jamk.fi

Fotonidesinfiointijärjestelmän vaikutus leikkaussalin mikrobi- ja hiukkasmääriin ilmanvaihdon tukena

Mika Paananen

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2021
Tekniikan ala
Insinööri (YAMK) Energialiiketoiminnan johtaminen

Jyväskylän ammattikorkeakoulu
JAMK University of Applied Sciences

jamk.fi

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

JAMK University of Applied Sciences

jamk.fi

Kuvailulehti

Tekijä(t)	Julkaisun laji	Päivämäärä
Paananen, Mika	Opinnäytetyö, ylempi AMK	Maaliskuu 2021
	Sivumäärä 70	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x

Työn nimi

Opinnäytetyön nimi

Fotonidesinfiointijärjestelmän vaikutus leikkaussalin mikrobi- ja hiukkasmääriin ilmanvaihdon tukena

Tutkinto-ohjelma

Energialiiketoiminnan johtaminen

Työn ohjaaja(t)

Matti Siistonen, Hannariina Honkanen

Toimeksiantaja(t)

Led Tailor

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tilaajana oli Led Tailor. Led Tailor on suomalaisyritys, jonka tuotteet perustuvat siniseen LED-valoon. Ratkaisuilla parannetaan pintahygieniaa ja ilmanlaatua mm. sisäilmaongelmakohteissa, teollisuudessa ja terveydenhuollossa. Tutkimus tehtiin Keski-Suomen keskussairaalassa, sairaala Novan hybridileikkaussalissa. Opinnäytetyön mittaukset tehtiin ennen potilaiden saapumista ja leikkaussalin validointimittausten jälkeen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää fotonidesinfiointijärjestelmän vaikutus leikkaussalin hiukkas- ja mikrobimääriin ilmanvaihdon tukena. Tämän lisäksi tutkittiin myös sitä, onko mahdollista säästää ilmastoinnin energiankulutuksessa, mikäli mittaustulokset osoittavat selvästi, että fotonidesinfiointijärjestelmä toimii? Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena ja pääasiallisena tiedonkeruumenetelmänä toimi partikkelimittarit, mikrobimaljat ja kiinteistövalvomon trendiseurannat.

Tutkimuksessa selvisi, että sininen valo tuhoaa hybridileikkaussalista mikrobeja varsin tehokkaasti, mutta partikkelien kannalta katsottuna valolla ei tutkimuksissa havaittu olevan vaikutusta niiden vähenemiseen. Tutkimuksessa havaittiin, että energian säästötoimilla ei saavuteta sellaista hyötyä, että se olisi järkevää, kun huomioidaan potilasturvallisuuteen liittyvät asiat.

Opinnäytetyössä havaittiin, että jatkotutkimuksia Keski-Suomen sairaanhoitopiirin kannattaa tehdä mikrobien osalta. On selvitettävä missä erilaisissa tilanteissa sinistä valoa kannattaa käyttää, kun huomioidaan koko hybridileikkaussalin koko leikkausprosessi.

Avainsanat (asiasanat)

Partikkelit, mikrobit, ilmanvaihto leikkaussaleissa, hybridileikkaussali

Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)

jamk.fi

Description

Author(s)	Type of publication	Date
Paananen, Mika	Master's thesis	March 2021
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 70	Permission for web publication: x

Title of publication

Effect of photon disinfection system on operating room microbial and particle counts in support of ventilation

Degree programme

Master's Degree Programme in Energy Business Management

Supervisor(s)

Matti Siistonen, Hannariina Honkanen

Assigned by

Led Tailor

Abstract

Led Tailor, the client of the study is a Finnish company that develops and manufactures chemical-free disinfection solutions based on blue LED light. The solutions improve surface hygiene and air quality, e.g., healthcare, industry and indoor air problems.

The research was performed at the Central Hospital of Central Finland, Hospital Nova's hybrid operating room. The measurements were taken before patient arrival and after, operating room validation measurements.

The aim of the study was to find out the effect of the photon disinfection system on the particle and microbial amounts, in the operating room as a support for ventilation. In addition to this, it was also investigated whether it is possible to save on the energy consumption of the air conditioner if the measurement results clearly show that the photo-disinfection system works? The thesis was implemented as a development study and the main data collection method was particle meters, microbial plates and real estate trend monitoring.

The study showed that blue light kills microbes from the hybrid operating room quite effectively, but from the point of view of the particles, the light was not found to have an effect on their reduction. The study found that energy saving measures do not provide benefits that make sense when patient safety issues are taken in consideration.

It was discovered in the thesis that further research should be done in the Central Finland Hospital District relating to microbes. It must be researched in which different situations the blue light should be used, when taken into account the entire cutting process of the hybrid operating room.

Keywords/tags (subjects)

Particles, microbe, ventilation in operating room, hybrid operating room

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1 Johdanto 6

1.1 Lähtökohta 6

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja päämäärä 7

1.3 Opinnäytetyön laajuuden rajaaminen 9

1.4 Toimeksiantoyrityksen esittely 9

2 Opinnäytetyön toteutus kehittämistutkimuksena 10

2.1 Tutkimusmenetelmän valinta 10

2.2 Kehittämistutkimus 11

2.3 Laadullinen tutkimus 14

2.4 Toimintatutkimus 15

2.5 Aineistonkeruumenetelmät 16

2.6 Kehittämistutkimuksen luotettavuuden tarkastelu 17

3 Ilmanvaihto ja sisäilmasto 18

3.1 Yleistä leikkaussalien ilmanvaihdosta 18

3.2 Ilmainvaihtoa koskevat ohjeet ja määräykset 19

4 Mikrobien vaikutus tilojen puhtauteen 20

4.1 Mikrobien mittaustavat 20

4.1.1 Ilmanäyte 20

4.1.2 Laskeumamalja 21

4.1.3 Pintanäyte 22

4.2 Leikkaussalin siivous 23

5 Valon vaikutus tilojen puhtauteen 25

5.1 Yleistä teoriaa näkyvästä valosta 25

5.2 Sinisen valon antimikrobinen vaikutus 26

6 Leikkaussalin ilmanvaihdon vaatimustaso ja tekninen toteutus 27

6.1 Lämpöolot ja kosteus 27

6.2 Painesuhteet ja tiiviyden merkitys leikkaussalin puhtauteen 29

6.3 Kiertoilma ja raitisilma 29

6.4 Epäpuhtaudet ... 32
6.5 Ilmanvaihdon suodatus ... 34
6.6 Yleisimmät leikkaussalien ilmanjakotavat ... 36
6.6.1 Laminaarinen ilmanjako ... 36
6.6.2 Sekoittava ilmanjako ... 37
6.6.3 Ilmanjakotapojen vertailu ... 37
6.7 Kiinteistöautomaation merkitys olosuhteiden luonnissa ... 39
6.8 Leikkaussalin suorituskykyvaatimukset ... 40
6.8.1 Salin sisäilman puhtaustaso ... 40
6.8.2 Mikrobiologinen puhtaustaso ... 41
6.8.3 Painesuhteet ... 41
6.8.4 Lämpötila ... 41
6.8.5 Ilman suhteellinen kosteus ... 42
6.8.6 Toipumisaika ... 42

