



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ville Alanen

Leikkaussalien mikrobiologisten mit- tausten arviointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.11.2021

Tekijä Otsikko	Ville Alanen Leikkaussalien mikrobiologisten mittausten arviointi
Sivumäärä Aika	42 sivua + 1 liite 30.11.2021
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ohjaajat	varatoimitusjohtaja Jukka Vasara yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Leikkaussalit kuuluvat sairaalarakentamisen haastavimpiin tiloihin sekä suunnittelun että toteutuksen kannalta. Leikkaussalit toteutetaan käyttötarpeen ja etukäteen mietittyjen vaatimusten mukaisesti. Ilmanjakotapana voi olla laminaarinen ilmanjako tai sekoittava ilmanjako. Ilmanjakotavan valintaan vaikuttaa erityisesti kattokiinnitteisten laitteiden määrä ja sijainti sekä haluttu suoja-alueen koko. Muita suunnittelussa tärkeitä lähtötietoja ovat haluttu puhtaustaso, käyttötarkoitus, henkilömäärä, käytettävä vaatetus ja lämpökuormat. Näiden perusteella saadaan määritettyä leikkaussalin ilmanvaihtoratkaisut. Työssä perehdytään näiden määreiden vaikutuksiin leikkaussalin ilman puhtaudessa ja ilmanvaihdon mitoittamisessa.</p> <p>Leikkaussalin suunnittelun ja rakentamisen tueksi on tekeillä Euroopan laajuinen standardiehdotus Ventilation for hospitals, jossa määritetään vähimmäisvaatimukset leikkaussalien ja eristystilojen toteuttamiseksi. Standardiehdotuksen tueksi on Suomessa sijaitsevissa leikkaussaleissa tehty mittauksia liittyen leikkaussalien ilman puhtauteen. Näiden mittausten tuloksia analysoidaan tässä opinnäytetyössä.</p> <p>Vaatetuksen rooli leikkaussalin puhtaudessa on tärkeä. Työssä perehdytään vaatetukseen ja sen merkitykseen liittyen leikkaussalin puhtauteen. Myös erilaisia vaatetuksen mittaustapoja ja suoritettuja mittauksia käydään läpi.</p> <p>Mittaustulosten analysoinnin jälkeen voidaan todeta, että ohjeiden mukaisen 5–20 Pa:n yli-paineisuuden toteutuessa leikkaussalin keskellä oleva suoja-alue pysyy riittävän puhtaana. Ovien avaaminen mahdollistaa mikrobien pääsyn leikkaussaliin, jolloin oikean painetason pitäminen on tärkeää. Parhaan puhtausluokan CL-1 saavuttamiseen vaadittiin kokonaisilmavirta 1 100 l/s tai mitoitus >160 l/s henkilöä kohden.</p>	
Avainsanat	leikkaussali, paine-ero, puhtaus, ilmanvaihto

Author Title	Ville Alanen Evaluation of Microbiological Measurements in Operating Theatres
Number of Pages Date	42 pages + 1 appendix 30 November 2021
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Instructors	Jukka Vasara, Vice President Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to analyse measurement results made in Finnish operating theatres, looking into both laminar air distribution and mixed air distribution, the two methods used for air distribution in operating theatres. The thesis studied the ventilation sizing and the effect of various parameters on the cleanliness of the air in operating theatres. Especially the significance of clothing was considered.</p> <p>The thesis analysed measurement results and established that 5 to 20 Pa overpressure in a protected area is enough to keep the area clean. The importance of correct pressure levels was highlighted by the fact that opening the door allows microbes to enter the operating theatre.</p> <p>The thesis concluded that to achieve the best purity class, a total air flow of 1100 L/s or >160 L/s per person is required. Furthermore, the results provided detailed information on the effects of clothing on the cleanliness of the air in operating theatres. The thesis increases the know-how of operating theatre design.</p>	
Keywords	operating theatre, pressure, cleanliness, hospital ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmanvaihto leikkaussaleissa	3
2.1	Leikkaussalit ja ilmanvaihdon viranomaisohjeistus	3
2.2	Ilmanjako leikkaussaleissa	4
2.2.1	Sekoittava ilmanjako	5
2.2.2	Laminaarinen ilmanjako	8
2.3	Ilmavirran valinta	11
3	Puhtauteen vaikuttavat tekijät	15
3.1	Vaatetus	15
3.1.1	Vaatetukselle asetettavat vaatimukset	15
3.1.2	Simuloitu leikkaus	16
3.1.3	Body box -menetelmä	17
3.2	Henkilökunnan määrä	17
3.3	Paine-ero viereisiin tiloihin nähden	18
3.4	Ilmanjakotapa	18
3.5	Suodatusaste	18
3.6	Vertailu sekoittavan ja laminaarisen ilmanvaihdon välillä	19
4	Ventilation for hospitals – uusi standardiehdotus	19
4.1	Leikkaussalien osuus standardiluonnoksessa	20
4.2	Vaikutukset suunnitteluun	20
5	Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset	22
5.1	Johtopäätökset työn pohjalta	23
5.2	Tilannekatsaus sisältäen uudet mittaukset	28
5.3	Mittausten suoritus	30
5.3.1	Mittausten tarkoitus	30
5.3.2	Mittauslaitteet ja -järjestelyt	31

5.3.3	Mittauksen lähtötiedot	32
5.4	Kehitysehdotuksia todentamismittauksiin	32
6	Vaatetus	33
6.1	Materiaalit	33
6.2	Vaatekappaleet	34
6.3	Simuloidut leikkaukset testilaboratoriossa	37
7	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmavirran vaikutus leikkaussalin CFU/m ³ -pitoisuuteen	

Lyhenteet ja symbolit

HEPA	High Efficiency Particulate Air filter. Ilmansuodatintyyppi, joka poistaa vähintään 99,97 % sen läpi kulkevan ilman pölystä, bakteereista, siitepölystä ja muista partikkeleista.
CFU	Colony-forming unit. Yksikkö, jota käytetään mikrobiologiassa arvioimaan elinkykyisten bakteerien tai sienisolujen lukumäärä näytteessä. Esitetään muodossa mikrobimäärä/m ³ .
CL-1	Kuvaa mikrobimäärää mitatussa tilassa. CL-1-luokan tilassa ilmanpuhtauden täytyy olla alle 10 CFU/m ³ .
CL-2	Kuvaa mikrobimäärää mitatussa tilassa. CL-2-luokan tilassa ilmanpuhtauden täytyy olla alle 100 CFU/m ³ .
HUS	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri.
TC	Thread count, eli kankaan lankatiheys. Tarkoittaa lankojen määrää kudotussa kankaassa pysty- ja vaakasuunnassa neliötuumalla.

1 Johdanto

Leikkaussalien ilmanvaihdon toteutusprosessi on kokenut viime vuosina paljon muutoksia. Ilmanjaon toteutustapa ja ilmavirran mitoittamiseen vaikuttavien tekijöiden tarkempi tietämys ovat olleet painopisteitä entistä parempaan leikkaussalien ilmanvaihdon suunnitteluun ja toteutukseen. Tekniikan ja tietämyksen sekä ekologisen ajattelun kehittyessä on mahdollista toteuttaa entistä laadukkaampia ja samaan aikaan käyttökustannuksiltaan edullisempia leikkaussaleja, potilasturvallisuudesta tinkimättä.

Ilman puhtaus on tärkeää potilasturvallisuuden kannalta. Ilmanvaihdoilla leikkaussaliin luotavat olosuhteet ovat tärkeä elementti myös leikkaushenkilökunnan viihtyvyyden osalta, koska haastavat leikkaukset kestävät useita tunteja. Ilmanvaihto on yksi merkittävä reitti, mitä kautta epäpuhtauksia päätyy ilmaan, joten sen täytyy toimia suunnitellusti. Suunnitteluun ohjeistavan standardin tai kattavan ohjeen puuttuessa, leikkaussalien ilmanvaihdon mitoitus on aiemmin perustunut ohjeelliseen ilmanvaihtokertoimeen, tuloilman puhallukseen käytettävän laminaarikatkon kokoon tai kokemusperäiseen tietoon. Tämä on osaltaan vaikuttanut siihen, että toteutustapoja on ollut monenlaisia.

Suomessa sijaitsevilla leikkaussaleilla on tehty mikrobimittauksia ja niistä saatuja mitaustuloksia analysoimalla on perehdytty eri tekijöiden vaikutukseen leikkaussalin sisäilman puhtaudessa. Työssä on tarkoitus analysoida jo aiemmin Aleksanteri Setälän diplomityössä Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset esitettyjä tuloksia leikkaussalien sisäilman mikrobipitoisuuksista. Käsittelyyn otetaan myös Setälän työn valmistamisen jälkeen tehdyt mittaukset. Erityisesti perehdytään vaatetuksen vaikutuksiin leikkaussalin sisäilman mikrobipitoisuuden määrässä, mutta käydään läpi myös muita ilman puhtauteen vaikuttavia tekijöitä.

Työn tavoitteena on analysoida mitaustuloksia ja tarkastella tuloksia tekeillä olevan standardiluonnoksen ohjeiden mukaisesti. Standardiluonnoksen myötä Euroopan alueelle saadaan yhtenäistetty ohjeistus leikkaussalien toteutuksen tueksi. Työssä perehdytään mitaustuloksiin useasta eri näkökulmasta ja verrataan tuloksia toisiinsa.

Kirjallisuusosiossa käydään leikkaussalin ilmanvaihdon toteutusperiaatteita läpi sekä kerrotaan miten leikkaussalin tuloilmavirta määritetään. Puhtauteen vaikuttavia tekijöitä

ja niiden vaikutuksia ilman puhtauteen, eli mitattavaan ilman mikrobipitoisuuteen CFU/m³ käydään myös läpi. Vaatetuksen rooliin yhtenä ilmanpuhtauteen vaikuttavana elementtinä perehdytään tarkemmin kuvien, mittaustulosten analysoinnin sekä vaatet materiaalien tarkemman läpikäynnin avulla. Tämän tueksi työn lopussa analysoidaan leikkaussalivaatetoimittajan ja sairaanhoitopiirin kanssa yhteistyössä tehtyjen simuloitujen mittausten tuloksia ja verrataan saatuja tuloksia muiden tahojen tekemiin mittauksiin.

2 Ilmanvaihto leikkaussaleissa

2.1 Leikkaussalit ja ilmanvaihdon viranomaisohjeistus

Leikkaussaleja käytetään nimensä mukaisesti lääketieteellisten leikkausten tekoon. Niiden suunnittelussa huomioidaan tarkasti se, mihin käyttöön ne tulevat, jotta tilat osataan varustaa oikeanlaisilla varusteilla ja jotta salin koko vastaa tarpeita. Erilaisia käyttötarkoituksia leikkaussaleille ovat esimerkiksi ortopediset leikkaukset, neurokirurgia sekä synnytys keisarinleikkauksella.

Leikkaussalien jako ilman puhtauden mukaan luokkiin CL-1 ja CL-2 tehdään tulevaisuudessa luvussa 4 käsiteltävän uuden leikkaussalistandardin mukaisesti. Uudessa Euroopan laajuisessa standardiluonnoksessa (teknisessä spesifikaatiossa) tullaan määrittelemään suoritustasot leikkaussalin ilman puhtaudelle. Standardi antaa myös ohjeita siihen, miten suunnittelu- ja rakentamisprosessi tulee toteuttaa, jotta saavutetaan haluttu lopputulos. Standardi ottaa myös kantaa huoltoon ja ylläpitoon, jotta leikkaussalit toimivat jatkossakin kuten niiden on suunniteltu toimivan.

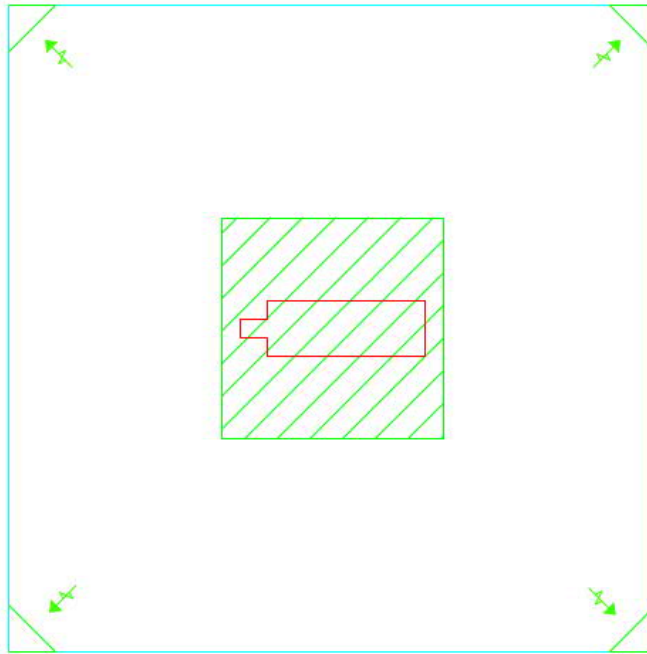
Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri HUS on myös julkaissut oman leikkaussaliohjeensa, jota käytetään sen omissa hankkeissa. Ohje perustuu tulevaan leikkaussalistandardiin. Ennen näiden ohjeiden julkistamista leikkaussalien ilmanvaihtosuunnittelu on perustunut pitkälti kokemuseräiseen tietoon ja rakentamismääräyksiin.

