantaminen ilmanpuhdistimilla

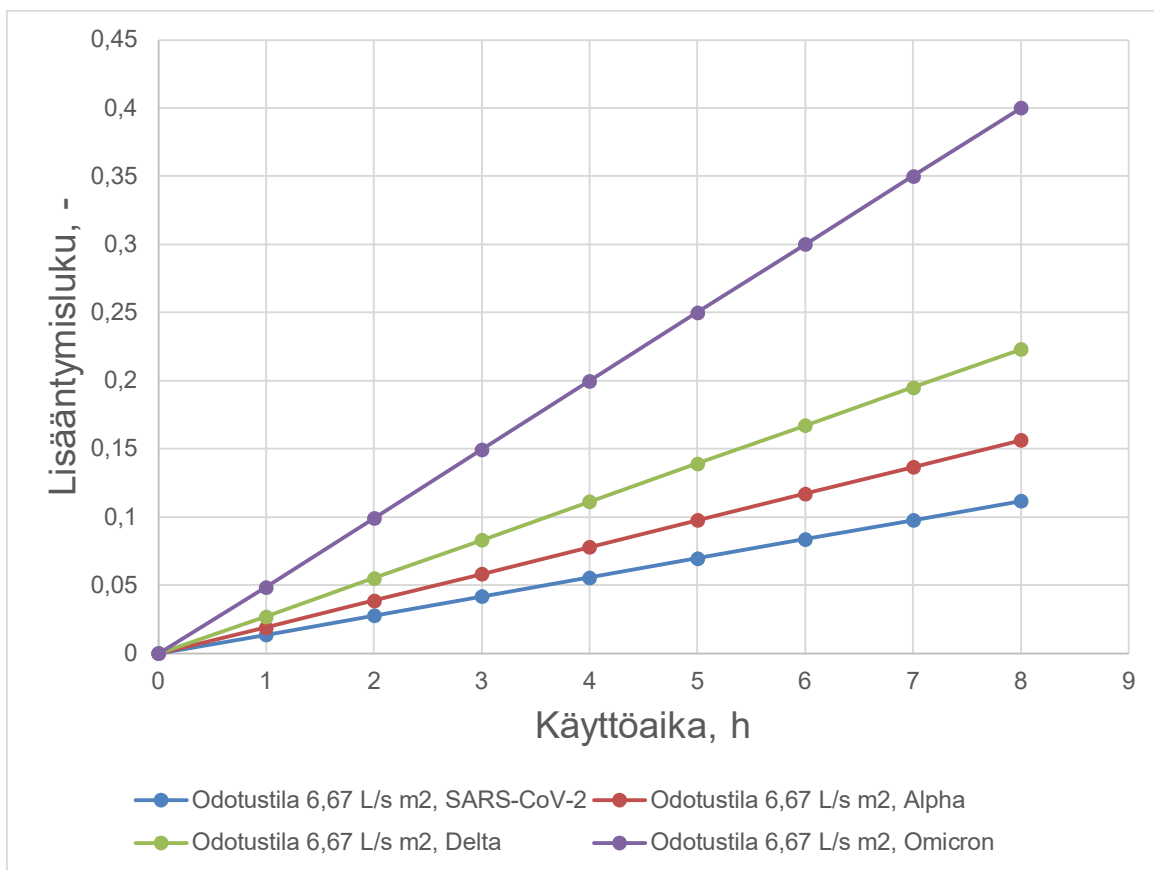
Ilmanpuhdistimien tarkoitus on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia ja tehostaa ilmanvaihdon toimivuutta [18, s. 15]. ASHRAE suosittelee käyttämään ilmanpuhdistimia tiloissa, joissa ilmanvaihto ei täytä sille asetettuja suosituksia ja määräyksiä [19, s. 1]. Ilmanvaihto on usein puutteellinen vanhoissa sairaaloissa [20, s. 42]. Vanhojen sairaalakiinteistöjen ilmanvaihtosuunnitelmat on tehty rakennushetkellä voimassa olevien määräysten mukaisesti, ne eivät vastaa nykyisiä suosituksia [12]. Tästä syystä vanhoissa kiinteistöissä yksinkertaisin tapa parantaa ilman laatua on lisätä tilakohtainen ilmanpuhdistin.

Insinööriyössä tutkittiin, voidaanko ilmanpuhdistimia käyttämällä vaikuttaa tartunnan todennäköisyyteen tilanteissa, joissa lisääntymisluku oli yli 0,5. Kaikissa tutkittavissa tilanteissa odotushuoneet olivat täynnä. Tutkinnassa käytettiin REHVA:n Covid-19-ilmanvaihtolaskuria.