7 Hybridileikkaussalin mittaukset ... 43
7.1 Yleistä hybridileikkaussalista ... 43
7.2 Leikkaussalin rakenne ja tiiviysmittaukset ... 44
7.3 Leikkaussalin paine-erot ... 44
7.4 Leikkaussalin ilmamäärät ... 45
7.5 Leikkaussalin mikrobimittaukset ... 45
7.6 Leikkaussalin toipumismittaukset ... 46

8 Opinnäytetyön mittaukset ... 47
8.1 Hybridileikkaussalin mittausten tausta ... 47
8.2 Hybridileikkaussalin mittaussuunnitelma ... 47
8.3 Hybridisalin partikkelimittaukset ... 52
8.4 Hybridisalin mikrobimittaukset ... 53
8.4.1 Laskeumamaljat ... 53
8.4.2 Pintanäytteet ... 55
8.5 Hybridileikkaussalin valaistusmittaukset ... 56
8.6 Mittausten aikainen trendiseuranta kiinteistövalvonnasta ... 60

9 Mittausten tulokset ... 62

9.1 Leikkaussalin partikkelien tulokset ... 62

9.2 Mikrobien tulokset ... 65

9.2.1 Leikkaussalin pintanäytteiden tulokset ... 65

9.2.2 Leikkaussalin laskeumamaljojen tulokset ... 65

10 Tulosten tarkastelu ... 66

10.1 Tulosten luotettavuus ... 66

10.2 Tulosten tarkastelu energianäkökulmasta ... 68

11 Pohdinta ... 69

Lähteet ... 71

Liitteet ... 75

Liite 1. Tiiviystestaus ... 75

Liite 2. Leikkaussalien mikrobimittaukset ... 76

Liite 3. Hybridisalin palautumisaika ... 77

Kuviot

Kuvio 1. Kehittämistutkimus ... 12

Kuvio 2. Kehittämistutkimuksen malli ... 13

Kuvio 3. Kehittämistutkimuksen vaiheet ... 14

Kuvio 4. Toimintatutkimuksen prosessin vaiheet ... 16

Kuvio 5. Luotettavuustarkastelussa arvioidaan sitä, onko kaikki tutkimuksen erivaiheet tehty oikein. ... 18

Kuvio 6. Andersenin 6-vaiheimpaktori. ... 21

Kuvio 7. Laskeumamaljat. ... 22

Kuvio 8. Pintanäyte. ... 22

Kuvio 9. Näkyvän valon aallonpituudet eri väreille. ... 25

Kuvio 10. Sinisen valon vaikutukset mikrobisolussa ... 26

Kuvio 11. Miellyttäviksi koetut lämpötilat leikkauksessa.. ... 28

Kuvio 12. Kiertoilman toimintaperiaate. ... 30

Kuvio 13. Suomen säävyöhykkeet. 31
Kuvio 14. Hiukkasmittausten luokitusrajat. 33
Kuvio 15. Suodattimien luokitustaulukko. 35
Kuvio 16. EPA-, HEPA- ja ULPA-suodattimien luokitus. 35
Kuvio 17. Ilman virtaus laminaarisessa leikkaussalissa. 36
Kuvio 18. Ilman virtaus sekoittavan ilmanjaon leikkaussalissa. 37
Kuvio 19. Toimintakoevaiheessa olevan sairaala Novan hybridileikkaussalin ilmanvaihtokoneen näkymä sairaalan kiinteistövalvomon näytöltä 40
Kuvio 20. Sairaala Novan hybridileikkaussali. 44
Kuvio 21. Leikkaussalin tiiviysmittaukset. 44
Kuvio 22. Hybridileikkaussalin ilmanvaihtokerroin. 45
Kuvio 23. Hybridisalin mikrobimittaukset at-rest -tilassa. 45
Kuvio 24. Hybridileikkaussalin toipumisaika numeraalisesti. 46
Kuvio 25. Hybridileikkaussalin toipumismittaukset kuvaajan muodossa 46
Kuvio 26. Hybridisali normaalissa valaistuksessa. 50
Kuvio 27. Hybridileikkaussali sinisessä valossa. 51
Kuvio 28. Partikkelimittauspisteet ja partikkeleiden syöttöpaikka molempien mittausten aikana. 52
Kuvio 29. Laskeumamaljojen sijoituspaikat 53
Kuvio 30. Leikkauspöydän päällä oleva laskeumamalja. 54
Kuvio 31. Pintanäytteiden mittauspaikat. 55
Kuvio 32. Valaistusmittauspaikat hybridisalissa. 56
Kuvio 33.Valon värilämpötila (CCT Correlated colour temperature) mittauspisteessä 1 57
Kuvio 34. Valon aallonpituudet mittauspisteessä 1 57
Kuvio 35. Valon värilämpötila (CCT Correlated colour temperature) mittauspisteessä 2. 58
Kuvio 36. Valon aallonpituudet mittauspisteessä 2 59
Kuvio 37. Valon värilämpötila (CCT Correlated colour temperature) mittauspisteessä 3 59
Kuvio 38. Valon aallonpituudet mittauspisteessä 3. 60
Kuvio 39. Mittausten aikainen paine-ero hybridisalin ja käytävän välillä. 60
Kuvio 40. Mittausten aikainen trendiseuranta kiinteistövalvonnan näytöltä. 61

Kuvio 41. Mittausten aikainen näkymä hybridisalin käyttäjäpaneelista. 62
Kuvio 42. Mittauspisteen numero 1 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja normaali valaistus päällä. 63
Kuvio 43. Mittauspisteen numero 1 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja sinivalo päällä. 63
Kuvio 44. Mittauspisteen numero 2 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja normaali valaistus päällä. 64
Kuvio 45. Mittauspisteen numero 2 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja sinivalo päällä. 64
Kuvio 46. Pintanäytteiden tulokset hybridisalista. SV tarkoittaa sinistä valoa. ... 65
Kuvio 47. Laskeumamaljojen tulokset. SV tarkoittaa sinistä valoa. 66
Kuvio 48. Kuva hybridisalista valaistusmittausten aikana 67

1 Johdanto

1.1 Lähtökohta

Jyväskylään rakennetaan parasta aikaa Suomen suurinta keskussairaalaa, Sairaala Novaa. Novan rakentaminen aloitettiin vuonna 2014 ja nyt hanke on loppusuoralla. Sairaala Nova on siinä mielessä erilainen hanke, jossa rakennetaan koko sairaala uusiksi, muissa Suomessa rakenteilla olevissa hankkeissa on tyydytty vain korjaamaan tai rakentamaan lisärakennuksia nykyisten rakennusten tilalle.

Novaan rakentuu mm. täysin uudenlaisia leikkaussaleja sekä eristystiloja ja esimerkiksi apteekin toiminnot automatisoituvat merkittävästi. Edellä mainitut toiminnot aiheuttavat haasteita myös ylläpidon toimivuuteen. Hankkeen aikana on puhuttu, että useat toiminnat siirtyvät 24/7 toimintaan ja tämä aiheuttaa painetta myös tukipalvelujen uudelleen organisointiin.

Sairaala Nova on täynnä myös uudenlaista tekniikkaa ja uudenlaisia järjestelmiä, joita aiemmin ei sairaaloissa ole ollut. Sairaala-projektin projektinjohtajaurakoitsijana on toiminut SRV.