Rakennuskannan uudistuessa sekä osaamisen, laitevalikoiman ja suunnittelun kehittyessä yleinen suunta on ollut muuntojoustavuuden huomioiminen myös leikkaussalien rakentamisessa. Muun muassa luvussa 2.2 tarkemmin käsiteltävä laminaarinen ilmanjakotapa on ollut muutoksen kourissa. Sekoittavan ilmanjaon yleistyessä Suomessa on leikkauspöydän ja leikkauksessa tarvittavien oheisinstrumenttien sijoittelun kannalta joustamaton ja kankea laminaarinen ilmajako jäänyt useissa rakennushankkeissa menneisyyteen.

2.2 Ilmanjako leikkaussaleissa

Leikkaussali jaetaan ilman puhtauden kannalta kahteen eri vyöhykkeeseen. Suoja-alue eli *critical zone* on puhdas alue leikkauspöydän läheisyydessä, keskellä leikkaussalia. Alue rajautuu ilmanjakotavan perusteella. Laminaarista ilmajakoa käytettäessä suoja-alue rajautuu laminaarikaton reunojen mukaiselle tai hieman tätä pienemmälle alueelle, kun taas sekoittavaa ilmanjakoa käytettäessä suoja-alue on suurempi ja kattaa käytännössä koko leikkaussalin alueen. Näiden ilmanjakotapojen periaate on esitetty luvuissa 2.3.1 ja 2.3.2. Laminaarisen ilmanjaon leikkaussaleista voidaan käyttää jatkossa nimitystä laminaarisali. Reuna-alue eli *peripheral area* on leikkaussalin reunoilla oleva alue, jonka puhtaustaso on suoja-aluetta matalampi johtuen siitä, että puhdas HEPA-suodatettu ilma puhalletaan suoja-alueelle, josta se kulkeutuu reuna-alueille vieden mukanaan henkilökunnasta, potilaasta ja lattiasta irronneet epäpuhtaudet. Tämän vuoksi suoja-alueen rajat tulee tarkistaa mittauksien perusteella.

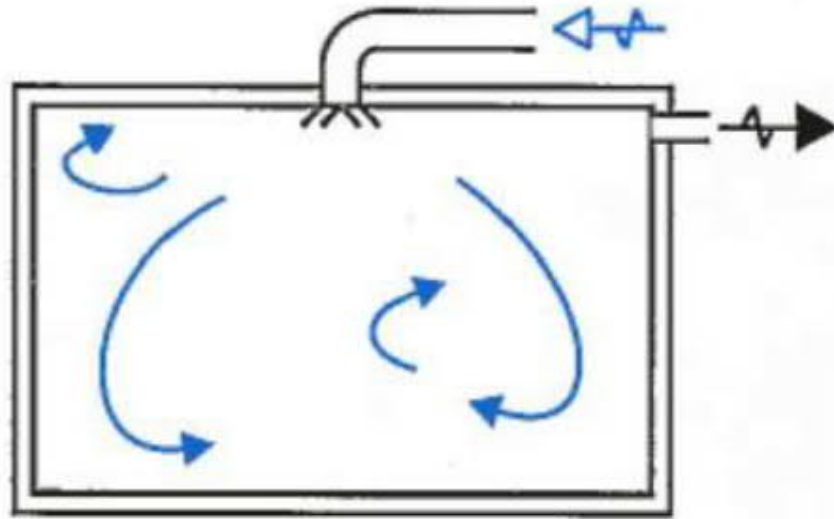
Kuvassa 1 on esitetty leikkaussali ylhäältä päin katsottuna. Salin nurkissa ovat poistoilman päätelaitteet, jotka poistavat ilmaa sekä lattian että katon rajasta. Jatkossa näistä voidaan käyttää myös ilmaisua nurkka-poistot. Keskellä salia on vihreällä kuvattu laminaarisalin suoja-alue, joka rajoittuu laminaarikaton reunoihin. Keskellä kuvaa punaisella värillä on esitetty leikkauspöytä.



Kuva 1. Suoja-alue laminaarista ilmanjakoa käytettäessä.

2.2.1 Sekoittava ilmanjako

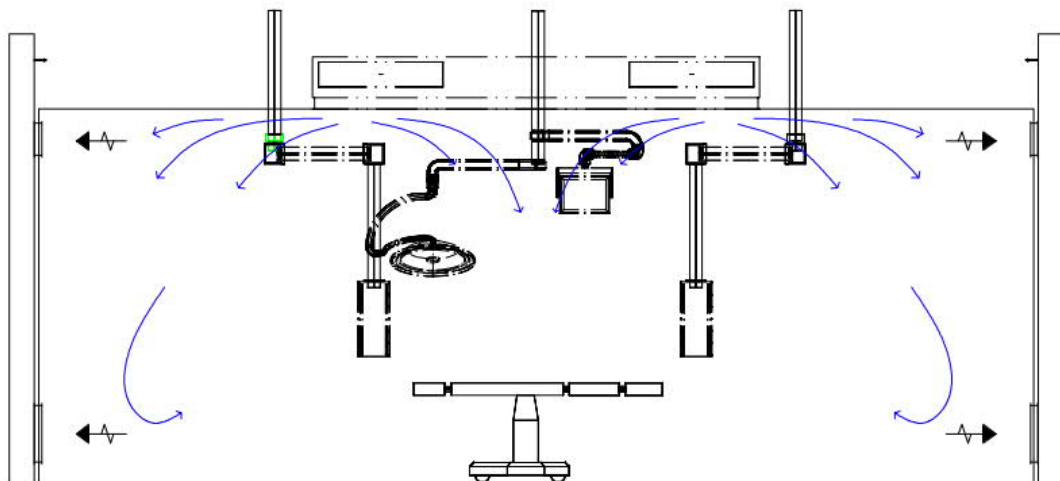
Sekoittavassa ilmanjaossa huoneeseen puhalletaan tuloilmaa suurella nopeudella useaan eri suuntaan. Puhalluksen yhteydessä huoneessa oleva ilma sekoittuu tuloilman kanssa ja huoneilman laatu muodostuu tasaiseksi. Tuloilmalaitteen sijoituksella ja ilma-suihkun suuntauksella eli heittokuviolla on merkitystä, jotta voidaan luoda mahdollisimman vedottomat olosuhteet. Poistoilmalaitteen sijainnilla ei ole yhtä suurta vaikutusta. Poistoilmalaitteen sijoitukseen vaikuttaa tarve poistaa epäpuhtauksia tai lämpökuormia huoneesta. Tulo- ja poistoilmalaitteiden sijoittamista vierekkäin tulee välttää, jotta oikosulkuvirtaus vältetään. Yleisesti käytetty periaate on sijoittaa poistoilmalaitteet leikkausalin nurkkiin, joista ilmaa poistetaan sekä lattian rajasta että katon rajasta. Kuvassa 2 on esitetty sekoittavan ilmanjaon periaate.



Kuva 2. Sekoittavan ilmanjaon periaate (1, s. 193).

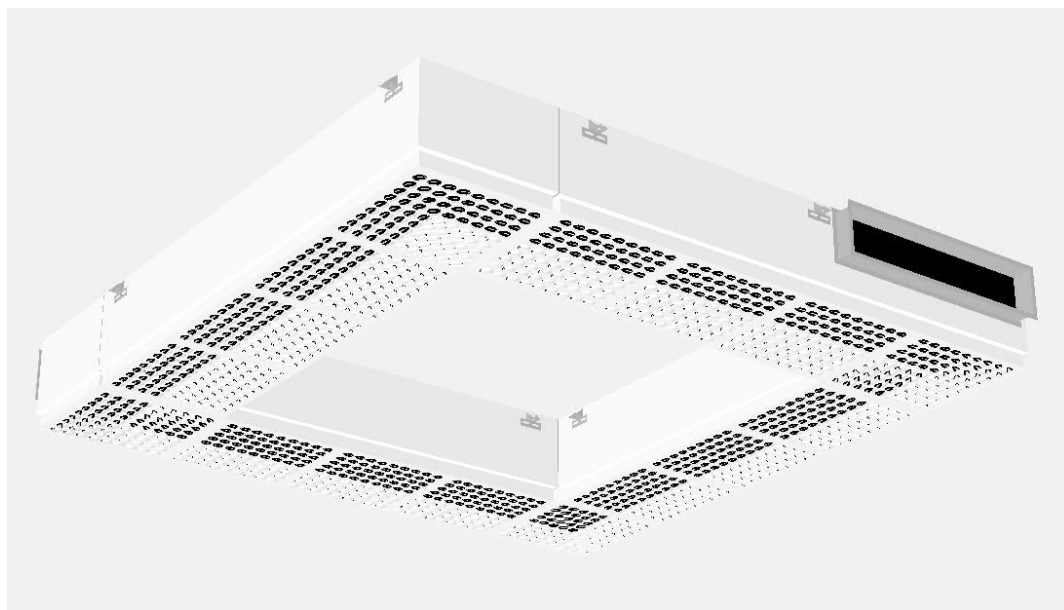
Tuloilma puhalletaan katosta moneen eri suuntaan, jolloin huoneilma sekoittuu. Poistoilma poistetaan tilan yläosasta, syynä tähän on se, että samalla saadaan vähennettyä tilan lämpökuormaa.

Kuvassa 3 on sivusta päin esitetty sekoittavalla ilmanjaolla varustettu leikkaussali.



Kuva 3. Sekoittavalla ilmanjaolla toteutettu leikkaussali.

Leikkauspöytä sijaitsee keskellä salia ja sen yläpuolella on keskeltä leikkaussalin kattoa kannatettuna leikkausvalaisin ja monitorivarsi monitoreineen. Tuloilmalaitteen molemmin puolin on sähkö- ja sairaalakaasupisteitä sisältäviä kattokeskuksia. Salin reunoissa on poistoilmalaitteet ja keskellä salia katossa on tuloilmalaite. Sekoittavan ilmanjaon leikkaussaleissa, joista käytetään jatkossa myös nimitystä sekoittava, tuloilma puhalletaan saliin kehän mallisesta laitteesta, jollainen on esitetty alla olevassa kuvassa 4.



Kuva 4. Halton VSN -tuloilmakehä (2).

Kuvassa tuloilmasuuttimet näkyvät hieman erilaisina, johtuen niiden asennosta. Asentoa vaihtamalla saadaan säädettyä ilman puhallussuuntaa. HEPA-suodatin sijaitsee tuloilmakehän sisällä, suuttimien takana olevassa tilassa. Tuloilmakehän koko määräytyy ilmavirran mukaan. Ilmavirran mukaan määräytyy myös kehään tulevien kanavaliitosten määrä, esitetty kuvassa laitteen kyljessä. Kuvassa 4 esitetyssä tuloilmakehässä kanavaliitoksia on 2 kappaletta, joista toinen sijaitsee kehän vastakkaisessa nurkassa.

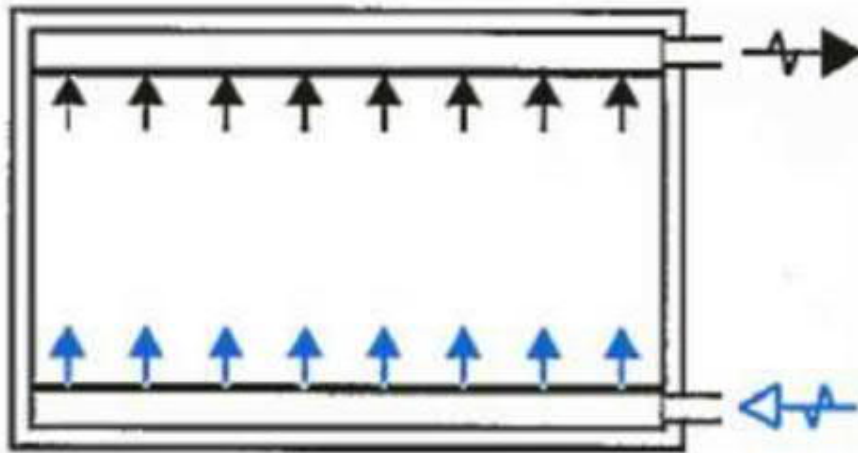
Leikkaussalisuunnittelun näkökulmasta sekoittava ilmanjakotapa on osoittautunut hyväksi tavaksi jakaa ilma leikkaussaliin. Tuloilma puhalletaan katossa olevista päätelaitteista useaan eri suuntaan, pääkohteena kuitenkin leikkausalue. Päätelaitteet sisältävät useita suunnattavia suuttimia, joten ilmavirta saadaan tarkasti ohjattua haluttuun suun-

taan. Sekoittavaa ilmanjakoa käytettäessä saadaan myös salin reuna-alueet puhtaammaksi kuin laminaarista ilmanjakoa käytettäessä, koska puhdas ilma kulkeutuu ympäri tilaa pääosin yläkautta puhallettuna eikä ilmavirta tällöin ota mukaansa lattialla olevia partikkeleita. Sekoittavan ilmanjaon etuna on myös laajempi puhdas alue leikkauspöydän ympärillä, jolloin instrumenttien säilytykseen käytetyt pöydät ja koko leikkaukseen osallistuva henkilökunta ovat puhtaalla alueella. Sekoittavaa ilmanjakoa käytettäessä luokitellaankin koko leikkaussali suoja-alueeksi.