Ilmanpuhdistimien ilmamäärä on Covid-19-ilmanvaihtolaskurissa REHVA:n ohjeistuksen mukainen eli kaksi kertaa odotustilan ilmanvaihto [21, s. 2]. REHVA:n Covid-19-ilmanvaihtolaskurin tuloksia voidaan käyttää suuntaa antavina, mutta tuloksia ei tule käyttää absoluuttisen riskin arviontiin.

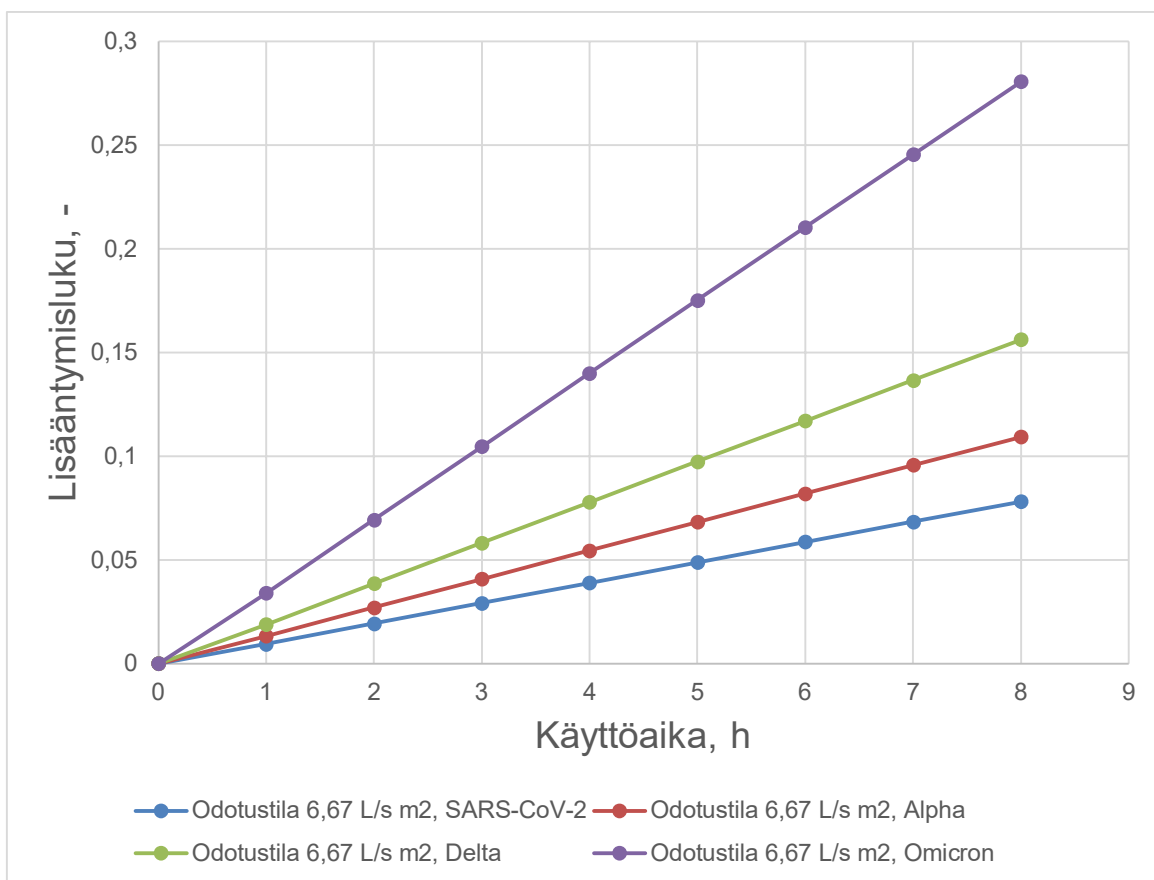
6.1 Ilmanpuhdistin Meilahden siltasairaalan odotustilassa

Verrattaessa kuvan 2 ja 17 tilannetta huomataan ilmanpuhdistimen suuri vaikutus. Lisääntymisluku pienenee luvusta 1,10 lukuun 0,4. Epidemiatilanteissa ilmanpuhdistimia voitaisiin lisätä tiloihin, joissa ilmanvaihto ei ole riittävä. Ensimmäisestään sairaaloiden tiloissa tulisi käyttää kasvomaskia, mikä itsessään jo vähentää lisääntymislukua.