Tavoitteet ja päämäärät Novassa ovat alun alkaen olleet seuraavat:

- potilas ensin, terveellinen
- turvallinen
- hyvä työympäristö
- tehokas ja edistyksellinen ICT
- hyvä logistiikka
- integroitu palvelujärjestelmä
- ennaltaehkäisy ja terveyden edistäminen
- vaikuttavuus ja kustannustehokkuus
- johtaminen prosessien kautta.

Keski-Suomen sairaala Novaa voidaan helposti kutsua koko Suomen edistyksellisimmäksi sairaalaksi mm. uusien toiminnanohjausjärjestelmien, potilastietojärjestelmien, sekä uudenaikaisen talotekniikan vuoksi.

Sairaala Nova on jaettu neljään alueeseen jo luonnossuunnitteluvaiheessa. Kuumaan sairaalaan, joka koostuu leikkaussaleista, päivystyksestä, synnytyssaleista, teho-osastosta sekä erilaisista valvonta- ja päivystysosastoista. Vuodeosastoihin, joissa potilaat saavat käyttöönsä yhden hengen potilashuoneet, ja joissa potilaita hoidetaan ilman perinteisiä eri erikoisalojen tai erikoissairaanhoidon ja perusterveydenhuollon välisiä osastorajoja. Vuodeosastoilla olevat yhden hengen potilashuoneet ovat yksi erikoisuus, jonka vuoksi Nova erottuu muista sairaaloista.

Elektiivisessä sairaalan osassa taas potilaat käyvät suunnitelluilla poliklinikka- ja päiväsairaalakäynneillä. Yhteiskäyttöisiä vastaanottohuoneita käytetään potilastyöhön ja paperityöt tehdään monitilatoimistossa. Elektiivisen sairaalan toiminnallisen ytimen muodostavat osaamiskeskukset, joissa nykyisten eri erikoisalojen ja eri ammattiryhmien yhteistyö ja konsultointi on sujuvaa. Elektiiviselle puolelle tulee myös kaupungin terveyskeskuspalveluita.

Tukipalveluihin kuuluvat laboratoriot, apteekki ja välinehuolto. Varsinkin apteekin toiminta on erittäin robotisoitu ja viety samalla uudelle tasolle, apteekin toiminnasta ollaan tällä hetkellä erittäin kiinnostuneita ympäri maailmaa. Logistiikkaan liittyvät yhteydet on optimoitu jo suunnitteluvaiheessa. Sairaala Novassa materiaali-, potilas- ja henkilövirrat on eriytetty toisistaan. Koko sairaalan ylläpidosta vastaava tekniikka on viety neljänteen kerrokseen. Neljännessä kerroksessa on mm. koko sairaala rakennuksen kiinteistöautomaation valvomo. (Sairaala Nova 2020)

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja päämäärä

Sairaala Novaan rakentuu täysin uusi leikkausosasto, jossa toimii 24 uutta leikkaussalia. Omassa opinnäytetyössäni tutkin sinisen valon vaikutusta hybridileikkaussalin mikrobien ja hiukkasten määrään. Olisiko mahdollista säästää energiaa, mikäli sininen valo

pystyy tekemään tilat puhtaammiksi hiukkasista ja mikrobeista? Opinnäytetyöni vastaa myös moneen muuhun Sairaala Novan tavoitteeseen.

Opinnäytetyön ”Fotonidesinfiointijärjestelmän vaikutus leikkaussalin hiukkas- ja mikrobimääriin ilmanvaihdon tukena” tutkimustavoitteena on selvittää, parantaako fotonidesinfiointijärjestelmä leikkaussalin energiatehokkuutta tai onko sillä vaikutusta leikkaussalin puhtaustasoon ilmanvaihdon tukena?

Tutkimus on tärkeä, koska fotonidesinfiointijärjestelmiä on ollut markkinoilla vasta noin kaksi vuotta, eikä leikkaussaliympäristössä olevia referenssejä ei vielä Suomen sairaaloihin ennen tehty. Tutkimustarve oikeassa leikkaussaliympäristössä tehdylle vaikuttavuustutkimukselle on siis olemassa.

Työelämän kannalta katsottuna, tässä opinnäytetyössä tutkitaan mikrobien vähentämistä leikkaussalista. On arvioitu, että Suomessa esiintyy vuosittain 100 000 hoitoon liittyvää infektiota ja ne myös myötävaikuttavat 1500 – 5000 henkilön ennenaikaiseen kuolemaan. Hoitoon liittyvien infektioiden torjunta on osa myös potilasturvallisuutta. Tutkimukset Suomesta ja muista maista ovat osoittaneet, että hoitoon liittyvien infektioiden kansanterveydellinen merkitys on erittäin suuri. Torjuntatyöhön on myös inhimillisesti ja taloudellisesti erittäin kannattavaa panostaa. (THL, 2020)

On arvioitu, että esimerkiksi tehovalvonnassa olevista potilaista ja vaikeasti sairaista syöpäpotilaista jopa 25 – 50 % saa sairaalainfektion. Sairaalainfektion saavien osastohoitojakso on keskimäärin noin viikon muita sairaalassa olevia potilaita pitempi. Sairaalainfektioon on laskettu kuolevan Suomessa vuosittain 700 – 800 sellaista potilasta, jotka olisivat selvinneet hengissä, jos he eivät olisi hoidon aikana saaneet sairaalainfektiota. Näiden asioiden takia tämä tutkimustyöni on ajankohtainen ja varmasti hyödyllinen myös muille sairaaloille, kuin Keski-Suomen sairaanhoitopiirille Sairaala Novalle. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, 2020)

1.3 Opinnäytetyön laajuuden rajaaminen

Opinnäytetyön aihe on rajattu yhteen leikkaussaliin. Tilannetta ei ole avattu muiden salien tai salia ympäröivien tilojen suhteen. Syynä tähän on ollut mm. se, että ympäröivät tilat ovat olleet vielä jossain määrin rakennustyöaluetta ja näin olen mikrobien tutkiminen ja hiukkasten mittaaminen salin ulkopuolelta, olisi ollut turhaa. Toinen tärkeä asia on se, että muissa kuin hybridisalissa ei ole sinistä valoa käytössä.

1.4 Toimeksiantoyrityksen esittely

Toimeksiantoyrityksenä toimii Led Tailor. Led Tailor on vuonna 2014 perustettu suomalainen yritys, jonka kotipaikkakuntana toimii Salo. Led Tailor on siniseen LED-valoon perustuvia, kemikaalittomia desinfiointiratkaisuja kehittävä ja valmistava suomalaisyritys. Ratkaisuilla parannetaan pintahygieniaa ja ilmanlaatua mm. sisäilmaongelmakohteissa, terveydenhuollossa ja teollisuudessa. Yhtiön toimitusjohtaja on Harri Arjo Rautio. Päättyneellä tilaudella 06/2019 yhtiöllä oli 12 työntekijää. Yrityksen liikevaihto on pyörinyt vuodesta riippuen 0,4-1 miljoonassa eurossa.

Led Tailor on palkittu mm. Quality Innovation Award of the Year -palkinnolla ja Seal of Excellence -palkinnolla, jonka jakajana on toiminut Euroopan Komissio. Heidän kehittämällään ja patentoimalla ratkaisullaan on ollut siis ollut arvostusta jo aiemminkin.