Sekoittavan ilmanjaon etuna on myös energiansäästö suhteessa suojatun leikkausalueen kokoon. Käyttämällä sekoittavaa ilmanjakoa päästään samaa ilmavirtaa käyttämällä isompaan suoja-alueeseen kuin laminaarisaleissa. Energian säästö saavutetaan sillä, että tarvittava ilmavirta leikkaussalissa on pienempi, jolloin ilmankäsittely (lämmitys/jäähdytys) ilmanvaihtokoneella on vähäisempää. Suomessa erityisesti lämmityskauden aikana merkittävin energiansäästöpotentiaali on ilman lämmityksen ja kostutuksen aiheuttama energiankulutus.

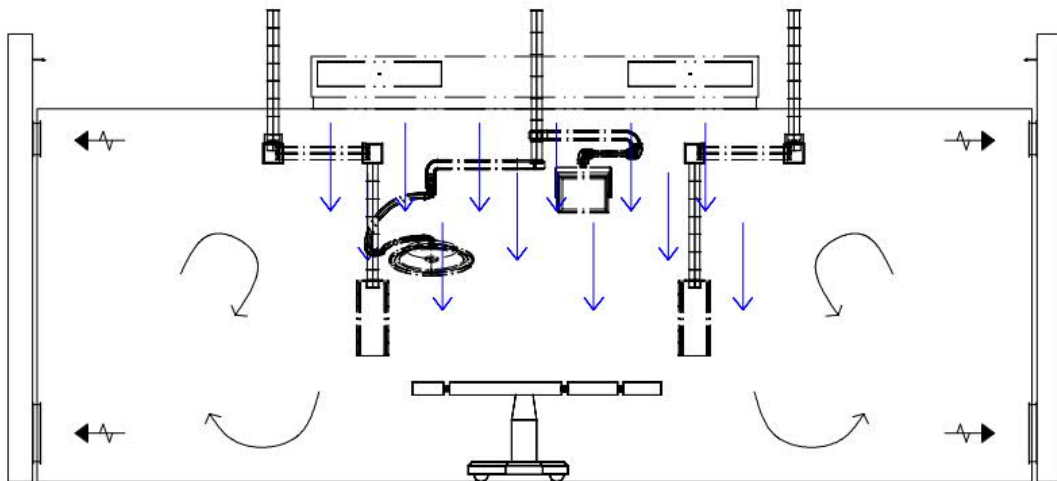
2.2.2 Laminaarinen ilmanjako

Laminaarisessa (yhdensuuntaisessa) ilmanjaossa ilma tuodaan suurta puhalluspinta-alaa hyödyntäen mahdollisimman tasaisesti huoneeseen. Ilma voidaan puhaltaa huoneeseen katosta tai seinältä käyttötarkoituksen mukaisesti. Suurta puhalluspinta-alaa hyödyntäen ilma voidaan jakaa huoneeseen vedottomasti luoden tuloilmalaitteen läheisyyteen puhtaan ja olosuhteiltaan hyvin hallittavan vyöhykkeen. Kuvassa 5 on esitetty ylhäältä päin katsottuna esimerkki laminaarisesta ilmanjaosta.



Kuva 5. Laminaarinen ilmanjako (1, s. 193).

Kuvassa 5 ilma puhalletaan tasaisesti ja samansuuntaisesti koko matkalta. Kuvan tapauksessa myös ilmanpoisto on toteutettu samalla periaatteella, jolloin ilma kulkee tilan läpi tasaisesti. Seuraava kuva 6 esittää laminaarista ilmanjakoa leikkaussalissa.



Kuva 6. Laminaarisella ilmanjaolla toteutettu leikkaussali.

Leikkauspöytä sijaitsee keskellä salia, ja sen yläpuolella on keskeltä leikkaussalin kattoa kannatettuna leikkausvalaisin ja monitorivarsi monitoreineen. Tuloilmalaitteen molemmin puolin on sähkö- ja sairaalakaasupisteitä sisältäviä kattokeskuksia. Salin reunoissa on poistoilmalaite ja keskellä salia katossa on tuloilmalaite.

Laminaarisen ilmanjaon leikkaussaleissa, tuloilma puhalletaan saliin laminaarikatosta, jollainen on esitetty kuvassa 7. Laminaarikaton koko määräytyy suoja-alueen koko tarpeen mukaan. Laminaarikaton reunassa on suorakulmion malliset liitoskohdat tuloilmakanaville. Liitosten koko ja määrä määräytyy laminaarikaton ilmavirran perusteella. Laminaarikaton alaosassa on HEPA-suodattimet ja niiden alla tasainen kangaspinta.



Kuva 7. Halton VZD -laminaarikatto (3).

Laminaarikaton käyttö leikkaussaleissa on perusteltua, mikäli tarvittava suoja-alue on pieni ja suoja-alueen puhtaustason täytyy olla erittäin korkea. Laminaarikatolla varustettu leikkaussali on lepotilasta palattaessa ilmanvaihdon osalta otettavissa käyttöön heti, kun tuloilmavirta on riittävä. Sekoittavan ilmanjaon tuloilmakehään käytettäessä leikkaussalin puhtaustaso palautuu hitaammin, koska ilma jakautuu koko saliin. Tällöin puhutaan palautumisajasta. Suunnitteluvaiheessa myös leikkaushenkilökunnan mielipiteet kuulaaan ja niiden vaikutukset ilmanjakotapaan otetaan huomioon. Usein kuitenkin halutun suoja-alueen koko kasvattaa laminaarikaton koon niin suureksi, että se haittaa kattokiinnitteisten laitteiden asennusta ja tekee leikkausalueen valaistuksen toteutuksen haasteelliseksi. Tällöin myös saliin puhallettavaa ilmavirta kasvaa kohtuuttoman suureksi aiheuttaen lisää käyttökustannuksia.

Alakattokorkeus halutaan leikkaussaleissa usein jopa kolmen metrin tasalle. Näissä tapauksissa ilman puhallusnopeudessa täytyy huomioida se, että virtausnopeus on riittävä vielä leikkauspöydälläkin asti. Laminaarikaton reunoista alaspäin riiputettavia ilmanohjaimia on käytetty apuna, jotta laminaarikatosta puhallettava ilma suuntautuisi suoraan alaspäin ja pysyisi mahdollisimman puhtaana saapuessaan leikkauspöydälle.

2.3 Ilmavirran valinta

Leikkaussalistandardiluonnoksen mukaan raitisilmavirran minimin tulisi olla 275 l/s (4, s. 34). Tätä ilmavirtaa käytettäessä anestesiakaasuille ja leikkauksen yhteydessä vapautuville savuille ja käryille täytyy olla erillispoistot. Mikäli erillispoistoja ei ole, täytyy minimiraitisilmavirta määritellä tapauskohtaisesti. Ilmanjakotavan valinnan jälkeen selvitetään salin ilmanpuhtauteen vaikuttavat tekijät, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3. Tämän lisäksi on otettava huomioon leikkaussalin laitteiden, kuten valaistuksen, kattokeskusten, näyttöjen ja tietokoneiden sekä henkilökunnan aiheuttamat lämpökuormat. Nämä kaikki asiat huomioimalla päästään lopulliseen ilmavirtaan. Jotta voidaan taata oikea painesuhde leikkaussalin ja sen ympäröivien tilojen välillä, tulo- ja poistoilmavirrat säädetään tarpeenmukaisesti. Suurin osa leikkauksista toteutetaan ylipaineisina, jolloin tuloilmavirta on suurempi kuin poistoilmavirta. Leikkaussalistandardi ohjeistaa myös oikean paine-eron osalta.

Raitisilmavirran pieneen kokonaisuuteen leikkaussalin tuloilmavirrasta on useita syitä. Talvella ulkoilma on kylmää ja sen kosteussisältö on pieni, jolloin ilmaa täytyy lämmittää ja kostuttaa. Kesällä ulkoilma voi olla liian lämmintä ja sen kosteussisältö voi olla suuri, jolloin ilmaa täytyy jäähdyttää ja kuivata. Nämä molemmat aiheuttavat sen, että ilmanvaihtojärjestelmän käyttökustannukset nousevat, kun raitisilmavirtaa kasvatetaan. Käytettäessä suurempaa raitisilmavirtaa myös ilmankäsittelylaitteiden vaatimukset kasvavat, jolloin ilmanvaihtojärjestelmän rakentamiskustannukset nousevat.

Seuraavassa esimerkissä käydään läpi ilmavirran määrittäminen esimerkinomaisesti sekoittavalla ilmanjaolla varustettuun pinta-alaltaan 50m²:n leikkaussaliin, jonka alakattokorkeus on 3 m. Tilassa työskentelee maksimissaan 8 henkilöä, laitteiden ja ihmisten aiheuttamat

lämpökuormat ovat 3 kW, käytettävän vaatetuksen päästövoimakkuus on 1 CFU/s. Leikkaussalin tulee saavuttaa CL-1-luokan ilman puhtaustaso, eli sallittu CFU/m³-pitoisuus voi olla tällöin enintään 10 CFU/m³.

Lasketaan ilmavirta, jolla saadaan 3 kW:n lämpökuorma poistettua leikkaussalista, kun tuloilman lämpötila on 18 °C ja poistoilman lämpötila on 21 °C (1, s. 193).

$$Q_j = \frac{\emptyset}{\Delta t \cdot c_p \cdot \rho} \quad (1)$$

, jossa

Q_j	on ilmavirta (m ³ /s)
\emptyset	on tilasta poistettava lämpökuorma (W)
Δt	on sisään puhallettavan ilman ja poistoilman välinen lämpötilaero (°C)
c_p	on ilman ominaislämpökapasiteetti (J/kgK)
ρ	on ilman tiheys (kg/m ³).

Minimi-ilmavirraksi lämpötilaeron perusteella saadaan

$$Q_j = \frac{3000 \text{ W}}{(21-18)^\circ\text{C} \cdot 1,006 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1,188 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,827 \text{ m}^3/\text{s} = 827 \text{ L/s} \quad (2)$$

Vaatetuksen ja henkilökuorman tuoman mikrobimäärän poistoon tarvittava minimi-ilma-
virta $Q_{hlö}$ saadaan seuraavasta yhtälöstä (5, s. 23).

$$Q_{hlö} = \frac{q_s \cdot n}{c} \quad (3)$$

, jossa

q_s	on päästövoimakkuus (CFU/s, hlö)
c	on mitattu mikrobipitoisuus (CFU/m ³)
n	on henkilömäärä salissa.

Minimi-ilmavirraksi vaatetuksen, henkilömäärän ja ilman puhtausvaatimuksen perusteella saadaan

$$Q_{hlö} = \frac{1 \frac{CFU}{s} * 8}{10 \frac{CFU}{m^3}} = 0,8 \frac{m^3}{s} \quad (4)$$

Sekoittavan ilmanvaihdon leikkaussalin palautumisaika lepotilasta saa olla enintään 10 min. Toipumisaikaa laskettaessa oletetaan leikkaussalin ilmanvaihdon olevan täysin sekoittuva. Standardi SFS-EN ISO 14644-3 määrittää, että toipumisaika on aika, joka kuluu, kun salin hiukkaspitoisuus vähenee 1:100:aan lähtötilanteeseen nähden. Leikkaussalin minimi-ilmavirta toipumisajan perusteella saadaan johdettua seuraavasti (6, s. 48).

$$c_1 = c_0 e^{-nt} \quad (5)$$

, jossa

c_1	on palautumisajan jälkeinen CFU-pitoisuus (CFU/m ³)
c_0	on CFU-pitoisuus ennen palautumisajan laskennan alkua (CFU/m ³)
n	on ilmanvaihtokerroin (1/h)
t	on lähtö- ja lopputilanteen välinen aika (s).

Ilmanvaihtokerroin n saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (1, s. 321)

$$n = \frac{Q_p}{V} \quad (6)$$

, jossa

n	on ilmanvaihtokerroin (1/h)
Q_p	on ilmavirta (m ³ /s)
V	on leikkaussalin tilavuus (m ³).

Salin tilavuus V saadaan laskettua kaavalla

$$V = Ah \quad (7)$$

, jossa

A on lattian pinta-ala (m²)

h on salin alakattokorkeus (m).

Tästä saadaan muodostettua lopullinen yhtälö

$$Q_v = 4,6 \frac{V}{t} \quad (8)$$

Palautumisajan 10 min perusteella ilmavirraksi saadaan

$$Q_v = 4,6 \frac{150 \text{ m}^3}{600 \text{ s}} = 1,15 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (9)$$

Näiden kolmen eri laskentatavan kautta laskemalla saadaan palautumisajan ilmavirrasta määräävä tekijä. Leikkaussalin minimi-ilmavirta näillä arvoilla laskettuna on siis 1,15 m³/s. Tämä kokonaisilmavirta 1 150 l/s, hlö vastaa ilmanvaihtokerrointa 27,6 1/h.