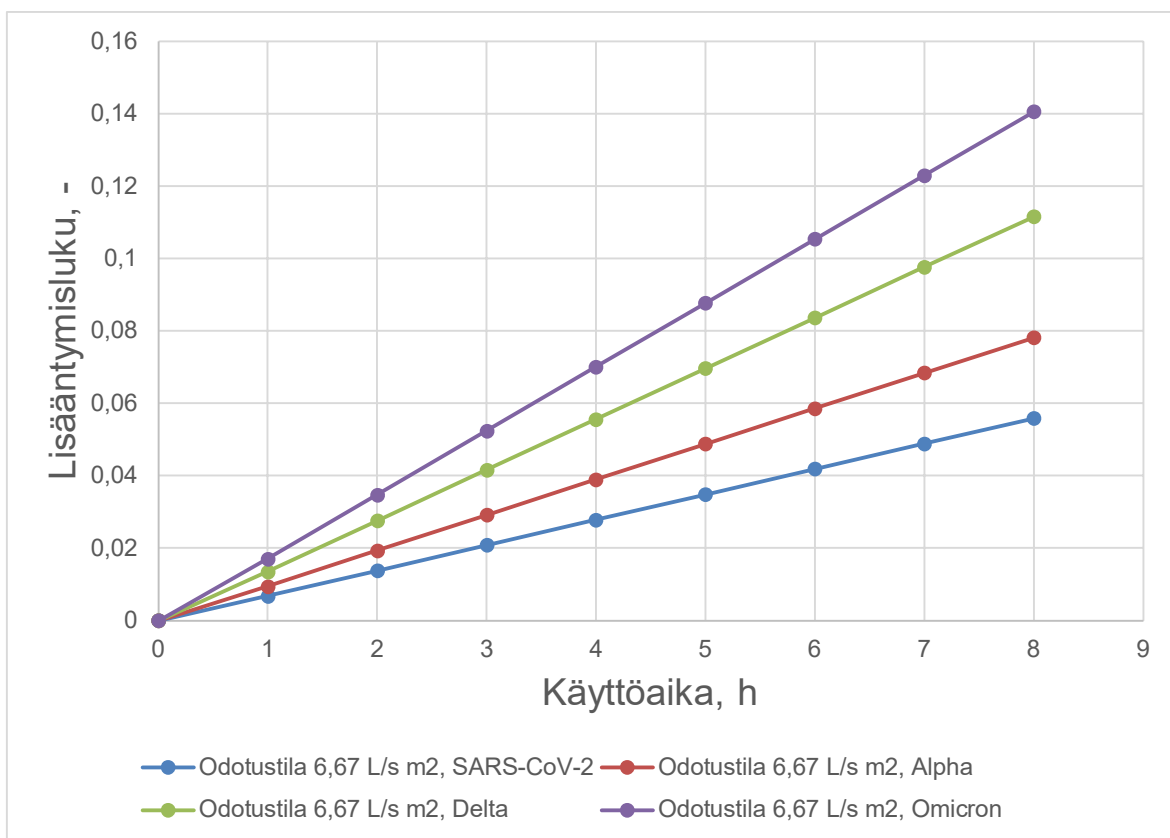
Kuva 17. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia.

Kuvan 18 tilanteessa Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin kohdalla lisääntymisluku on 0,28. Tilanteessa, jossa ei ollut ilmanpuhdistinta eli kuvassa 4 luku oli 0,77.



Kuva 18. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun altistuneilla on kasvomaskit, mutta tartunnan saaneella ei.

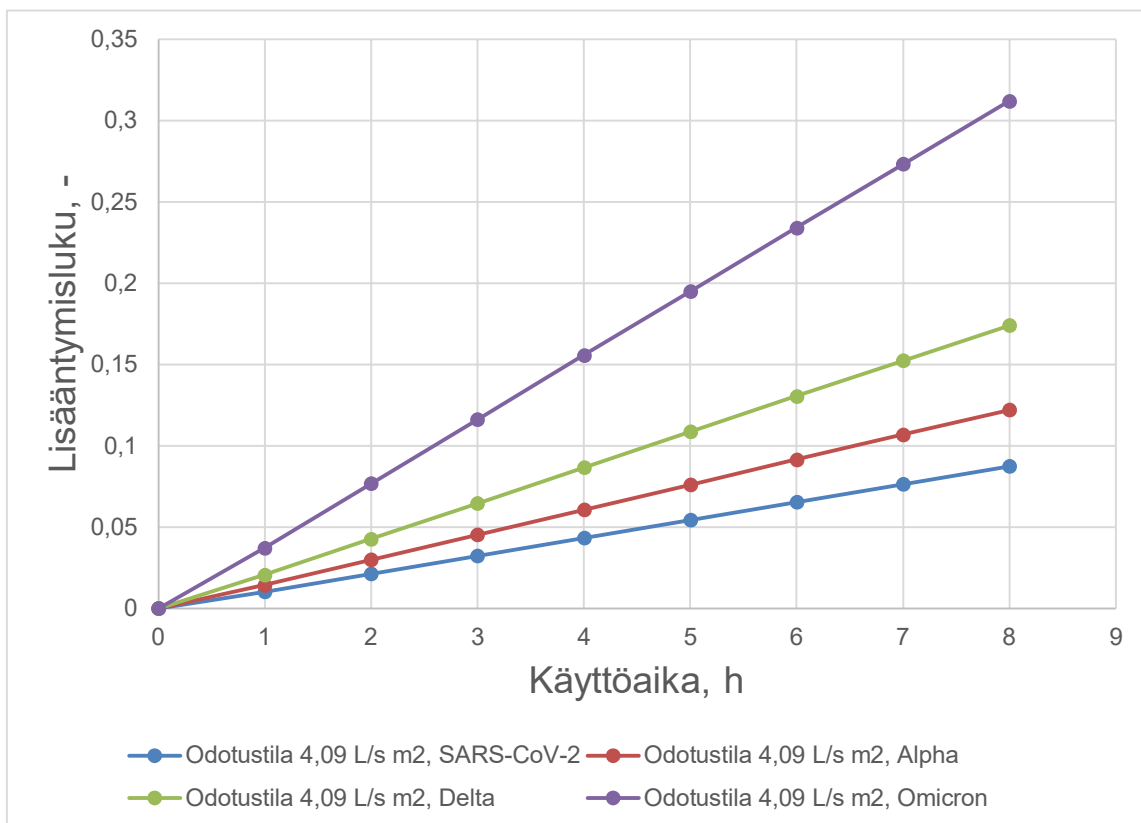
Verratessa kuvan 5 ja 19 tilannetta lisääntymisluku on pienentynyt pahissa skenaariossa eli Omikron-varinantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla luvusta 0,55 lukuun 0,14.