Led Tailorin referenssejä on ollut mm. Suomen sairaaloista HUS, VSSHP, ESSOTE, KSSHP. Tämän lisäksi Led Tailorin palveluita ovat käyttäneet mm. hoivakodit, päiväkodit, hammashoitolat, puhdastilat, ruokakaupat ja elintarviketeollisuus. (Led Tailor, 2018)

2 Opinnäytetyön toteutus kehittämistutkimuksena

2.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Tämä opinnäytetyö on toteutettu kehittämistutkimuksena, jolla haettiin vastauksia fotonidesinfiointijärjestelmän toimivuuteen Keski-Suomen keskussairaalan Sairaala Novan hybridileikkaussalissa. Kuinka sininen valo toimii mikrobien ja hiukkasten vähentämisessä leikkaussalialueella? Parantaako sininen valo puhtaustasoa käyttötilanteessa? Laskeeko ilmassa olevien partikkelien pitoisuus salissa? Mikä on valaistuksen vaikutus salin ylläpitoon ja välisiivouksiin? Mikäli voidaan osoittaa pienien jatkuvasti ilmassa olevien partikkelipitoisuuksien laskua, mikä vaikutus tällä on leikkaussalin siivousten lopputulokseen?

Hyvän ja laadukkaan tutkimussuunnitelman laatiminen oli elinehto hyvä opinnäytetyön tekemiselle. Omassa työssäni erityisesti jo tekemäni mittaussuunnitelma antoi hyvän pohjan taas tutkimussuunnitelman tekemiselle.

Tekemäni mittaussuunnitelman kautta joutui paneutumaan mahdollisiin muutoksiin ja muuttujiin ennen varsinaisen mittaustyö aloitusta. Mittaussuunnitelmassa joutui ottamaan kantaa ja pohtimaan opinnäytetyön luotettavuutta, sekä toistettavuutta. Kuinka samalaiset mittaukset onnistuisivat toisissa saleissa? Mielestäni näihin kysymyksiin pystyin vastaamaan jo mittaussuunnitelmaa tehdessä. Mielestäni mittaussuunnitelma on luotettava ja sen varaan voi laskea koko opinnäytetyön luotettavuuden.

Keskeisimmät tutkimuskysymykset opinnäytetyössäni olivat:

Tutkimuskysymys 1:

Mikä on fotonidesinfiointijärjestelmän hyöty mikrobien vähentämisessä leikkaussalista?

Tutkimuskysymys 2:

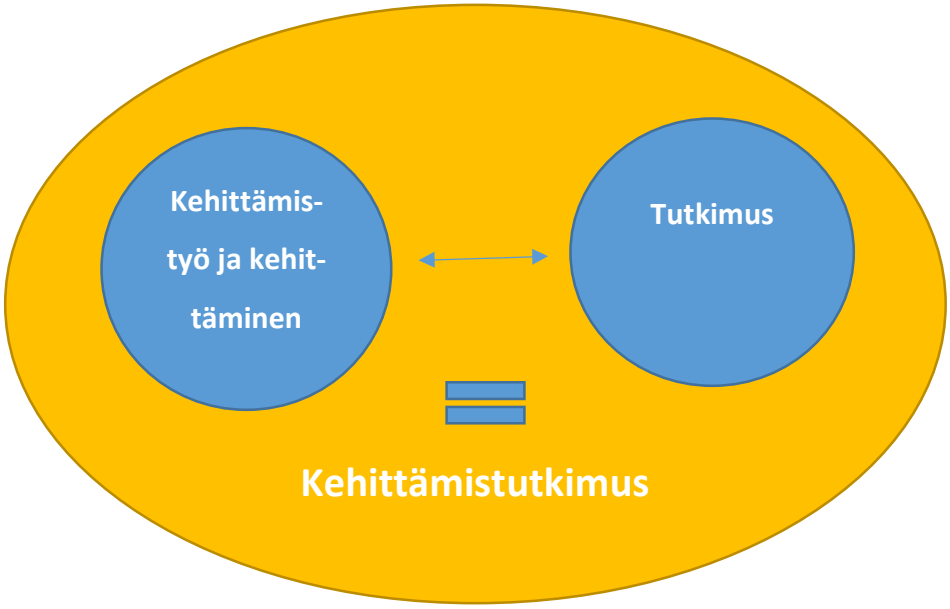
Kuinka fotonidesinfiointijärjestelmä vaikuttaa hiukkasten vähenemiseen leikkaussalissa?

Tutkimuskysymys 3:

Onko mahdollista säästää ilmastoinnin energiankulutusta, mikäli mittaustulokset osoittavat selvästi, että fotonidesinfiointijärjestelmä toimii?

2.2 Kehittämistutkimus

Organisaatioissa ja yrityksissä pyritään koko ajan kehittämään ja parantamaan tuotteita, palveluja sekä prosesseja. Lähtökohta kehittämiselle on usein tarve uudistua tai muuttua, jolla tavoitellaan parempaa ja tehokkaampaa toimintamallia. Jorma Kananen mainitsee kirjassaan Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas, että kehittämistutkimus muodostuu usein erilaisista tutkimusmenetelmistä, yleensä tilanteen tai kohteen mukaan. Näin ollen kehittämistutkimus ei ole erillinen tutkimusmenetelmä. Kyseessä on siis monimenetelmäinen tutkimusstrategia tai tutkimusote, jossa yhdistyvät kvantitatiiviset ja kvalitatiiviset tutkimusmenetelmät (Kananen 2015, s.33)

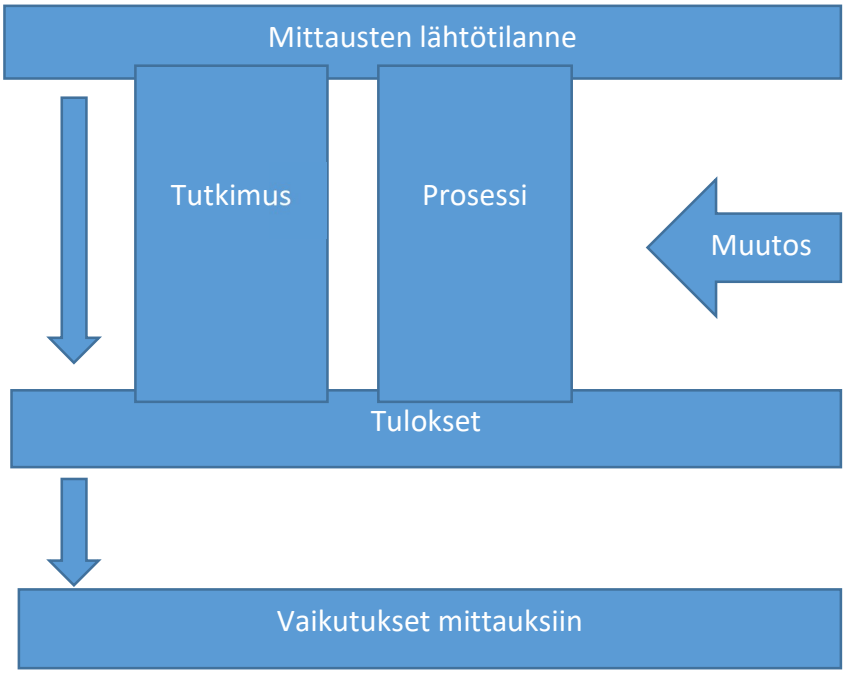


Kuvio 1. Kehittämistutkimus (Kananen 2015, muokattu)

Kehittämistutkimus perustuu aina teoriaan tai teorioihin, joiden välityksellä kehitettävää tai parannettavaa kohdetta aletaan tutkia (ks. kuvio 1). Teoriapohjan kautta kehittämiseen saadaan tutkimuksellinen ote, termiä -tutkimus voidaan tällöin käyttää. (Kananen 2012, s.19.)