3 Puhtauteen vaikuttavat tekijät

Luvussa käsitellään leikkaussalin puhtauteen vaikuttavia tekijöitä ja ilman mikrobipitoisuuden mittaustapoja.

3.1 Vaatetus

3.1.1 Vaatetukselle asetettavat vaatimukset

Vaatetuksella on ratkaiseva rooli tarkasteltaessa leikkaussalin sisäilman mikrobipitoisuutta. Mitä paremmin pystymme eristämään ihmisen mikrobeja tuottavan ihon leikkaussalin sisäilmasta, sitä paremman lopputuloksen saamme. Vaatetuksen tehtävä on suojata potilasta käyttäjistä lähtöisin olevasta hilseestä, eritteistä ja muista partikkeleista, jotka voivat sisältää myös bakteereja tai muita mikrobeja. Vaatetus suojaa käyttäjäänsä potilaan veri- ja eriteroiskeilta. Leikkaukset saattavat kestää useita tunteja, joten leikkaushenkilökunnan olosuhteiden tulee olla mahdollisimman viihtyisät. Vaatetuksen tulee pitää henkilö lämpimänä sekä estää hikoilua ja käyttäjän lämmön nousua, jotta vaate-
tusta käytävä voi suoriutua haastavista operaatioista.

Leikkaussalivaatteissa ei ulkonäöllisesti ole viime vuosina tapahtunut suuria muutoksia, mutta niissä käytettävät materiaalit ovat kehittyneet mahdollistaen vaatteiden paremman istuvuuden, käyttömukavuuden sekä suodatustehokkuuden. Valmistus- ja materiaalitekniikan parantuessa on päästy jo lähes kokonaan eroon puuvillaa sisältävistä vaatteista ja siirrytty pääsääntöisesti keinotekoisista tekstiilikuiduista, kuten mikrokuidusta valmistettujen vaatteiden käyttöön. Keinotekoisien tekstiilikuidun etuna puuvillaan nähden on vaatteiden parempi hengittävyys, jolloin ne johtavat paremmin kosteutta pois iholta, sekä se, että mikrokuidusta irtoaa huomattavasti vähemmän kuituja huoneilmaan, mikä on merkittävästi vähentänyt ilmaan pääsevien partikkelien määrää. Keinotekoisien tekstiilikuitujen käyttöönoton ansiosta on pystytty myös kehittämään kustannustehokkaampia sekä ympäristöystävällisempiä vaatevaihtoehtoja, koska vaatteita voidaan pestä useamman kerran ilman, että ne menettävät ominaisuutensa. (7, s. 8.)

Iho on tärkein ilman saastumisen lähde leikkaussalissa. Henkilö vapauttaa kävellessään noin 10^4 ihohiukkasta minuutissa ja noin 10 % hiukkasista sisältää bakteereja (5, s. 15).

Vaatteen koostuessa kankaasta ja kangasosien liitoskohdista, kankaan materiaalilla on iso merkitys siihen, miten ihon kanssa kosketuksissa oleva ilma suodattuu sen läpi. Laadukkaan suojavaatteen saumat on myös liitetty niin, että niiden kautta ei vuotoa tapahdu. Vaatteiden leikkauksiin ja resoreihin tulee myös kiinnittää erityistä huomiota, jotta partikkeleja ei pääse vapautumaan ilmaan esim. kaula-aukkojen tai hihansuun kautta. Vaatteiden aiheuttamia hiukkaspäästöjä voi tarkastella Body box -menetelmällä tai SFS-EN-standardissa 13795-2 2019 esitetyllä tavalla (5).

3.1.2 Simuloitu leikkaus

Leikkauksessa käytettävän vaatetuksen suunnittelun ja vaatemateriaalin testaamiseksi voidaan suorittaa simuloituja mittauksia, joiden avulla saadaan määritettyä vaatekokonaisuuden päästövoimakkuus yksikössä CFU/s. SFS-EN-standardi 13795-2 2019 sisältää tähän ohjeistuksen. Puhdastilavaatteen tarkoitus on rajoittaa bakteereja kantavien hiukkasten pääsyä iholta ilmaan siinä määrin, ettei tilaan määritettyä ilman puhtaustasoa ylitetä. Testit voidaan suorittaa body-box-mittaukskammiossa tai leikkaussaleissa kliinisten tai simuloitujen standardoitujen kirurgisten toimenpiteiden aikana. Kammiossa tehty testi ei ole tarpeeksi herkkä arvioimaan pieniä muutoksia suunnittelussa ja lisävarusteissa, kuten kasvonaamion käyttäminen, mutta se voi osoittaa päätä suojaavien vaatteiden laadun ja suunnittelun tärkeyden. (5, s. 21.)

Leikkaussalivaatetuksen käytännön testit voidaan suorittaa myös leikkaussalissa, jonka ilmavirta ja henkilölukumäärä on tiedossa. Keskimääräisenä lukuna henkilöstä irtoavien ja bakteereja kantavien mikrobien määrästä henkilöä kohti on silloin noin puolet verrattuna testikammiossa mitattuun (5, s. 22).

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävien simuloitujen leikkausten tarkoitus oli selvittää HUS:lla käytössä olevan leikkaussalivaatetuksen (Puro tekstiilihuoltopalvelut Oy, ent. Uudenmaan sairaalapesula) toimittaman vihreän mikrokuituasun läpäisemä ja mahdollistama keskimääräinen mikrobipäästö (CFU/s hlö), ts. kuinka paljon pesäkkeitä muodostavia mikrobeja yhdestä henkilöstä keskimäärin vapautuu sali-ilmaan sekunnissa, kun käytetään kyseistä vaatetusta. Mittaukset leikkaussalissa, jonka ilmavirta tunnetaan, tulisi suorittaa tekemällä 10 lonkkaproteesin vaihtoleikkausta, joissa on läsnä 5–10

henkilöä ja kaikilla on saman tyyppinen vaatetus. Jokaisen leikkauksen aikana on suoritettava 2–5 aktiivista ilmanäytteenottoa, joissa kussakin mitataan 0,5–1 m³ ilmaa. Mittaukset on tehtävä avausviillon jälkeen ja ennen haavan sulkeutumista. Testitulokset ilmoitetaan muodossa lähteen vahvuus henkilöä kohti (keskiarvo / mediaani ja Min-Max-arvot). Lonkan korvaustoimenpide voi olla kliininen tai simuloitu. (5, s. 23.) Päästövoimakkuus lasketaan seuraavan kaavan avulla

$$Q_s = \frac{c \cdot Q}{n} \quad (10)$$

, jossa

- Q_s on päästövoimakkuus (CFU/s, hlö)
- c on mitattu mikrobipitoisuus (CFU/m³)
- Q on ilmavirta (m³/s)
- n on henkilömäärä salissa (5, s. 23).

3.1.3 Body box -menetelmä

Menetelmä perustuu Institute Of Environmental Sciences And Technologyn Recommended Practice -raporttiin IEST-RP-CC3.3 (kohta B2.4, particle dispersion test (body box test)). Testi suoritetaan tuloilman HEPA-filttereillä varustetussa kammiossa. Body box -menetelmässä testihenkilö pukeutuu mitattavana olevaan asuyhdistelmään ja suorittaa sarjan määriteltäviä liikkeitä: käsivarsien liikejakso (5 min), käsivarsien sekä kävelyn liikejakso (5 min) ja kyykkyjakso (1 min). Jaksojen väliset tauot huomioiden yksittäisen mittauksen kesto on kaikkiaan 15 min. Tilasta poistuva ilma johdetaan mikrobilaskurille ja liikkeiden aikana irtoavat hiukkaset lasketaan (8, s. 5). Mittaustulosten avulla voidaan laskea vaatekokonaisuuden päästövoimakkuus CFU/s.

3.2 Henkilökunnan määrä

Ihmisen ollessa leikkaussalin sisäilman suurin saastuttaja leikkaussalissa työskentelevän henkilökunnan määrä vaikuttaa paljon ilman mikrobiologiseen puhtaustasoon. Myöhemmin esitetyjen mitattujen leikkausten perusteella voidaan arvioida henkilömäärän

vaikutuksia leikkaussalin CFU-pitoisuuteen, kun verrataan leikkaussaleja, joissa on käytetty toisiinsa verrattavissa olevaa vaatekustusta.

3.3 Paine-ero viereisiin tiloihin nähden

Viereisten eri puhtausluokkiin luokiteltujen puhdastilojen tai puhtaiden vyöhykkeiden välisen paine-eron tulisi olla 5–20 Pa, jotta ovia voidaan avata ja vältetään tahattomien ilmavirtojen kulkeutuminen vyöhykkeeltä toiselle (9, s. 34).

Leikkaussalit suunnitellaan useimmiten ylipaineisiksi, jolloin oven avauksen yhteydessä ei pääse syntymään ilman sisäänvirtausta likaisesta tilasta leikkaussaliin. Tulossa oleva sairaalailmanvaihdon standardi edellyttää, että leikkaussali on aina ylipaineinen.

Alipaineisia leikkaussaleja voidaan mahdollisesti ajatella käytettävän vaarallisissa, helposti leviävissä infektioissa, esimerkiksi tuberkuloosin yhteydessä. Tällöin pitää kuitenkin huomioida erityisen tarkasti ilman virtaus suunnat ja painesuhteet viereisiin tiloihin. Lisäksi leikkaussalin tulee olla rakenteeltaan tiivis sekä seinien että ovien osalta mahdollisten ilmavuotojen estämiseksi. Salin yhteydessä tulee myös olla erillinen sulkutila, jonka avulla painesuhteita voidaan säätää valvotusti. Sulkutilaa käyttämällä varmistetaan myös siitä, että saliin ovien kautta tapahtuva ilmavuoto tulee HEPA-suodatetusta sulkutilasta (10, s. 19).

3.4 Ilmanjakotapa

Ilmanjakotapa ei vaikuta leikkaussalin sisään puhallettavan ilman puhtauteen, mutta tilan sisäiseen ilmanpuhtauteen kyllä. Valitsemalla ilmanjakotapa käyttötarpeen mukaisesti voidaan vaikuttaa erityisesti suoja-alueen puhtauteen.

3.5 Suodatusaste

Leikkaussalin tuloilman tulee olla HEPA-suodatettua, jotta mahdollisten infektioiden riski saadaan minimoitua. Yleisesti käytetty tapa on suodattaa ilmanvaihtokoneessa raitisilma

ePM1 80 % (aiemmin F9) -luokkaan asti. HEPA-tasoinen suodatus tulee tehdä viimeisenä, jolloin se kannattaa tehdä leikkaussalin tuloilmalaitteessa. Riittävän korkeaan luokkaan suodatettu raitisilma takaa sen, että kalliimpien ja vaihdon vuoksi käyttökatkoksen leikkaustoiminnassa aiheuttavien HEPA-suodattimien vaihtoväli saadaan kasvatettua pidemmäksi.

3.6 Vertailu sekoittavan ja laminaarisen ilmanvaihdon välillä

Seuraavissa luetteloissa on esitetty eri ilmanjakotapojen ilman puhtauteen vaikuttavia ominaisuuksia. Erityisesti on keskitytty molempien ilmanjakotapojen hyviin ominaisuuksiin.

Seuraaviin kohtiin perustuvat sekoittavalla ilmanvaihdon varustetun leikkaussalin edut:

- leikkauspöydän ja -henkilökunnan sijainti valittavissa vapaammin
- instrumenttipöydän sijainti valittavissa vapaammin
- valaisimien ja kattokeskusten sijainti valittavissa vapaammin.

Laminaarisella ilmanvaihdon (laminaarikatto) varustetun leikkaussalin edut ovat seuraavat:

- leikkaukseen osallistuvan henkilömäärän pienempi vaikutus suoja-alueen puhtauteen
- leikkaushenkilökunnan käyttämän vaatetuksen vaikutukset pienemmät suoja-alueella
- oven avausten minimaaliset vaikutukset suoja-alueen ilman puhtauteen
- reuna-alueella tapahtuvan liikkeen minimaalinen vaikutus suoja-alueen ilman puhtauteen.

4 Ventilation for hospitals – uusi standardiehdotus

Jo pidempään tekeillä ollut CEN-luokiteltu standardi Ventilation for hospitals yhtenäistää Euroopan unionin maiden toisistaan poikkeavia sairaalatiilojen suunnitteluohjeita ja -määräyksiä luoden yhtenäisen ohjenuoran usean vaativan sairaalatiilan suunnittelun tu-

eksi. Standardin valmisteluryhmässä on jäseniä useasta eri EU-maasta, Suomesta mukana on kaksi henkilöä. Virallinen ohje ei ole vielä valmistunut, insinööriyössäni käsiteltävät asiat pohjautuvat 16.02.2021 päivättyyn luonnosvedokseen. Standardiluonnos määrittää vähimmäisvaatimukset leikkaussalien ja eristystilojen toteuttamiseksi. Standardiluonnos tullaan todennäköisesti julkaisemaan ensin teknisenä spesifikaationa. Sen jälkeen se voidaan maakohtaisesti julkaista standardina. (4)

4.1 Leikkaussalien osuus standardiluonnoksessa

Leikkaussaleja käsitellään ohjeessa laajasti. Erityisesti seuraaviin hygieniaan vaikuttaviin asioihin on pureuduttu:

- käyttäjävaatimusten tarkentaminen
- suunnitteluvaatimukset ja laitteiston vaatimukset
- asennus ja huolto
- ilman laatu (puhtaustaso, lämpötila, kosteus, ilmavirta)
- potilaan, henkilökunnan ja vierailijoiden suojaaminen taudinaiheuttajilta
- mikro-organismien kasvun vähentäminen (puhdistettavuus, saavutettavuus, märät pinnat ja mikrobien kerääntyminen)
- ilmavirran suunnan kontrollointi (huonetilan ja järjestelmän tiiviys, paine-ero).