Kuva 19. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun tartunnan saaneella on kasvomaski, mutta altistuneilla ei.

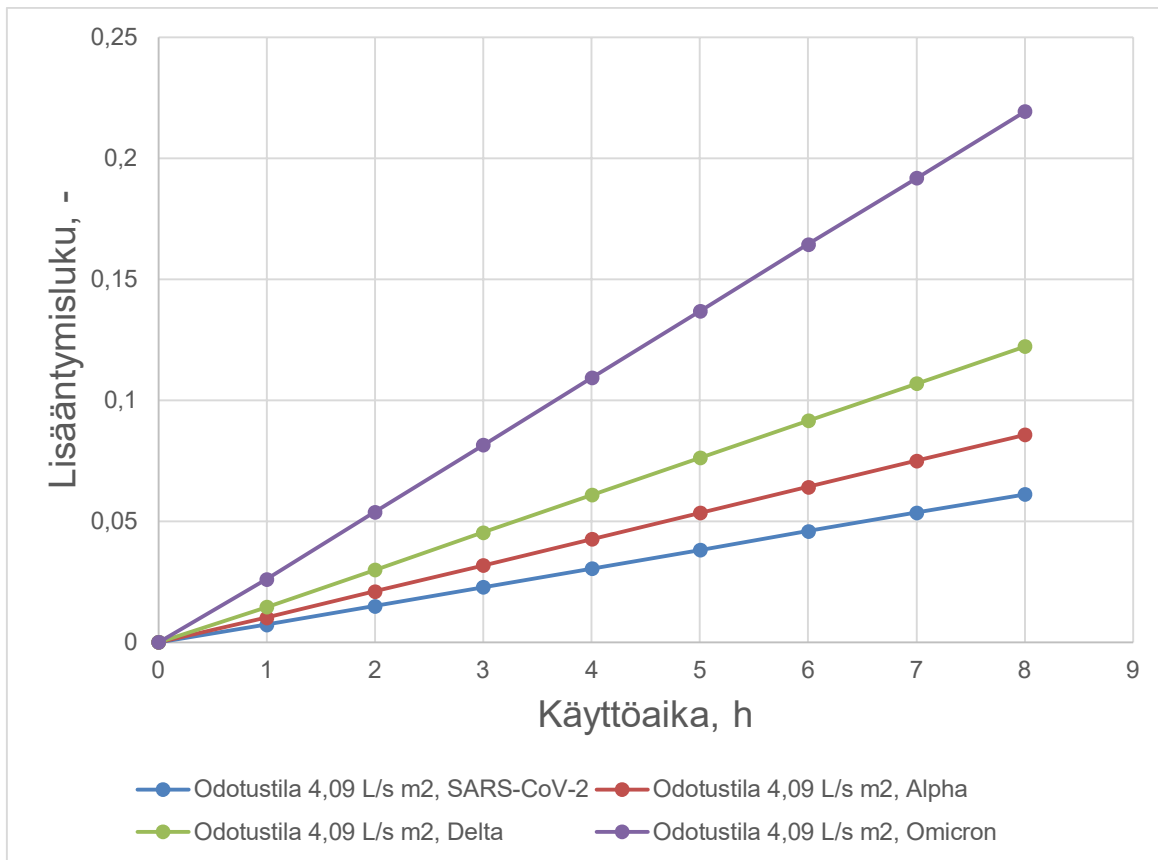
6.2 Ilmanpuhdistin sairaala Novan odotustilassa

Kun odotustilaan on lisätty ilmanpuhdistin, tilan lisääntymisluku on vähentynyt verrattessa kuvan 7 ja 20 tilannetta. Luku on vähentynyt Omikron-varinantin ja kahdeksan tunnin kohdalla luvusta 0,82 lukuun 0,31.