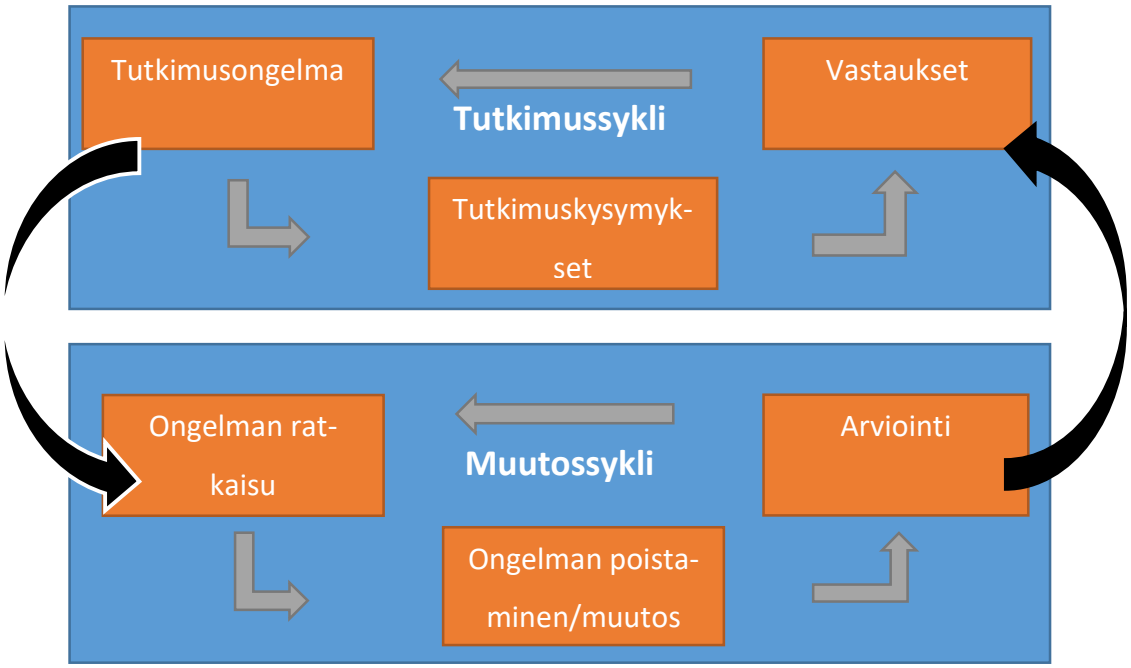
Kehittämistutkimuksessa aikomukseni on mahdollisimman luotettavaan ja oikeelliseen lopputulokseen pyrkiminen. Kehittämistyön suunnitteluvaiheessa pyrin siihen, että mittaussuunnitelma onnistuu mahdollisimman hyvin ja kattavasti. Omassa työssäni luotettavuutta ei voi tarkastella jälkijättöisesti. Luotettavan tuloksen saamiseksi pitää tehdä opinnäytetyösuunnitelma ja mittaussuunnitelma, jolla pyritään varmistamaan tulosten oikeellisuus.

Tutkimustulosten pitää olla luotettavia, on arvioitava myös sitä, onko tulokset pysyviä tai voiko tuloksiin vaikuttaa jokin sattuma. (Kananen, J. 2015 s.112)



Kuvio 2. Kehittämistutkimuksen malli (Kananen 2012, muokattu)

Arvioitaessa tutkittavaa prosessia lähtö- ja loppumittauksella on merkitystä, siihen, kuinka toimintaa on pystytty parantamaan muutokset kautta. Lähtö- ja lopputilannetta vertailemalla pystytään arvioimaan ja mittaamaan muutoksen vaikutusta. Kuviossa 2 on kuvattu kehittämistutkimuksen mallia.



Kuvio 3. Kehittämistutkimuksen vaiheet (Kananen 2015, muokattu)

Kuviossa 3. esitetään kehittämistutkimuksen eri vaiheet. Kuviosta näkee, kuinka tutkimussykli ja muutossykli ovat keskenään yhteyksissä. Ensimmäinen vaihe kehittämistyössä on määrittää nykytila. Ongelman seikkaperäinen määrittely ja ongelmaan vaikuttavien tekijöiden havainnointi ja analysointi on tärkeää työn onnistumisen kannalta. Ongelman määrittelyvaihe on syytä tehdä huolellisesti, sillä tämä vaihe vaikuttaa merkittävästi sen löytymiseen ja sen poistamiseen onnistuneesti. Omassa opinnäytetyössäni jouduin aina palaamaan alkuun ja arvioimaan sitä, että saatiinko mitattaviin suureihin aina vastaus ja oliko mittauksista saatu data riittävän hyvää ja kattavaa.

2.3 Laadullinen tutkimus

Laadullista tutkimusta kannatta käyttää tutkimusmenetelmäksi silloin, kun tutkittavasta ilmiöstä on vähän tietoa, tutkimuskohteesta halutaan saada syvällinen näkemys ja tutkimuksen avulla halutaan luoda uudenlaisia teorioita ja hypoteeseja (Kananen 2009, s. 20 -21).