Standardissa esitetään kiertokulku kyseisten tilojen hankesuunnitteluvaiheesta käyttöönottoon asti sekä tarkennetaan jokaisen vaiheen tehtäviä, jotta saadaan haluttu lopputulos (4).

4.2 Vaikutukset suunnitteluun

Ilmanvaihdon puhtaustaso tullaan jatkossa luokittelemaan standardin luvussa 5.2 olevan taulukon 1 mukaisesti. Leikkaussalit tulevat sijoittumaan CL-1- ja CL-2-luokkiin. CL-1-luokituksessa puhtaustaso on ≤ 10 CFU/m³. CL-1 jaetaan vielä a ja b luokkiin riippuen siitä, onko ilmanjako laminaarinen (a) vai sekoittava (b). Sekoittavaa ilmanvaihtoa käytettäessä salin palautuminen lepotilasta käyttökuntoon tulee tapahtua alle 10 minuutissa. Laminaarisen ilmanvaihdon tapauksessa leikkaussalin suoja-alue on ilmanvaihdon

normaalitilaan siirtymisen jälkeen heti käyttökunnossa. CL-2-luokan puhtaustason on oltava ≤ 100 CFU/m³ (4).

Taulukko 1. Ilmanvaihtoluokituksen määritelmät (4, luku 5.2).

Ventilation Class	Type of airflow	Supply air quality (SUP)	Flow direction	Sound level of the ventilation system** dB(A)	Performance quality (At rest) (ref. section 5.4.3)	Comment	Operational Performance (ref: 5.5.4)
CL-1a	UDAF	SUP 1*) + H13 or better	Outward flow from clean to less clean	≤ 48	ISO 5 Segregation	Additional required air to achieve the performance can be SEC	CZ ≤ 10 cfu/m3 Per ≤ 50 cfu/m3
CL-1b	DMAF				ISO 5 rec ≤ 10 min		CZ ≤ 10 cfu/m3 Per ≤ 50 cfu/m3
CL-2	DMAF				ISO 7 rec ≤ 20 min		≤ 100 cfu/m3
CL-3	DMAF	SUP 1*)		≤ 40	N.A.	Other rooms in OR department	N.A.
CL-4	DMAF	SUP 1*)	N.A.	≤ 40	N.A.	Treatment room	N.A.
CL-5	DMAF	SUP 1*)	N.A.	≤ 30	N.A.	Patient ward	N.A.
CL-IR	DMAF	SUP 1*) ***)	Outward or inward flow***)	≤ 30	Recovery ***)	Isolation Room ***)	Dilution factor ***)
UDAF = UniDirectional Air Flow DMAF = Dilution Mixing Air Flow							
<p>*) Comments to SUP (EN 16798-3):</p> <p>1) Supply (SUP) can be supported by secondary (SEC) of equal quality. SUP, SEC and extract (ETA) air in ventilation systems shall be designed, controlled, operated and maintained such that unacceptable contamination e.g. by inorganic or organic substances, harmful gases within the system, are controlled.</p> <p>2) Extract air (ETA) from healthcare premises is defined as ETA 2 "Extract air with moderate pollution level" or a higher pollution level according to EN 16798-3.</p> <p>3) Recirculation of air and mixed air (RCA, MIA according to EN 16798-3) are only allowed in medical locations where:</p> <p>a) the ventilation system serves only one room secondary air (SEC, according to EN 16798-3);</p> <p>b) the ventilation system employs overflow to a set of associated rooms (air-locks /-ante rooms)</p> <p>** According to EN-ISO 16032</p> <p>*** See section 5.5.2 for specifics</p> <p>**** See for complete performance specifications section 5.4.3</p>							

Vaikka CL-1-luokituksen raja-arvo onkin ≤ 10 CFU/m³, sallitaan reuna-alueen (Periphery area, Per) puhtaustasoksi ≤ 50 CFU/m³, kunhan kaikkien mittaustulosten keskiarvo alittaa ≤ 10 CFU/m³. CL-2-luokituksessa kaikkien mitattujen arvojen täytyy olla ≤ 100 CFU/m³, jolloin luokitukseen vaadittu keskiarvokin ≤ 100 CFU/m³ toteutuu. (4, luku 5.4.4.)

Standardissa määritellään mm. leikkaussalin suositeltu minimiraitisilmavirta, ylipaine, lämpötila ja kosteus. Näiden arvojen lisäksi kartoittamalla ilmanjakotapa, lämpökuormat, henkilömäärä, vaatetuksen taso, palautumisaika ja haluttu puhtaustaso (CL-1 tai CL-2)

saadaan määritettyä leikkaussalin minimi-ilmavirta. Tästä ilmavirrasta muu kuin raitisilmaisuus on leikkaussalista poistettua kiertoilmaa, joka puhalletaan takaisin leikkaussaliin HEPA-suodattimien kautta. Syy suureen kierrätysilmavirran käyttöön on ulkoilman olosuhteiden (lämpötila ja kosteus) vaihtuvuus ja energiansäästö erityisesti talvella ja kesällä.

Uusi standardi helpottaa suunnittelua, koska sen avulla rakennuttajan on helpompi valita hankkeeseensa parhaiten sopiva vaihtoehto ja suunnittelija saa selkeät tavoitearvot. Toki tässä vaiheessa myös kokemusperäiset tiedot jo tehdyistä hankkeista ovat edelleen avainasemassa tehtäessä laadukasta suunnitelmaa.

Leikkaussalin tulisi olla yli 5 Pa ylipaineinen viereisiin tiloihin nähden, mikäli kyseessä on normaali leikkaus, jossa on tarkoitus suojella ensisijaisesti potilasta ulkopuolisilta tartunnoilta. Suomesta löytyy myös leikkaussaleja, jotka on suunniteltu toimimaan myös alipaineisina, jolloin näitä voidaan käyttää vaarallisten tautien omaavien potilaiden leikkauksissa. Alipaineista leikkaussalia ei tunnusteta kuitenkaan tulevassa standardiehdotuksessa.

5 Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset

Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset on Aleksanteri Setälän vuonna 2017 valmistunut Aalto-yliopistoon tehty diplomityö. Työssä käsiteltiin Suomessa käytössä oleviin leikkaussaleihin tehtyjä olosuhdemittauksia. Työssä käytiin myös läpi leikkaussalin sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä sekä ilmanvaihdon toteutustapoja sekä suunnitteluun ja salin ilmanvaihdon mitoittamiseen vaikuttavia tekijöitä. Ventilation for hospitals -standardiluonnoksen sen hetkistä luonnosversiota käytiin myös läpi. Työssä keskityttiin tulosten esittelyyn, eikä analyysille eri tekijöiden vaikutuksista ollut mahdollisuuksia. Työn jatkotutkimusehdotuksissa nostettiin esille tarve tehdä tarkempaa analyysiä eri tekijöiden vaikutuksista lopputulokseen. (10)

5.1 Johtopäätökset työn pohjalta

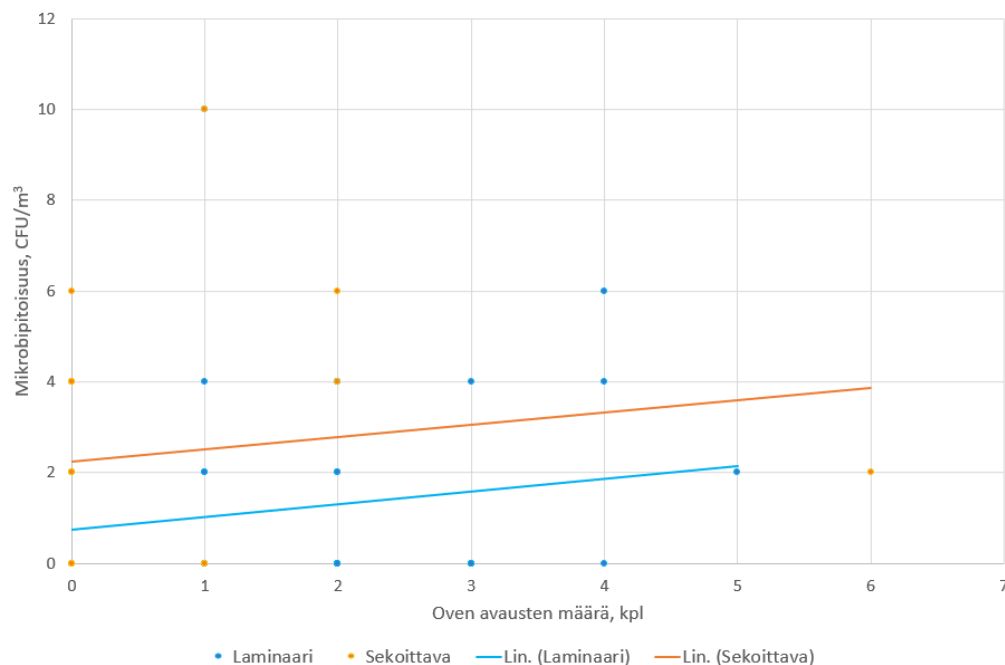
Tässä työssä on analysoitu Aleksanteri Setälän diplomityössä esitettyjä mittaustuloksia. Lisäksi analyysissä on mukana myös uusia mittaustuloksia.

Ovien avaamisen vaikutukset.

Ovien avaamisen vaikutuksia leikkaussalin ilman mikrobipitoisuuteen voidaan tarkastella kuvan 8 perusteella. Siitä nähdään, että ovien avausten lisääntyessä, myös CFU/m³-taso nousee. Vaikutukset leikkausalueelle ovat kuitenkin minimaalisia. Kuvaaja koostuu mittaustuloksista, jotka täyttävät seuraavat määreet:

- ylipaine viereisiin tiloihin nähden 5–20 Pa
- ilmavirta henkilöä kohden yli 150 l/s
- mittauspisteen sijainti suoja-alueella
- tuloilma H14 HEPA-suodatettua.

Mittaukset, joiden tulos oli <math><2\text{ CFU/m}^3</math> on merkattu arvolla 0 CFU/m³.

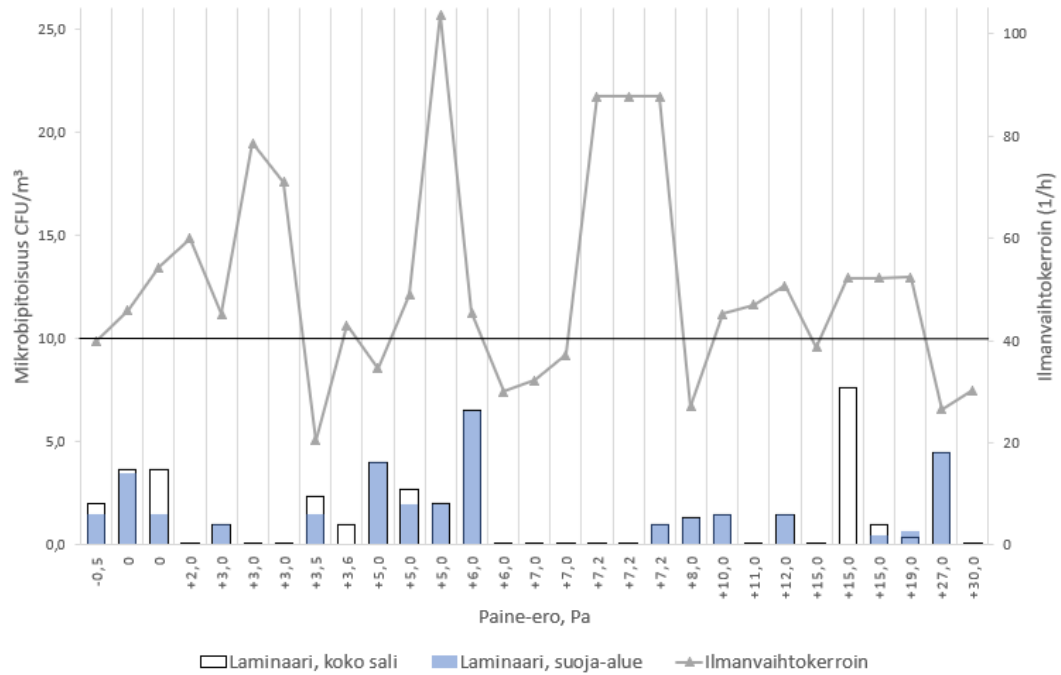


Kuva 8. Oven avaamisen vaikutus suoja-alueen mikrobimäärään.