Kuva 20. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia.

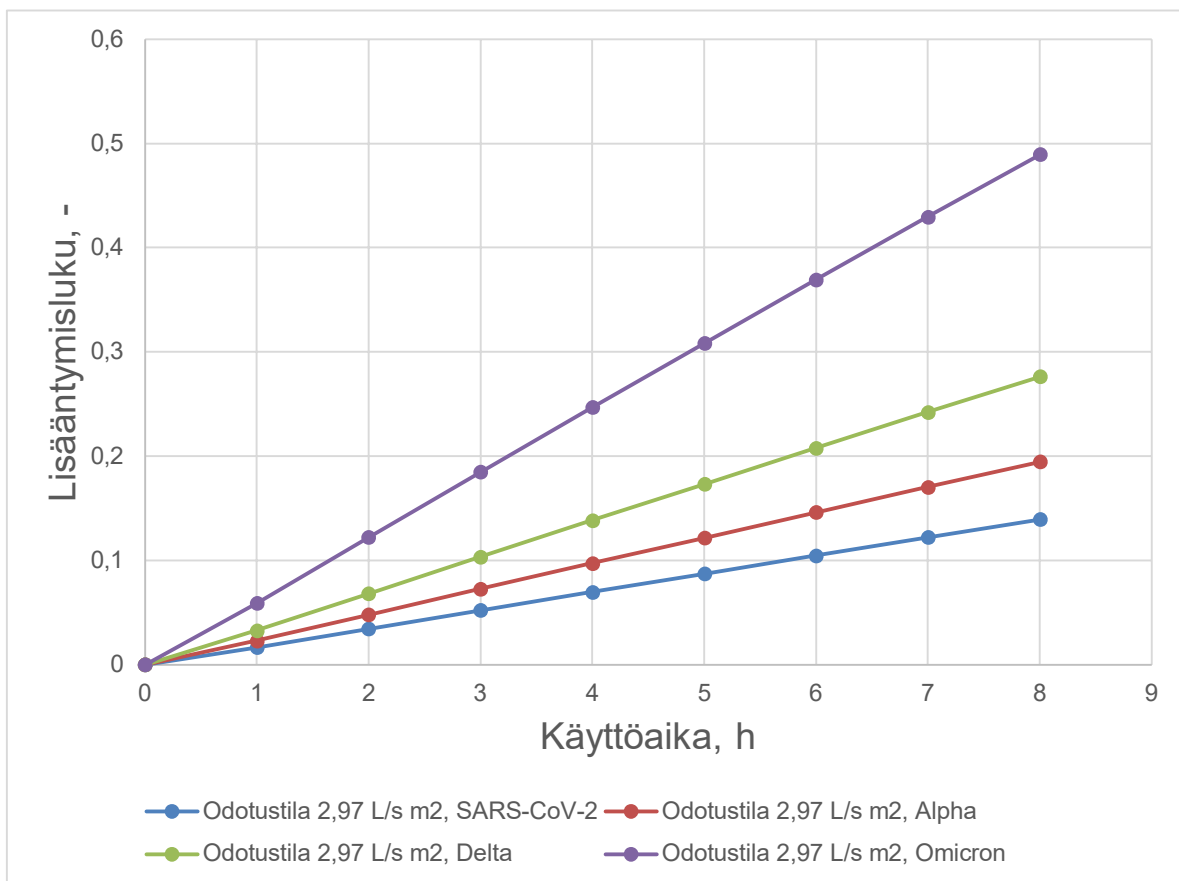
Verratessa kuvan 8 ja 21 tilanteita lisääntymisluku on pienentynyt Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin kohdalla luvusta 0,58 lukuun 0,22.



Kuva 21. Koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun altistuneilla on kasvotmaskit, mutta tartunnan saaneella ei.