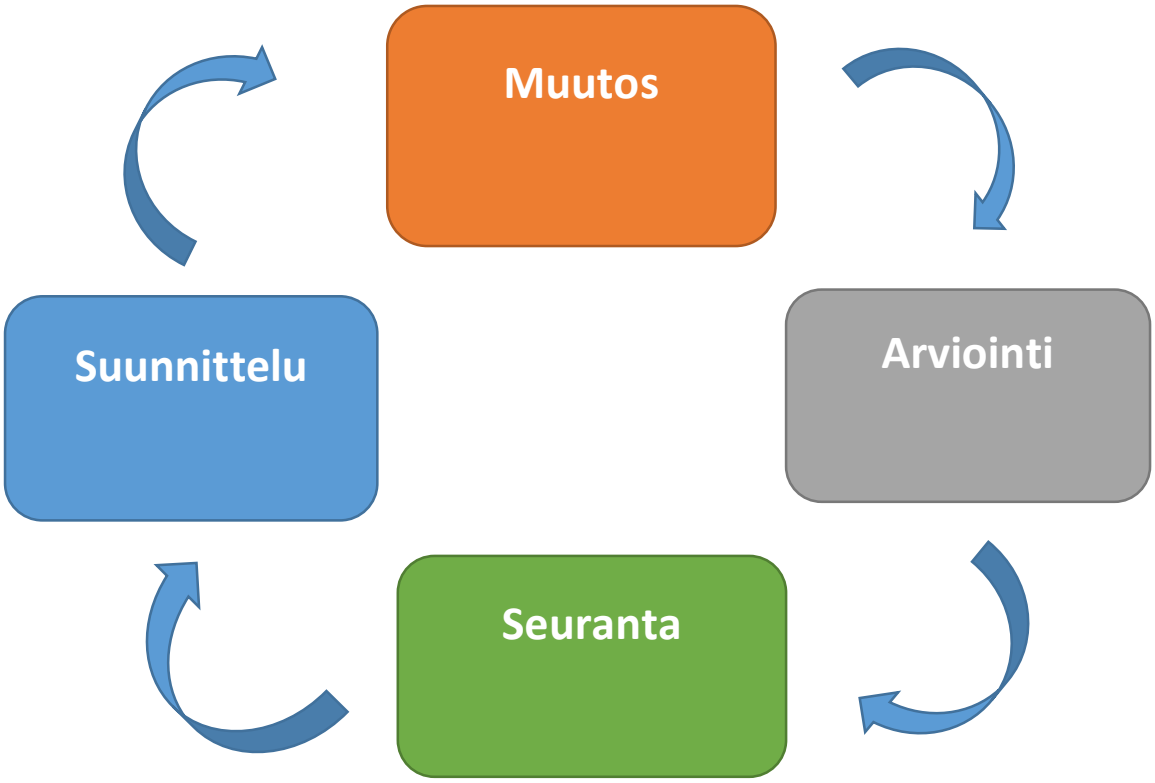
Tässä opinnäytetyössäni on kysymys myös tästä, koska aiemmin ei ole tehty leikkaussaleihin vastaavanlaista tutkimusta, kuin nyt. Laadullisen tutkimuksen avulla pyritään selittämään, havainnollistamaan sekä ymmärtämään tutkimuskohdetta, tässä tapauksessa leikkaussalia ja siihen liittyviä tekijöitä, tapahtumien yksityiskohtaisia rakenteita ja tekijöiden tai tapausten välisiä syyseuraussuhteita

Mielestäni laadullinen tutkimusmenetelmä on tässä tapauksessa erittäin perusteltua, sillä tavoitteena tässä tutkimuksessa on tutkia sinisen valon vaikutusta, siihen liittyviä tekijöitä ja tekijöiden välisiä suhteita.

2.4 Toimintatutkimus

Toimintatutkimuksella ja kehittämistutkimuksella on selkeä tavoite ja se on muutokseen pyrkiminen. Käytännössä nämä kaksi tutkimusmallia ovat melkein samanlaisia, mutta erona näissä kahdessa mallissa on se, että tutkija on mukana toteuttamassa muutoksen läpivientiä ja muutoksesta aiheutuvaa prosessia. Toimintatutkimukseen sisältyy läheisesti muutos, tutkimus ja toiminta. Nämä kaikki tapahtuvat yhtä aikaa. (Kananen 2012, s. 41.)

Kuviossa 4. on esitetty toimintatutkimuksen kehitystyö ja kuinka prosessi on jatkuva. Toiminta etenee suunnittelun, arvioinnin ja havainnoinnin kautta, jossa jokaista tutkimuksen vaihetta tarkastellaan kriittisesti. Omassa työssäni tämä oli koko tutkimuksen elinehto, että jatkuvasti tarkastellaan omaa tutkimusta kriittisesti. (Ojasalo, Moilanen, Ritalahti 2015, s.60)



Kuvio 4. Toimintatutkimuksen prosessin vaiheet (Ojasalo, Moilanen, Ritalahti 2015, muokattu)

Toimintatutkimusta usein mielletään osallistavaksi tutkimukseksi, jolla päämääränä on muutos ja muutoksessa pyritään ratkaisemaan käytännön ongelmia. Ongelmat voivat sosiaalisia, eettisiä, ammatillisia tai teknisiä ongelmia.

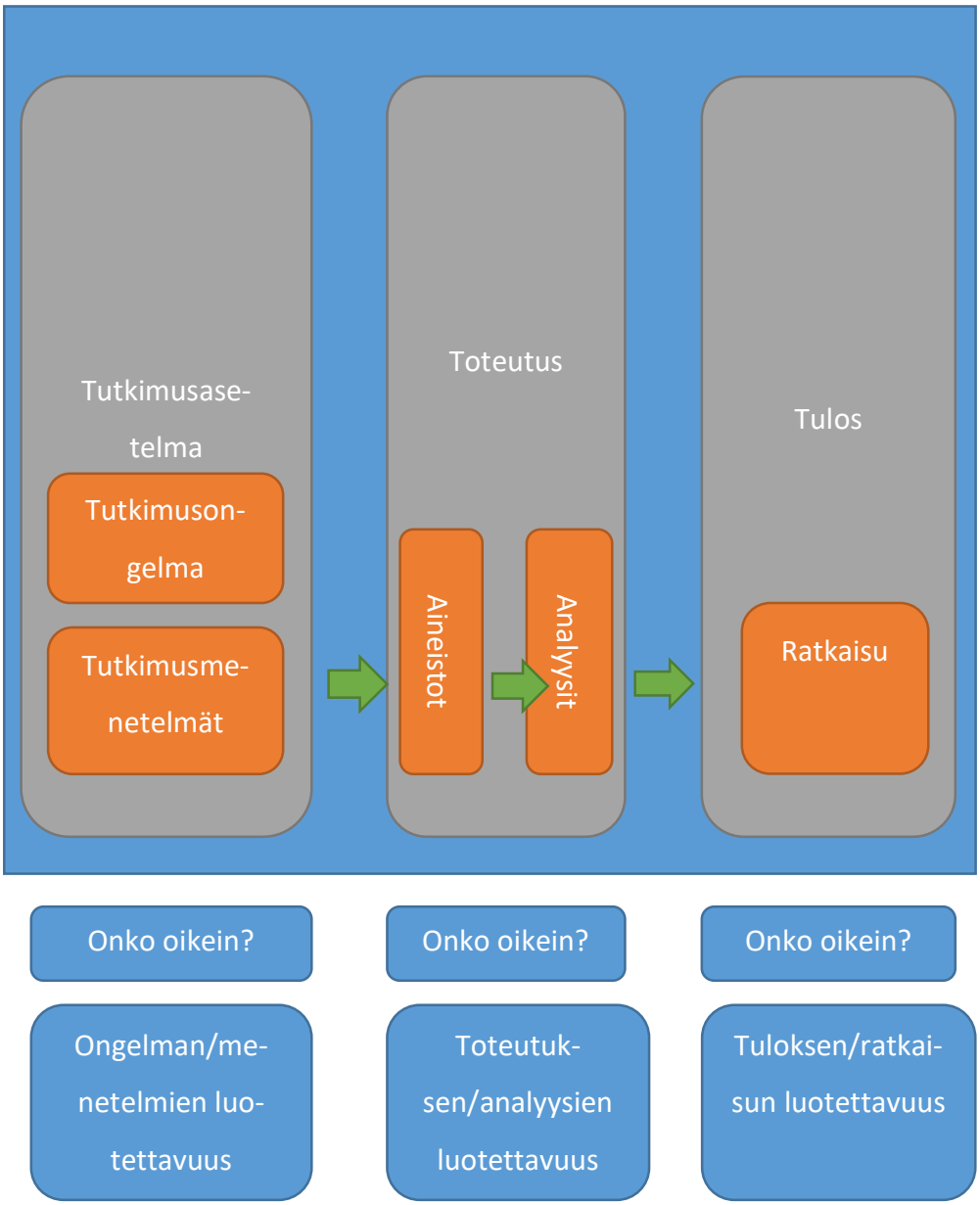
2.5 Aineistonkeruumenetelmät

Jotta tutkimusongelma pystytään ratkaisemaan, tarvitaan tietoa, jota tuotetaan tutkimusaineiston keruumenetelmillä. Opinnäytetyössäni havainnointia käytettiin vasta siinä vaiheessa, kun aloitin kiinteistövalvonnan trendi-seurantojen läpi käynnin. Silloin tarvittiin havaintoja mm. kyseisistä leikkaussalin olosuhteista, painesuhteista ja ilmamääristä. Muuten työssäni käytin paljon hiukkaslaskureiden dataa ja tuloksia mikrobimääristä.