Leikkaussalin ollessa ohjeiden mukaisesti ylipaineinen ovien avaamisen vaikutukset ovat pieniä, mutta kuitenkin huomattavissa. Muuttujia, joita ei voitu huomioida, ovat mm. leikkaussalin ulkopuolisen tilan puhtaus ja oven aukioloaika. Näitä vaikutuksia voi minimoida käyttämällä leikkaussalin yhteydessä erillistä sulkutilaa, kuten puhdistilarakentamisessa käytetään. Mitatuissa leikkaussaleissa sulkutiloja ei ollut. Kuvassa 8 esitettyjen mittaustulosten vähäinen määrä johtuu siitä, että ennen kuvaa 8 esitetyt kriteerit täyttäviä mittaustuloksia oli vähän.

Paine-eron ja ilmanvaihtokertoimen vaikutus CFU/m³-pitoisuuteen

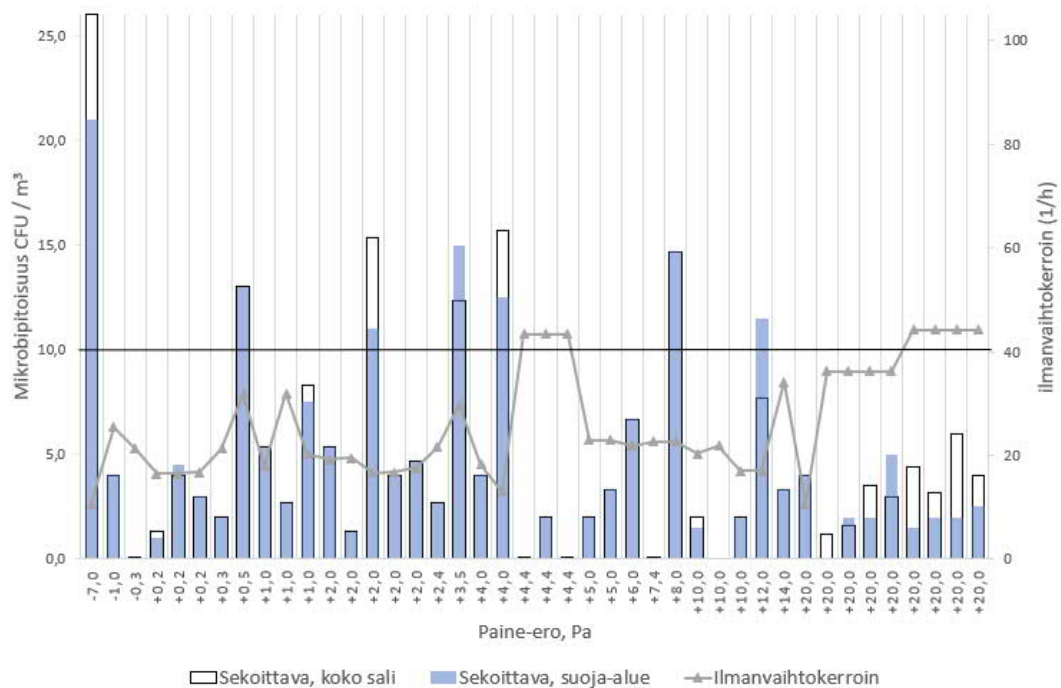
Kuvissa 9 ja 10 on esitetty ilmanjakotavoittain leikkaussalien mikrobipitoisuudet ja ilmanvaihtokertoimet verrattuna salin paine-eroon ympäröiviin tiloihin nähden. Sinisellä värillä näkyy suoja-alueen mikrobipitoisuuden mittausarvo. Koko salin mikrobipitoisuutta kuvattaessa palkki on rajattu mustalla reunalla. Mikäli rajattu alue on sinistä aluetta suurempi, tyhjäksi jäänyt alue kuvaa reuna-alueen mikrobipitoisuuden arvoa. Jos pylväs on kokonaan sininen, suoja- ja reuna-alueen arvot ovat yhtä suuret tai reuna-alueen tuloksia ei ollut. Paine-erolla +19 Pa merkityssä salissa reuna-alueen mikrobipitoisuus oli suoja- aluetta matalampi, minkä vuoksi pylväs näkyy vain osittain rajattuna. CL-1-luokan puhtaustaso 10 CFU/m³ on esitetty paksummalla viivalla.



Kuva 9. Paine-eron ja ilmanvaihtokertoimen vaikutus laminaarisella ilmanvaihdolla varustetun leikkaussalin CFU/m³-pitoisuuteen.

Laminaarisalien osalta sekä suoja-, että reuna-alueen kaikki tulokset olivat CL-1-tasoa. Ilmanvaihtokertoimien osalta oli suurta hajontaa keskiarvon ollessa 51 1/h. Paine-eron osalta suositus 5–20 Pa:n ylipaineesta ei toteudu kaikissa saleissa.

Sekoittavan ilmanvaihdon salien osalta vastaava kuva 10 on esitetty seuraavaksi.



Kuva 10. Paine-eron ja ilmanvaihtokertoimen vaikutus sekoittavalla ilmanvaihdolla varustetun leikkaussalin CFU/m³-pitoisuuteen.

Sekoittavan ilmanvaihdon saleissa keskimääräinen ilmanvaihtokerroin on noin puolet laminaarisalien kertoimesta. Keskimääräinen ilmanvaihtokerroin on 26 1/h. Koko salin mitaustuloksia tarkasteltaessa sekoittavat salit, joissa paine-ero on yli +4 Pa, luokitellaan yhtä poikkeusta lukuun ottamatta CL-1-luokkaan. Selitystä tälle poikkeukselle ei löytynyt.

Tarkasteltaessa esitettyjä kuvia, voidaan nähdä, että leikkaussalin ylipaineistamisella on vaikutusta CFU/m³-pitoisuuteen. Molempien salityyppien tuloksista nähdään, että paine-eron ylittäessä +4 Pa:n rajan, alkaa mikrobipitoisuuksien määrä vakiintumaan, jolloin lähes kaikissa sekoittavan ilmanvaihdon saleissa päästää puhtauden osalta CL-1-luokkaan. Tulokset osoittavat myös sen, että laminaarisaleissa ylipaineen merkitys suoja-alueen mittaustuloksiin ei ole yhtä suuri kuin sekoittavissa saleissa.

Ilmanvaihdon mitoitus henkilömäärän mukaisesti.

Henkilömäärä on yksi tärkeimmistä leikkaussalin sisäilman epäpuhtauslähteistä. Liitteessä 1 näkyy eroteltuna laminaarisen ja sekoittavan ilmanvaihdon salien mikrobipitoisuus eri ilmavirroilla verrattuna ilmavirtaan henkilöä kohden. Suoja-alueen, reuna-alueen

ja koko salin mittaustulokset on esitetty omilla väreillään. Laminaarisalien osalta reuna-alueen mittaustulos ei ole oleellinen tieto ja myös mittaustulosten vähäisen määrän vuoksi tulokset jätettiin kuvan 10 tarkastelun ulkopuolelle. CL-1-luokan puhtaustaso 10 CFU/m^3 on esitetty paksummalla viivalla. Sekoittavan ilmavirran salien osalta reuna-alueen tulokset on otettu salin reuna-alueelta, vaikka määritelmänä reuna-aluetta ei sekoittavan ilmavirran saleissa olekaan.

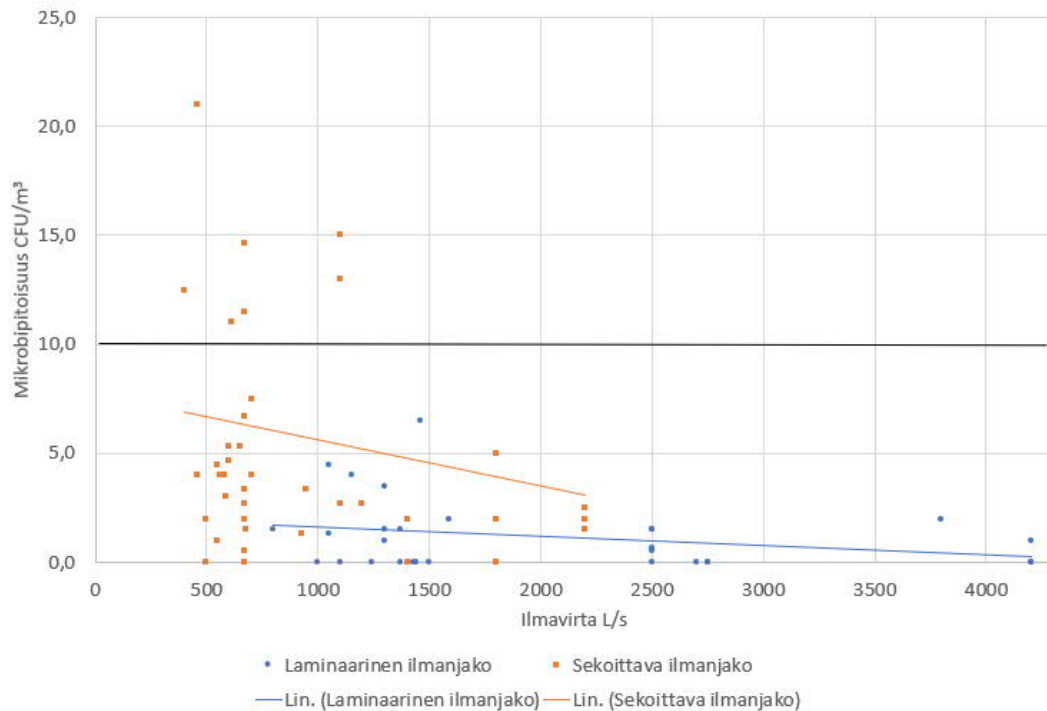
Saadut mittaustulokset sekoittavien salien suoja-alueilta osoittavat sen, että sekoittavissa saleissa ilmavirran ollessa $>160 \text{ l/s}$ henkilöä kohden saavutetaan CL-1-luokan puhtaustaso sekä suoja-alueen että koko salin tulosten osalta yhtä poikkeusta lukuun ottamatta kaikissa tapauksissa. Mittauspöytäkirjan havaintojen mukaan tämän poikkeuksen aiheuttaneen leikkaussalin osalta on olemassa epäily näytteen kontaminoitumisesta. Kasvattamalla ilmavirtaa henkilöä kohden nähdään myös selkeä vaikutus salin CFU/m^3 -pitoisuuteen.

Laminaarisaleissa päästään kaikissa tapauksissa CL-1-luokkaan sekä suoja-alueen että koko salin tarkastelun osalta. Kuvan mukaan huomataan, että lisäämällä ilmavirtaa henkilöä kohden saadaan vain pieni parannus leikkaussalin CFU/m^3 -pitoisuuteen.

Reuna-alueiden mittaustuloksia on huomattavasti vähemmän johtuen siitä, että leikkausten kesto ei ollut aina riittävä useamman mittauksen tekemiseen. Kuvassa havaitut erot eri ilmanjakotapojen välillä selittyvät sillä, että laminaarisalien tuloilma puhalletaan huomattavasti pienemmälle alueelle, tehden laminaarisalin suoja-alueen ilmavirta-arvon henkilöä kohden huomattavasti suuremmaksi kuin sekoittavan ilmanvaihdon saleissa. Kuvan perusteella voidaan myös todeta, että henkilömäärän vaikutus laminaarisalin suoja-alueen puhtauteen ei ole merkittävä.

Ilmavirran vaikutus mikrobipitoisuuteen

Ilmavirran kasvattamisella tiedetään olevan vaikutusta tilan mikrobipitoisuuteen. Kun muut partikkeleita ilmaan päästävät asiat ovat kunnossa, voidaan ilmavirta rajata järkeväälle tasolle ajatellen myös leikkaussalin käyttökustannuksia. Kuvassa 11 on huomioitu vain suoja-alueelta saadut mittaustulokset. Tulokset, joissa 500 l:n näytemäärän osalta ei ole löydetty partikkeleita, on esitetty arvolla 0 CFU/m^3 . Sekoittavan ilmanvaihdon sekä laminaarisen ilmanvaihdon tulokset on esitetty erikseen.



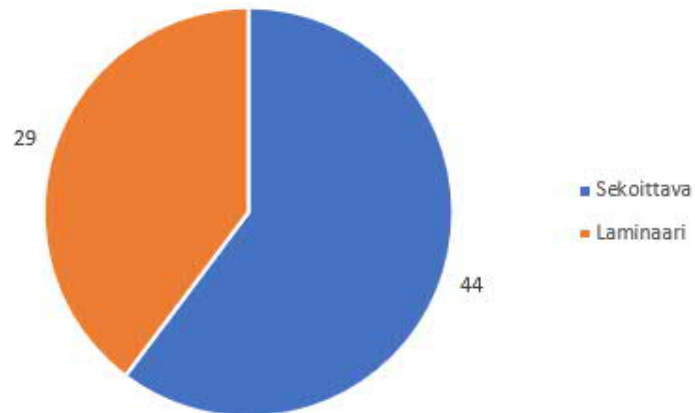
Kuva 11. Ilmavirran vaikutus CFU/m³-pitoisuuteen suoja-alueella.