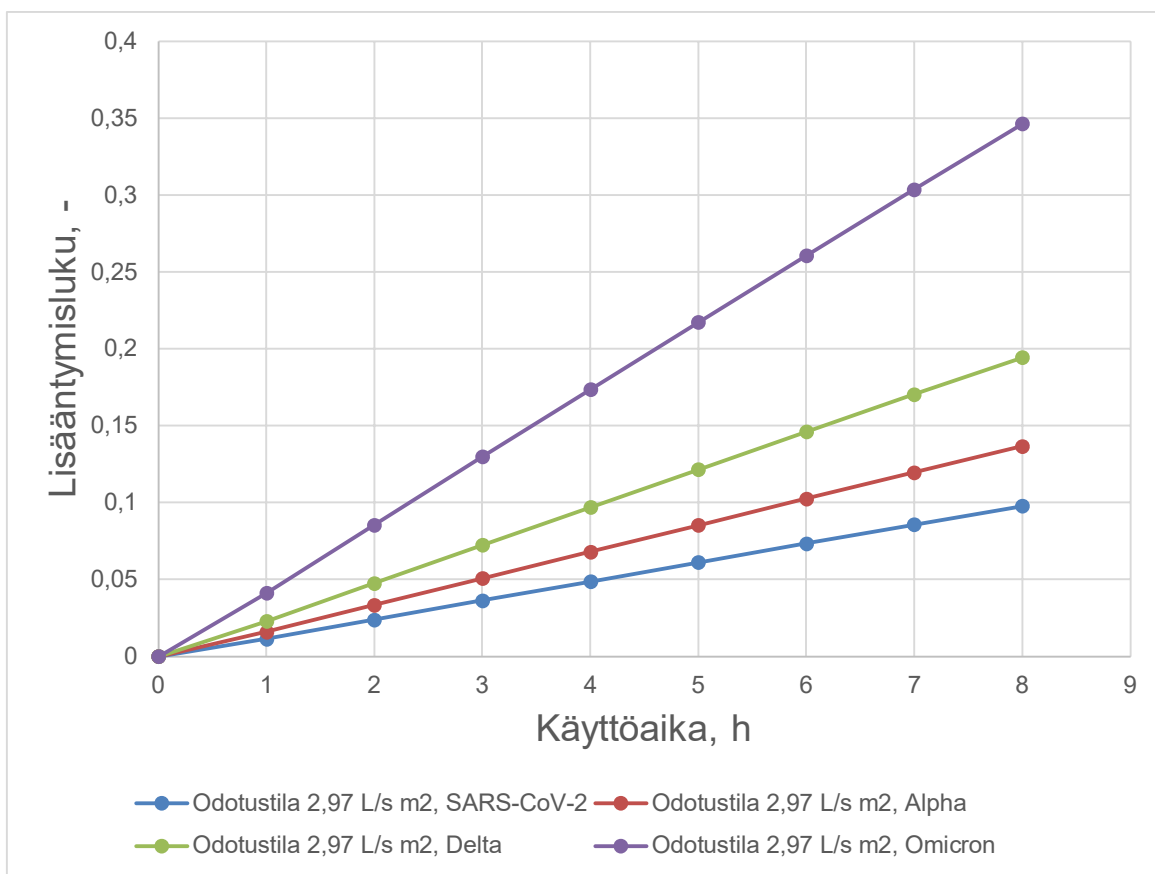
6.3 Ilmanpuhdistin T3-sairaalan odotustilassa

Verratessa kuvan 12 ja 22 tilannetta, joka katsotaan Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalta, lisääntymisluku on pienentynyt luvusta 1,20 lukuun 0,49.



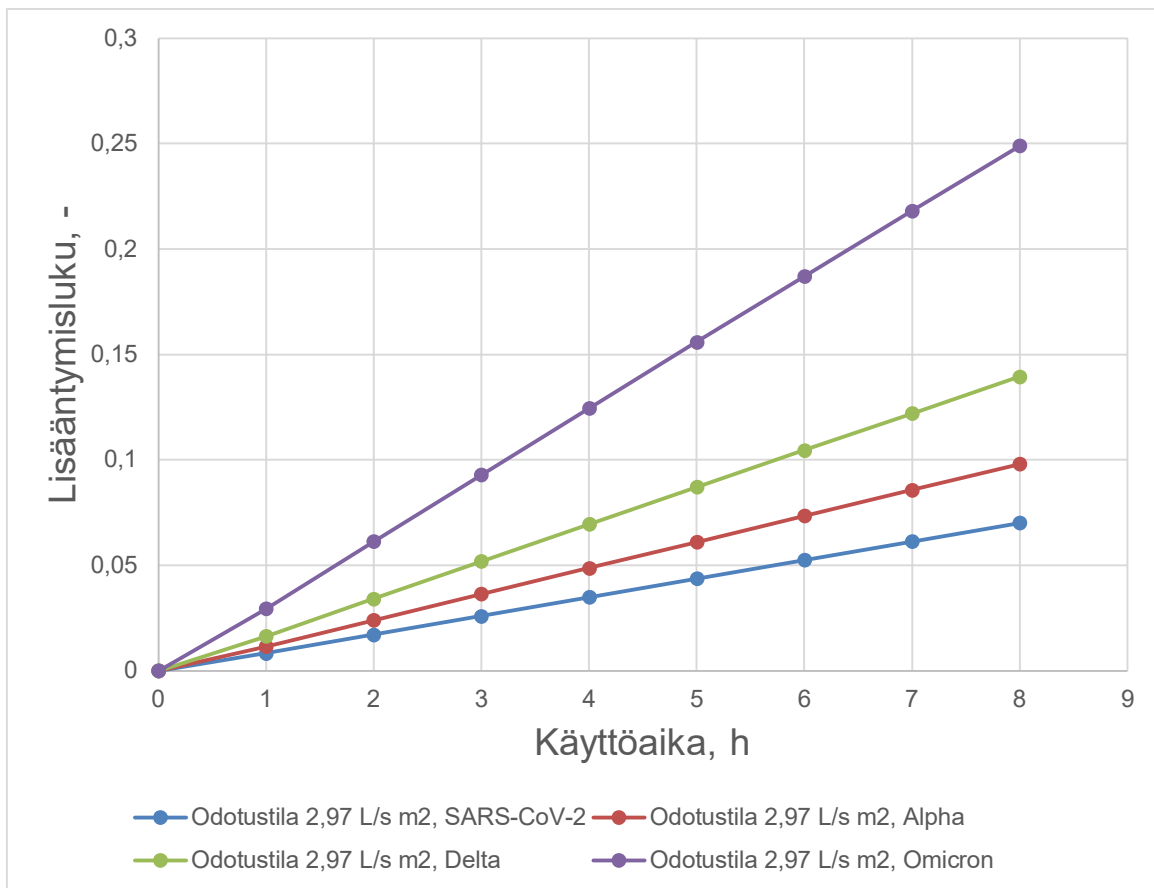
Kuva 22. Koronavirusvariantin tartunnan todennäköisyys, kun odotustilan henkilöillä ei ole kasvomaskia.