Muita aineistonkeruumateriaaleja olivat muiden tutkijoiden tekemät tutkimukset vastaavanlaisista tutkimuksista. Näistä tutkimuksista saattoi päätellä myös oman työn onnistuminen ja oliko muissa tutkimuksissa vastaavanlaisia tuloksia.

2.6 Kehittämistutkimuksen luotettavuuden tarkastelu

Kuviossa 5 tutkimuksen luotettavuutta voidaan tarkastella kuvion kautta. Tutkimusta tehdessä luotettavuutta voidaan mitata eri mittareilla, yleensä luotettavuuden mittareina käytetään validiteettia ja reliabiliteettia, jotka mittaavat tutkimuksen laatua ja luotettavuutta.



Kuvio 5. Luotettavuustarkastelussa arvioidaan sitä, onko kaikki tutkimuksen erivaiheet tehty oikein. (Kananen 2015, muokattu)

Kehittämistutkimuksessa tärkein asia on päästä hyvään ja luotettavaan lopputulokseen. Jälkijättöisesti ei voida tarkastella luotettavuutta, koska se on silloin vain toteavaa. Ennakkosuunnitelman kautta voidaan varmistaa tutkimuksen oikeellisuus ja luotettavuus tuloksia tarkastellessa. Tutkimusta tehdessä ja tuloksia analysoitaessa on huomioitava myös reliabiliteetti, eli luotettavuus. Onko tulokset uusittavissa? Myös validiteetti on huomioitava, eli tutkitaanko tutkimuksessa oikeita asioita ja onko mitattavilla suureilla merkitystä tutkimuksen kannalta.

Luotettavuusmittareita pidetään eräänlaisina tutkimuksen tarkastelijoina tutkimuksen kriittisissä pisteissä. Näiden kautta voidaan analysoida, että onko tutkimuksessa tehdyt valinnat oikeita. (Kananen, J. 2015 s.111-112)

3 Ilmanvaihto ja sisäilmasto

3.1 Yleistä leikkaussalien ilmanvaihdosta

Kuinka leikkaussalin olosuhteet tehdään ja mitkä asiat ovat merkityksellisiä potilasturvallisuuden näkökulmasta? Leikkaussali-ilmastoinnin tärkein tehtävä on luoda puhtaat olosuhteet leikkausalueelle. Suomessa tehdään vuosittain noin 360 000 leikkausta, joten suunnitteluun ja rakentamiseen on suhtauduttava huolellisesti. (Kuntaliitto 2017)

Ilman puhtaudella leikkaussaleissa on merkittävä vaikutus sairaaloiden potilasturvallisuuteen, koska suuri osa leikkaushaavaan kulkeutuvista mikrobeista pääsee sinne ilman välityksellä. Tärkein tehtävä leikkaussalien ilmanvaihdon suunnittelussa on potilaan suojaaminen erilaisilta epäpuhtauksilta. Toisin sanoen leikkaushaavojen infektioriskit kasvavat sisäilmasto-olojen huonontuessa, tällöin myös potilastuvallisuus vaarantuu merkittävästi. (Kuntaliitto 2017)

Leikkaussali-ilmastoinnin on pystyttävä pitämään tilassa viihtyisiä termisiä olosuhteita, jotta niin potilailla, kuin henkilökunnallakin olisi mielekästä työskennellä. Tämän lisäksi ilmastoinnin on luotava paine-eroa leikkaussalin ja salin ulkopuolelle, jotta hiukkaset ja muut epäpuhtaudet pysyvät leikkaussalin ulkopuolella. Tähän tavoitteeseen päästäkseen myös leikkaussalit ovat oltava rakenteellisesti tiiviitä. Ilmastoinnin tehtävä on myös alentaa mikrobien ja partikkelien määrää, alentaa haitallisten kaasujen ja hajujen määrää. Tämän lisäksi nämä kaikki toimet on tehtävä vielä energiataloudellisesti (DIN 1946-4. 2008, s.9)

Leikkaussali-ilmanvaihdon ja laadukkaiden olosuhteiden rakentaminen ei ole halpaa puuhaa, koska luotava toimintavarma järjestelmä, jossa yhdistyy mm. hygieenisyys ja toimintavarmuus. Edellä mainittujen vaatimusten lisäksi tarvitaan suuret ilmavirrat, monivaiheinen ilmankäsittely, ilman lämmittäminen, ilman jäähdyttäminen, kostuttaminen, kuivaaminen sekä tietenkin laadukas ilman suodatus. Kaikki nämä yhdistettynä laadukkaasti suunniteltuun ja toteutettuun rakennusautomaatioon, jossa on vielä integraatiorajapinta leikkaussalin sisällä oleviin järjestelmiin takaa. Nämä ominaisuudet takaavat hyvät olosuhteet toiminnanharjoittamiseen.

3.2 Ilmainvaihtoa koskevat ohjeet ja määräykset

Tällä hetkellä leikkaussalien suunnitteluun tai rakentamiseen ei ole voimassa olevaa yleiseurooppalaista standardia. Tämä on mielestäni erittäin suuri ongelma, koska eri maat toimivat omien ohjeistusten tai standardien kanssa, mutta niiden sisällöt ja käytännöt poikkeavat toisistaan merkittävästi. Suomen osalta katsottuna meillä ei ole tällä hetkellä voimassa olevaa ohjeistusta leikkaussalien ilmastoinnin osalta. Yleisesti kansalliset standardit ja ohjeistukset ottavat kantaa mm. partikkelimääriin, lämpötiloihin ja painesuhteisiin viereisiin tiloihin nähden.

Tämä tilanne ei ole sairaaloiden näkökulmasta mitenkään hyvä tilanne, koska poikkeavat käytännöt asettavat varsinkin suunnittelulle epätietoisuutta. Luotettavan suunnittelijan löytäminen voi joissakin projekteissa olla vaikeaa ja haastavaa. Tämän lisäksi myös laitetoimittajan näkökulmasta katsottuna uusien laitteiden ja menetelmien kehittäminen voi olla haastavaa.

Mitä ohjeistuksia ja standardeja maailmalla sitten on? Merkittävimpiä standardeja, joihin viittaan tulee mm. Saksasta ja heillä on käytössään DIN 1946. Ruotsalaisten standardi on SIS/TS 39-2012. Tämän lisäksi merkittävä standardi, jota käytetään ja johon paljon viitataan, on amerikkalainen Ashrae standardi 170P.