Kuvasta selviää, että kaikkien yli 1 100 l/s ilmavirran omaavien leikkaussalien suoja-alueella on päästy CL-1-puhtausluokan vaatimaan tasoon. Laminaarisalien suoja-alueen CFU/m³-arvossa ei tapahdu merkittäviä muutoksia ilmavirran ylittäessä 1 500 l/s, CFU/m³-arvon pysyessä kaikissa tapauksissa <2 CFU/m³. Sekoittavalla ilmanvaihdolla varustetuissa leikkaussalissa ilmavirran kasvattamisen vaikutukset ovat havaittavissa laminaarisaleja selkeämmin.

5.2 Tilannekatsaus sisältäen uudet mittaukset

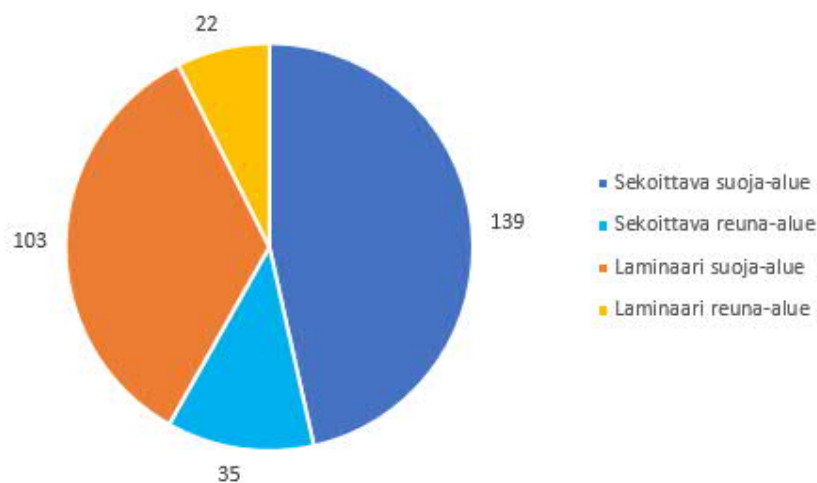
Tässä työssä käsitellään Aleksanteri Setälän diplomityössään listaamien leikkaussalimitaustulosten lisäksi myös 48:n myöhemmin mitatun kohteen mittaustuloksia. Erityisen mielenkiintoisia tuloksia on saatu niistä kohteista, joissa on tehty uusintamittauksia ja parannuksia ensimmäisten mittausten jälkeen huomioiden havaitut epäkohdat ja puutteet. Parannuksia on tehty mm. painesuhteiden, tiiviiden, siisteyden ja suodatustason parantamisen suhteen.

Mittaukset ovat jakautuneet ilmanjakotyypin mukaan siten, että sekoittavalla ilmanjaolla varustettujen leikkaussalien mittaustuloksia on 44 kpl ja laminaarisella ilmanjaolla varustettujen leikkaussalien mittaustuloksia 29 kpl. Kuvassa 12 on esitetty leikkaussalien jakauma perustuen ilmanjakotapaan.



Kuva 12. Mitattujen leikkaussalien jakauma perustuen ilmanjakotapaan.

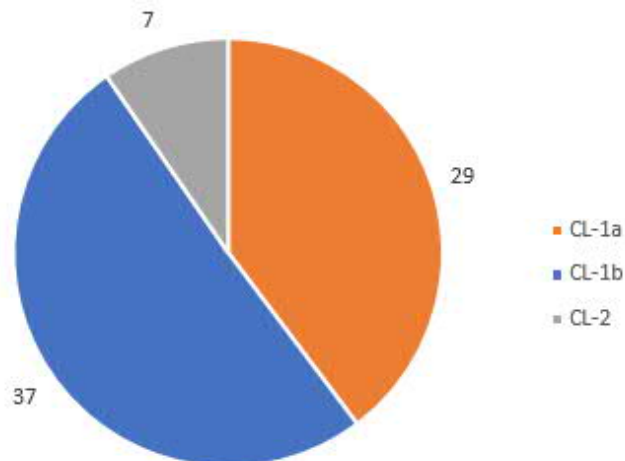
Näytteitä oli käytössä yhteensä 299, josta noin 3 % jätettiin laboratorioanalyysin tehneen tahon antaman kontaminoitumisepäilyn vuoksi tarkastelun ulkopuolelle. Kuvassa 13 on esitetty näytteiden määrän jakautuminen.



Kuva 13. Näytteiden määrä perustuen ilmanjakotapaan ja näytteenottoalueeseen.

Mittatuista 73 leikkaussalista 66 leikkaussalia saavutti CL-1-puhtausluokan ja vain 7 salia jäi CL-2-luokkaan. Kuvassa 14 on esitetty leikkaussalien jakautuminen puhtausluokittain. Mittaustuloksista selviää, että todennäköisiä syitä CL-2-luokan mittaustuloksille ovat

- leikkaussalin alipaineisuus viereisiin tiloihin nähden
- riittämätön ilmanvaihto, alle 100 l/s henkilöä kohden
- mahdollinen näytteiden kontaminoituminen
- tuloilman liian alhainen suodatustaso.



Kuva 14. Mitattujen leikkaussalien jakautuminen puhtausluokittain.

5.3 Mittausten suoritus

Mittaukset on toteutettu kunnallisten ja yksityisten toimijoiden leikkaussaleissa Halton Oy:n mittauspalvelua hyödyntäen.

5.3.1 Mittausten tarkoitus

Mittausten tarkoitus on kartoittaa mitattavan leikkaussalin ilman puhtaus. Mittaus tehdään leikkauksen aikana, jolloin saadaan realistinen tulos. Mittauksessa tarkastellaan ilman mikrobipitoisuutta per yksi kuutiometri ilmaa (CFU/m³). Mittausten tulosten perusteella leikkaussalien omistaja saa tiedon salin ilman puhtaudesta ja voi tarvittaessa alkaa

toimenpiteisiin, mikäli mittaukset osoittavat puhtaustason olevan jotain muuta kuin haluttu.

5.3.2 Mittauslaitteet ja -järjestelyt

Mittauslaitteella imetään 50 l/min ilmaa gelatiinisuodattimen läpi 10 min:n ajan. Laitteen läpi ajetaan täten 500 litraa ilmaa, jolloin lopullisissa mittaustulosten tarkasteluissa arvo täytyy kertoa kahdella, jotta saadaan vertailua varten oikea luku. Tämän vuoksi mittaus- tulokset, joista ei ole löytynyt yhtään pesäkettä, luokitellaan arvolla <2 CFU/m³. Mittaus- tuloksia käsiteltäessä tämä arvo on korvattu arvolla 0 CFU/m³.

Ilmassa olevat mikrobit tarttuvat gelatiinisuodattimeen, jonka jälkeen gelatiinisuodatin siirretään kasvatusalustalle. Kasvatusalustaa viljellään 35 °C:n lämpötilassa 48 tuntia ja tämän jälkeen mahdolliset pesäkkeet analysoidaan. Mittauksissa käytettävien gelatiini- suodattimien mukana toimitetaan aina ylimääräinen referenssimalja, jonka tarkoituksena on varmistaa, että näyte-erä ei ole valmistusprosessissa saastunut.

Mittaukset on tehty kuvassa 15 esitettyä mikrobikeräintä Sartorius Airport MD8 käyttäen.



Kuva 15. Mikrobikeräin (10, s. 42).

5.3.3 Mittauksen lähtötiedot

Mittausten yhteydessä mitattiin paine-erot suhteessa viereisiin tiloihin, jotta näiden avulla voitaisiin myöhemmin ratkoa mahdollisia mittauksessa havaittuja poikkeamia tai syitä epäloogiseen lopputulokseen. Myös viereisten tilojen ilmanpuhtaus on mitattu joissain tapauksissa. Leikkaussalin puhtauden kannalta oikea paine-ero on myös tärkeä. Ohjeellisenä paine-erona käytettiin 5–20 Pa:n ylipainetta viereisiin tiloihin nähden. Mitattujen tilojen ilmavirtoja tai paine-eroja ei muutettu.

Mittauksissa mittaaja selvitti mitattavan leikkaussalin pinta-alan ja korkeuden, jotta voitiin määrittää leikkaussalin tilavuus. Usein lähtötietona oli arkkitehti- tai ilmanvaihtosuunnitelma. Tuloilmavirran avulla saatiin laskettua salin ilmanvaihtokerroin 1/h. Mittausten yhteydessä kirjattiin ylös jokaisen mittauskerran aikana salissa ollut henkilömäärä sekä oven avausten määrä. Leikkaushenkilökunnan vaatetus kirjattiin ylös. Pääosin pelkät käytetyt vaatekappaleet kirjattiin, mutta joissain mittauksissa saatiin tieto myös vaatetuksen materiaalista ja valmistajasta. Mittausten pääasiallinen tarkoitus oli selvittää ilmanpuhtaus, minkä vuoksi vaatetukseen ei kiinnitetty tämän opinnäytetyön vaatiman tarkkuuden mukaista huomiota.

5.4 Kehitysehdotuksia todentamismittauksiin

Mittaustuloksia läpikäydessä puuttuvien tietojen etsiminen jälkikäteen oli työlästä. Vaatetuksen osalta kirjausten tarkkuus ei ollut tässä opinnäytetyössä tehtyjen tarkastelujen valossa riittävän tarkka, jotta olisi voitu tehdä tarkempia johtopäätöksiä vaatetuksen vaikutuksista. Mittaustuloksia analysoidessa esiin tuli seuraavia parannusehdotuksia:

- tilan pinta-alan ja korkeuden määrittäminen esim. laser etäisyysmittarin avulla
- leikkaussalin kulkuoven vastakkaisen tilan CFU/m³-mittaus
- mittaajan omat kommentit huomioitava ja kirjattava tarkasti ylös
- leikkausolosuhteiden tallentaminen ottamalla valokuva salin ohjausnäytöstä tai käyttämällä omaa lämpötila- ja kosteusmittaria
- ilmavirran tarkastaminen ajantasasuunnitelmista sekä automaatiosta
- tarkennettava, mitä ovea käytettiin esim. numeroimalla ovet
- valokuvat henkilökunnan vaatetuksesta.

6 Vaatetus

Tässä luvussa esitetään taustatietoa vaatetukseen liittyen ja kuvataan materiaaleja ja niiden ominaisuuksia sekä eri vaatekappaleita ja niiden tarkoitusta. Lopuksi kuvataan tarkemmin Haltonin testilaboratoriossa tehtyjä vaatemittauksia.

6.1 Materiaalit

Seuraavaksi käydään läpi sairaalavaatetuksessa sekä muissa sairaalatekstiileissä käytössä olevia valmistusmateriaaleja ja niiden ominaisuuksia.

Puuvilla

- Puuvillakuitu koostuu lähes pelkästään selluloosasta.
- Kaikista käytettävistä tekstiilikuiduista noin 45 prosenttia on puuvillaa.
- Puuvillasta tehdyt vaatteet ovat hengittäviä, eivätkä ne villan tavoin kutita tai ärsytä ihoa. Puuvilla aiheuttaa harvoin allergisia reaktioita.
- Puuvilla on väriltään yleensä luonnonvalkoinen, joskus myös todella vaalea keltainen.
- Puuvilla on kankaana luja ja kestävä ja sitä on helppo värjätä.
- Puuvillan ominaisuuksiin kuuluu hyvä kosteuden imukyky, rypistyvyys, hidas kuivuminen ja hyvä pesunkestävyys.
- Lankatiheys on yleensä vähintään 200 TC. (11.)

Polyesteri (uudelleen pestävät asut)

- Polyesterikuidut ovat yleisesti käytettyjä tekstiili- ja verhoilumateriaaleina.
- Polyesterit ovat kevyitä helposti värjättäviä ja huonosti rypyyntyviä.
- Polyesterit ovat eniten valmistettuja synteettisiä polymeerejä.
- Polyesterien tuottaminen on petrokemiallisesti yksinkertaista ja halpaa.
- Polyesterikuitu valmistetaan yleensä sulakehruumenetelmällä, jossa sulaa lähtöainetta puristetaan suolakkeiden läpi ja jäädytetään kuiduksi.
- Mikrokuituasut koostuvat yleensä lähes 100 % polyesteristä lisättynä pienellä määrällä hiilikuitua.
- Polyesteri on kestävä ja luja kuitu ja sitä voidaan valmistaa erikoislujana.
- Polyesterillä on suhteellisen hyvä kemiallinen kesto.

- Polyesteri ei rypisty eikä nyppyynty helposti ja sillä on hyvät pesunkesto-ominaisuudet. Se myös kuivuu nopeasti. (12; 13.)

Polypropeeni (kertakäyttöisen asut ja tekstiilit)

- Polypropeenia käytetään useissa tarkoituksissa, kuten kalvoissa, kuiduissa, köysissä, levyissä ja kuitukankaissa.
- Polypropeenista tehdystä kuitukankaasta valmistetaan kertakäyttötekstiilejä, liinoja ja suojavaatteita puhdistiloihin.
- Polypropeeni on erittäin vastustuskykyinen liuottimille, emäksille ja hapoille.
- Polypropeenin sulamispiste on 160 °C.
- Polypropeeni on melko turvallinen polymeeri, joten sitä käytetäänkin monissa elintarvikepakkauksissa.
- Polypropeenia voidaan sulattaa ja käyttää uudelleen tai polttaa energijakeena. (2; 14; 15.)