Kuvan 23 tilanteessa johon on lisätty ilmanpuhdistin lisääntymisluku on pienentynyt Omikron-variantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla kuvan 14 tilanteesta luvusta 0,86 lukuun 0,35.



Kuva 23. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun altistuneilla on kasvomaskit, mutta tartunnan saaneella ei.

Verratessa kuvan 15 ja 24 tilannetta lisääntymisluku on pienentynyt pahissa skenaariossa eli Omikron-varinantin ja kahdeksan tunnin käyttöajan kohdalla luvusta 0,63 lukuun 0,25.



Kuva 24. Koronavariantin tartunnan todennäköisyys, kun tartunnan saaneella on kasvomaski, mutta altistuneilla ei.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia, kuinka kolmen sairaalan odotustilojen ilmanvaihto vaikuttaa korona viruksen leviämiseen ja millä muilla keinoilla kuin ilmanvaihtokertoimella voidaan vaikuttaa tartunnan todennäköisyyteen. Tulokset ovat suuntaa antavat, mutta niitä voidaan käyttää apuna odotustilojen ilmanvaihdon suunnittelussa ja apuna sekä tilanteessa, jossa uusi epidemia tai pandemia on mahdollinen.

Tutkimuksissa huomattiin, että lisääntymisluku oli alhaisin, kun kaikilla henkilöillä oli kasvomaskit. Lisääntymisluku oli myös alhainen tilanteessa, jossa tartuntaa levittävä henkilö oli kasvomaski. Tämän takia epidemia- ja pandemiatilanteissa on tärkeää käyttää kasvomaskeja. Tartunnan saanut henkilö ei välttämättä tunne itseään vielä sairaaksi, ja tämän takia jokaisen tulisi käyttää varsinkin sairaalaympäristössä kasvomaskia.

Tilanteissa, joissa odotustilojen ilmanvaihto ei ole epidemiatilanteissa riittävä, voidaan lisääntymislukua pienentää pitämällä kasvomaskeja, vähentämällä tilan henkilömäärää, vähentämällä tilassa vietettyä aikaa tai lisäämällä tilaan ilmanpuhdistin. Ilmanpuhdistin on kuitenkin aina yksi uusi huoltokohde sairaalassa, joten ilmanpuhdistimen lisääminen ei ole kaikissa tapauksissa järkevä ratkaisu.

Insinööriyössä tehdyn selvityksen perusteella tuloksista huomattiin, että lisääntymisluku pienenee merkittävästi, kun ilmanvaihto oli mitoitettu 12 l/s henkilöä kohden verrattaessa kohteeseen, missä ilmanvaihto oli mitoitettu noin 6,9 l/s henkilöä kohden. Kuten yksi haastateltavistakin totesi, sairaaloiden odotustilojen ilmanvaihto tulisi mitoittaa minimissään 10 l/s henkilöä kohden.