6.2 Vaatekappaleet

Perusvaatetukseen kuuluvat sukat, t-paita ja pitkälahkeiset housut. Tämän lisäksi leikkauksissa käytetään seuraavissa kuvissa esitettyjä vaatekappaleita tarpeen mukaan. Vaatetus vaihtelee leikkauksen ja leikkaukseen osallistuvan henkilön roolin mukaisesti. Kuvassa 16 on esitetty HUS:n yleisesti käyttämä työasu.



Kuva 16. Simuloinneissa käytetty mikrokuitukankainen työasu sisältäen housut ja lyhythihaisen paidan (16).

Kuvissa 17, 18 ja 19 on esitetty erilaisia vaihtoehtoja kaula- ja pääalueen suojaamiseen leikkauksen aikana.



Kuva 17. Kasvosuoja, kertakäyttöinen kirurginen suusuoja. Suojaa käyttäjän nenä- ja suualueen. Henkilöllä päässään myös leikkauspäähine (17).



Kuva 18. Hiussuoja tai leikkauspäähine, hiuksia suojaava vaatekappale (17).



Kuva 19. Leikkaushuppu tai kypärämallinen leikkauspäähine. Kaulan alaosasta lähtevä vaatekappale, joka jättää avoimeksi vain käyttäjän kasvot (17).

Erityisesti kirurgin ja muiden leikkauksessa potilaan lähellä työskentelevien käyttämä lisäsuojaa antava ja steriili pitkähihainen leikkaustakki ja lateksipohjaiset suojahansikkaat on esitetty kuvassa 20. Kuvan henkilöllä on myös käytössä leikkaushuppu sekä esitetty kasvosuoja. Kuvassa olevalla henkilöllä on jalassaan kantapään osalta avoin sandaali -mallinen kenkä.



Kuva 20. Leikkaustakki sekä suojahansikkaat (18).

6.3 Simuloidut leikkaukset testilaboratoriossa

Simuloidut leikkaukset suoritettiin Haltonin tiloissa Haltonin, Uudenmaan sairaalapesula Oy:n, HUS:n ja Granlund Oy:n toimesta 3.12.2019. Mittausten tavoitteena oli saada selvyyttä HUS:n käyttämien ja Uudenmaan sairaalapesulan valmistamien ja pesemien leikkaussalivaatteiden mikrobipäästöt (CFU/s, hlö), eli paljonko yhdestä henkilöstä keskimäärin vapautuu haitallisia mikrobeja leikkaussalin ilmaan sekunnissa, kun käytetään Uudenmaan sairaalapesulan valmistamaa leikkaussalivaatetusta.

Simuloituja leikkauksia suoritettiin 4 kpl, ja jokaisessa leikkauksessa oli mukana 10 henkilöä. Kunkin leikkauksen kesto oli 55 minuuttia. Leikkauksen toiminta jäljitteli lonkkaleikkauksen toimintakuvaa, jossa kuvitteelliselle potilaalle asennettiin lonkan tekonivel. Saliin luotiin normaalia leikkausta vastaavat lämpökuormat lämmönlähteiden avulla.

Jokaisella osallistujalla oli ohjeet, miten toimia leikkauksen aikana, jotta toiminta olisi samanlaista kaikissa leikkauksissa.

Vaatetus koostui housuista, lyhythihaisesta puserosta, hiussuojasta, leikkaushupusta, hengityssuojaimesta, sukista ja jalkineista. Tämän lisäksi leikkauspöydän vieressä työskentelevillä henkilöillä oli päällään leikkaustakki ja suojahansikkaat. Kuvassa 21 näkyy testissä käytetty vaatetus.



Kuva 21. Testimittauksissa käytetty vaatetus (16).

Leikkaussalin ilmavirta henkilöä kohden oli 180 l/s ja ilmanvaihtokerroin 36 1/h. Kaikki mittaukset päättyivät lopputulokseltaan CL-1b-luokkaan, koko salin mittaustulosten ollessa välillä 2–3 CFU/m³. Mittausten perusteella saatiin käytetylle vaatetukselle päästövoimakkuusarvoksi <1 CFU/s /hlö (15). Tulosta voidaan pitää hyvänä, kun vertailukohdaksi otetaan Chalmersin Yliopiston julkaisemassa teknisessä raportissa esitetyt tulokset.

set. Julkaisussa puhdastilavaatetuksen päästövoimakkuus oli 0,7 CFU/s, kertakäyttöisen leikkausvaatetuksen 1,15 CFU/s ja materiaaleilta hieman toisistaan poikkeavien yleisten leikkausvaatetusten arvot olivat 1,9–5,0 CFU/s (19, s. 73–74).

7 Yhteenveto

Leikkaussalit kuuluvat sairaalarakentamisen haastavimpiin tiloihin sekä suunnittelun että toteutuksen kannalta. Suunnitteluvaiheessa täytyy tehdä useita valintoja, joiden lopputuloksena syntyy toimiva ja käyttötarkoitustaan hyvin palveleva leikkaussali. Ilmanjakotapa valitaan laminaarisen ja sekoittavan ilmanjakotavan välillä. Ilmanjakotavan valintaan vaikuttaa vahvasti se, kuinka suuri puhdas alue leikkaussalin keskellä tarvitaan, millaiset ovat laitevaatimukset leikkaussalin kattoon kiinnitettävillä kattokeskuksilla, valaisimilla ja muilla laitteilla sekä millaisia leikkauksia salissa tullaan tekemään.

Ilmanjakotavan lisäksi suunnittelun lähtökohtia ovat leikkaussalin henkilömäärä, käytettävä vaatetus, tilaan kohdistuvat lämpökuormat, haluttu puhtaustaso sekä oikea paineero viereisiin tiloihin nähden. Nämä asiat huolellisesti kartoittamalla saadaan mitoitettua leikkaussalin tuloilmavirta sekä vaadittava ilmavirta, jolla päästään haluttuun puhtaustasaan.

Leikkaussalien suunnittelu ja rakentaminen ovat viime vuosina kehittyneet paljon. Tekeillä on Euroopan laajuinen standardiehdotus Ventilation for hospitals, jossa määritetään vähimmäisvaatimukset leikkaussalien ja eristystilojen toteuttamiseksi. Tämän lisäksi myös Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri on julkaissut oman ohjeen leikkaussalien toteutusta varten. Suunnittelun tueksi on leikkaussaleissa eri puolilla Suomea tehty mittauksia liittyen leikkaussalien ilmanpuhtauteen. Näitä mittauksia ja niiden tuloksia on esitetty jo aikaisemmin Aleksanteri Setälän diplomityössä.

Käyn työssäni läpi tehtyjä mittaustuloksia sekä analysoin niistä saatuja tuloksia leikkaussalin puhtauteen vaikuttavien tekijöiden kannalta. Mittauksissa ilmi tulleet asiat leikkaussalin puhtauteen vaikuttavista tekijöistä ovat olleet jo yleisessä tiedossa, mutta mittauksen avulla näiden asioiden tueksi saatiin vahvistusta. Mittaukset tukevat sitä, että uuden standardin ohjeistus leikkaussalin ilmanvaihdon suunnittelusta ja toteutuksesta on oikea.

Vaatetuksen rooli leikkaussalin puhtaudessa on tärkeä. Työssä perehdyttiin erilaisiin tapoihin mitata vaatetuksen sisäilmaan tuottama mikrobikuorma. Tämän asian selvittämiseksi järjestettiin erilliset testimittaukset, joiden avulla selvitettiin yhden vaatekokonaisuuden päästövoimakkuus, eli paljonko partikkeleita vaatekokonaisuus päästää ilmaan aikayksikössä (CFU/s). Mittaustulokset osoittivat, että kyseinen vaatekokonaisuus on toimiva ja siinä käytetyt materiaalit ja valmistustavat soveltuvat leikkaussalikäyttöön, kun halutaan tavoitella korkean puhtaustason sisäilmaa leikkaussalissa.

Mittaustulosten tukemana voidaan esittää seuraavia johtopäätöksiä liittyen leikkaussalin keskellä sijaitsevaan suoja-alueeseen:

- Ovien avaaminen oikein paineistetussakin leikkaussalissa aiheuttaa riskin sille, että avauksen myötä leikkaussaliin päätyy haitallisia partikkeleita.
- Ohjeiden mukainen yli 5 Pa:n ylipaineisuus on perusteltua, eikä leikkaussalin keskellä olevalla suoja-alueella havaittu tämän toteuduttua enää suuria muutoksia mikrobipitoisuudessa.
- Tuloilmavirran kasvattaminen parantaa leikkaussalin puhtaustasoja, mutta ilmavirtaa ei voida kasvattaa rajattomasti. Kokonaisilmavirran ollessa yli 1 100 l/s tai henkilömäärään perustuvan mitoituksen ollessa yli 160 l/s henkilöä kohden leikkaussalit saavuttivat parhaan puhtaustason tason CL-1.

Työssä saatiin käsiteltyä tehtyjen mittausten tulokset riittävällä tarkkuudella. Jatkotutkimuksia jo tehtyjen tai uusien mittausten tukemana olisi hyvä tehdä tarkemmin yksittäisistä vaatekappaleista, keskittyen erityisesti pää- ja kaula-alueella suojaaviin vaatekappaleisiin ja niiden vaikutuksiin leikkaussalin mikrobipitoisuudessa. Tämän lisäksi olisi myös mielenkiintoista selvittää uusintamittauksin, millaisia tuloksia ensimmäisissä mittauksissa heikkoja tuloksia saaneista leikkaussaleista saataisiin korjaavien toimenpiteiden jälkeen.

Lähteet

- 1 Seppänen, Olli., Seppänen, Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki: Sisäilmayhdistys 1996.
- 2 Halton VSN. Verkkoaineisto. Halton Oy. <<https://www.halton.com/fi/products/halton-vita-vsn-tuloilmayksikko/#downloads>>. Luettu 6.10.2021.
- 3 Halton VZD. Verkkoaineisto. Halton Oy. <<https://www.halton.com/fi/products/vzd-fi-fi/>>. Luettu 8.10.2021.
- 4 prEN xxxxx-1:2020.1 Introductory element – Ventilation for hospitals – Part 1: General requirements, Operating Suites and isolation Rooms. 2021. Technical Committee CEN/TC 156.
- 5 SFS-EN 13795-2 2019 Surgical clothing and drapes. Requirements and test methods. Part 2: Clean air suits. 2019. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 6 SFS-EN ISO 14644-3 Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. 2001. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 7 Alanen, Vasara, Setälä. 2021. Factors influencing cleanrooms and operating rooms. Renhets teknik 2021/2, s. 8–10.
- 8 Mattila, Salmela, Kalliohaka, Nurmi, Heinonen, Enbom. 2012. Leikkausosaston työ- ja suoja-asuihin pukeutuneen henkilön hiukkaspäästöt – Body box -menetelmä. Tutkimusraportti. Verkkoaineisto. VTT. <<http://htsairaala.vtt.fi/pdf/Tutkimushankkeen%20loppuraportti.pdf>>. Luettu 27.5.2019.
- 9 SFS-EN ISO 14644-4 Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. 2001. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 10 Setälä, Aleksanteri. 2017. Leikkaussalin ilmanvaihdon todentamismittaukset. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopisto.
- 11 Puuvilla. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Puuvilla>>. Luettu 3.6.2021.
- 12 Polyesteri. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Polyesteri>>. Luettu 3.6.2021.
- 13 Boncamper, Irma. 1999. Tekstiilioppi. Kuituraaka-aineet. Julkaisu C:20. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.

- 14 Palo, Johanna. 2006. Puhdastilatekstiilit – Teollisuuden asettamat vaatimukset ja kehitystarpeet. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 15 Polypropeeni. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Polypropeeni>>. Luettu 3.6.2021.
- 16 Leikkaussalivaatetuksen testaus simuloidulla leikkauksella Haltonilla. 2019. Mitätauseraportti. Halton Oy, Hus, Uudenmaan sairaalapesula Oy (nyk. Puro Oy), Granlund Oy.
- 17 Tuoteluettelo. Verkkoaineisto. Mölnlycke Health Care AB. <<https://www.molnlycke.fi/SysSiteAssets/master-and-local-markets/documents/finland/surgical/tuotekatalogi.pdf>>. Luettu 3.6.2021.
- 18 Leikkaustakit. Verkkoaineisto. Mölnlycke Health Care AB. <<https://www.molnlycke.fi/tuotteet-ratkaisut/barrier-ultimate-leikkaustakki/>>. Luettu 3.6.2021.
- 19 Ljungqvist, Reinmüller. 2014. Short Version: Practical Safety Ventilation in Operating Rooms – An Introduction. Tekninen raportti. Verkkoaineisto. Chalmers University of Technology. <https://www.safetyventilation.com/_project/_media/_doc/news/short-version-2018v2.pdf>. Luettu 28.10.2021.

Ilmavirran vaikutus leikkaussalin CFU/m³-pitoisuuteen