Lähteet

- 1 Tiusanen, Sara. 2023. Virusten aerosolivälitteinen leviäminen ja leviämiskisriskin vähentäminen toimistoympäristöissä. Pro gradu -tutkielma. Itä-Suomen yliopisto. eRepo-tietokanta.
- 2 Leppänen, Hanna. 2021. Koronan ilmapölyväälitteinen leviäminen ja sen torjunta. Verkkoaineisto. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://www.sli-deshare.net/THLfi/koronan-ilmapölyväälitteinen-leviminen-ja-sen-torjuminen-hanna-leppnen>>. 20.12.2021. Luettu 16.8.2023.
- 3 Auvinen, Mikko; Izbassarov, Daulet & Hellsten, Antti. 2023. Modeling airborne pathogen dispersion under different indoor ventilation conditions. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <https://www.pandemicresponse.fi/_files/ugd/1b730d_5db701417af345f6970c29e3c0803743.pdf>. 16.5.2023. Luettu 16.5.2023.
- 4 Health-based target ventilation rates and design method for reducing exposure to airborne respiratory infectious diseases. 2022. Verkkoaineisto. REHVA. <https://www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/2022/Health-based_target_ventilation_rates_and_design_method_for_reducing_exposure_to_airborne_respiratory_infectious_diseases.pdf>. 21.12.2022. Luettu 15.8.2023.
- 5 Sze To, G. N & Chao, Christopher Y. H. 2009. Review and comparison between the Wells–Riley and dose-response approaches to risk assessment of infectious respiratory diseases. Verkkoaineisto. National Library of Medicine. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7202094/>>. 31.7.2009. Luettu 16.8.2023.
- 6 Seppänen, Olli. 2020. REHVA COVID-19 guidance document. Verkkoaineisto. Finvac Ry. <<https://finvac.org/rehva-covid-19-guidance-document-3-8-2020/>>. 26.11.2020. Luettu 15.8.2023.
- 7 Core recommendations for reducing airborne infectious aerosol exposure. 2021. Verkkoaineisto. ASHRAE. <<https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/core-recommendations-for-reducing-airborne-infectious-aerosol-exposure.pdf>>. 19.10.2021. Luettu 21.8.2023.
- 8 What Are the Differences between a MERV 13 and a HEPA Filter. Verkkoaineisto. ISO-Aire. <<https://www.iso-aire.com/blog/what-are-the-differences-between-a-merv-13-and-a-hepa-filter>>. Luettu 16.8.2023.
- 9 Chart of MERV ratings and the filter type and particles removed. HEPA filters are at the highest MERV level and do the best with protecting against air pollutants. Verkkoaineisto. ISO-Aire. <<https://images.squarespace->

- cdn.com/content/v1/5f0893d2fe49967f7825d046/1626893181024-GUVPGVY35LKRHQ179MV/MERV+filter+rating?format=2500w>. Luettu 16.8.2023.
- 10 Vasara, Jukka. 2023. Leikkaussalien ilmanpuhtauden vaatimukset. Granlund Oy. Helsinki. Luento 5.9.2023.
 - 11 Puusaari, Aila. 2023. Ryhmäpäällikkö, Granlund Oy, Teams-palaveri. Haastattelu 28.9.2023.
 - 12 Niemelä, Jaakko. 2023. Ryhmäpäällikkö, Granlund Oy, Espoo. Haastattelu 25.9.2023.
 - 13 Kämäräinen, Jyrki. Suunnittelujohtaja, LVI, Granlund Oy, Teams-palaveri. Haastattelu 27.9.2023.
 - 14 Idman, Tapani. Liiketoimintajohtaja, Granlund Oy, Teams-palaveri. Haastattelu 3.10.2023.
 - 15 Haapio, Erno. Osastajohtaja, Granlund Oy, Teams-palaveri. Haastattelu 27.9.2023.
 - 16 COVID-19 Ventilation Calculator. Versio 2.1. 2022. REHVA.
 - 17 COVID-19 Ventilation Calculator documentation version 2.0. 2021. Verkkoaineisto. REHVA. <https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Downloadable_documents/REHVA_COVID-19_Ventilation_Calculator_user_guide_V2.0.pdf>. 1.8.2021. Luettu 21.8.2023.
 - 18 Luoto, Anni. 2022. Terveystieteiden potilasvastaanottohuoneen ilmanvaihtoratkaisut hengitystieinfektioiden torjunnassa käyttäen 3D virtausmallintia. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
 - 19 In-room air cleaner guidance for reducing covid 19 in air in your space/room. 2021. Verkkoaineisto. ASHRAE. <<https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/in-room-air-cleaner-guidance-for-reducing-covid-19-in-air-in-your-space-or-room.pdf>>. 21.1.2021. Luettu 16.10.2023.
 - 20 Siro, Kristian. 2017. Tilamoduulien hyödyntäminen sosiaali- ja terveydenhuollon tiloissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
 - 21 Criteria for room air cleaners for particulate matter. Verkkoaineisto. REHVA. <https://www.rehva.eu/fileadmin/content/documents/Downloadable_documents/REHVA_COVID-19_Recommendation_Criteria_for_room_air_cleaners_for_particulate_matter.pdf>. Luettu 2.10.2022