Viime vuosina on ollut kehitteillä yhteiseurooppalainen standardi leikkaussaleihin nimeltään CEN/TC156 WG 18. Merkittävin ero tällä standardilla muihin aikaisempiin standardeihin on ollut ohjearvo leikkaussalin mikrobiologiselle puhtaudelle, joka tulee toteutua leikkausten aikana. Valitettavasti tämä standardi ei ole edennyt luonnosvaihetta pidemmälle.

4 Mikrobien vaikutus tilojen puhtauteen

4.1 Mikrobien mittaustavat

Mikrobeita voidaan mitata eri tavoilla niin leikkaussaleista, kuin normaaleista puhdastiloista. Olosuhdekontrolloinnilla käyttäjä saa tietoa tilojen ja prosessin mikrobiologisesta puhtaudesta. Olosuhdekontrollointi antaa tietoa tilojen puhtaudesta, pintojen puhtaudesta sekä prosessin kulusta. Olosuhdekontrollointi antaa tietoa myös siivouksen onnistumisesta, sekä erilaisten desinfektioaineiden tehosta ja laadusta. Seuraavassa käyn läpi erilaiset mikrobien mittaustavat.

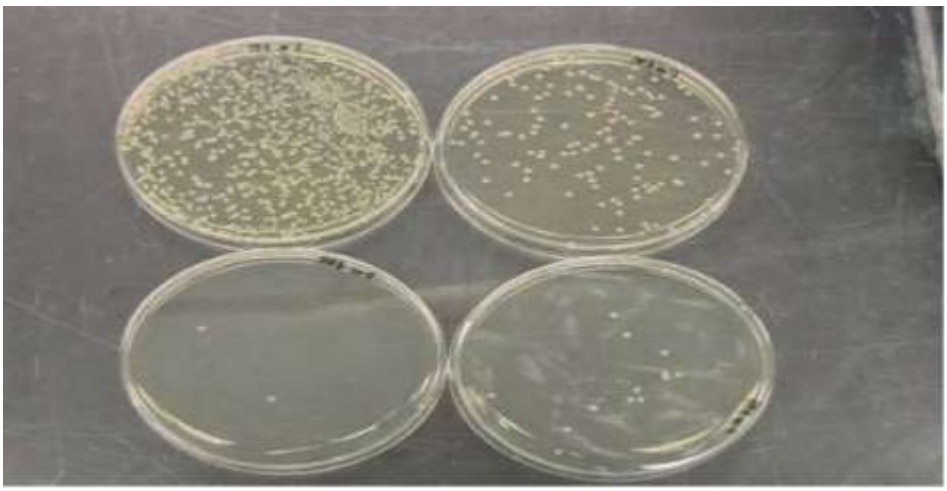
4.1.1 Ilmanäyte

Ilmanäytteitä otetaan yleensä Andersenin 6-vaiheimpaktorilla sisäilman mikrobipitoisuuden toteamiseen. Tässä menetelmässä ilman sieni-itiöt ja bakteerisolut kerätään pumpun avulla ilmasta suoraan laitteen elatusalustoille. Kuviossa 6 on kuva Andersenin 6-vaiheimpaktorista. Tämän jälkeen elatusalustoja kasvatetaan 14 vuorokautta 25 asteen lämpötilassa. Seitsemän vuorokauden jälkeen alustoilta pystytään laskemaan homeiden määrät ja tunnistetaan näytteessä esiintyvät homeet. Myös bakteerien kokonaismäärä lasketaan 7 vuorokauden kuluttua, jonka jälkeen voidaan arvioida ilmanäytteiden tilanne näytteiden perusteella.

Kuvio 6. Andersenin 6-vaiheimpaktori. (Ositum, 2020)

4.1.2 Laskeumamalja

Työtilojen mikrobiologista puhtautta voidaan tutkia ja tarkastella sedimentaatio- eli laskeumamaljoilla. Mikrobiologinen tutkimus voidaan tehdä normaalin työskentelyn aikana tai tilojen ollessa tyhjinä. Avonaiset agarmaljat laitetaan tilaan erillisen suunnitelman mukaisesti. Sinä aikana, kun agarmalja on avonaisena mikrobeja laskeutuu eli sedimentoituu maljojen pinnalle. Maljoihin tehdään tämän jälkeen merkinnät, josta näkee, mistä maljat on otettu. Tämän jälkeen maljat inkuboidaan 30-35 asteessa kaksi vuorokautta. Sedimentaatiomaljojen pesäkkeet lasketaan ja tulokset kirjataan mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten. (Laakso 1997, s. 272-273). Kuviossa 8 on laskeumamaljojen ottamiseen tarkoitettu malja.



Kuvio 7. Laskeumamaljat. (Fimea 2020)

4.1.3 Pintanäyte

Pintojen puhtautta voidaan hyvin yleisesti tutkia ja selvittää pintanäytteitä ottamalla. Pintanäytteitä otetaan yleensä kontaktimaljoilla ja steriileillä vanupuikoilla sivelemällä. Kontaktimaljat otetaan siten, että maljan agarpinta painetaan tutkittavaa pintaa vasten. Pintanäytteiden ottaminen edellyttää tasaista pintaa, jolloin näytteen ottaminen ja sen luotettavuus on varmempaa. Näytteiden oton jälkeen maljat inkuboidaan 30-35 asteessa ja tämän jälkeen pesäkkeet lasketaan. Näytteiden ottamisen jäl

Kuvio 8. Pintanäyte. (Fimea 2020)

keen näytteenottopaikat puhdistetaan esimerkiksi etanolia käyttäen. Kuviossa 8 on pintanäytteen ottamiseen tarkoitettu kontaktimalja.

Sivelymenetelmässä käytetään steriiliä vanupuikkoa, jolla sivellään tutkittavaa kohtaa ja mikrobit, jotka tarttuivat vanupuikkoon suspensoidaan steriiliin lihaliemeen. Tämän jälkeen mikrobipitoisuus tutkitaan joko maljalaskentamenetelmällä tai kalvosuodatusmenetelmällä. Sivelymenetelmä soveltuu myös epätasaisille pinnoille. (Laakso 1997, s. 272-273)

4.2 Leikkaussalin siivous

Siivous ja puhtaanapito ovat hyvin olennaisia osia leikkaussaliprosessissa. Ilman oikeaoppista siivousta on mahdotonta pyörittää laadukasta leikkaussaliprosessia. Leikkaussalisiivousta tekevät yleensä siihen työhön erikseen koulutetut työntekijät. Leikkaussalisiivoojalta edellytetään ammattitaidon lisäksi motivoituneisuutta ja työn tekemisen sisäistämistä. (Saano ym. 2005 s.233-236). Tärkein tehtävä desinfektoinnissa on tuhota pysyvästi erilaiset tautia aiheutettavat tai muut haitalliset elomuotoiset bakteerit. (Ojajärvi 1997 s. 244-245)

Leikkaussali siivotaan aina operaation jälkeen. Tämä on huomioitava myös teknisten ratkaisuiden toteuttamisessa. Yleensä ilmanvaihto ohjataan siivous -tasolle, mikä tarkoittaa tehostettua ilmanvaihtoa leikkaussalissa. Siivouksen jälkeen on syytä muistaa, että ilmassa on paljon partikkeleita, joka on huomioitava ennen seuraavan potilaan sisään tuloa. Validointivaiheessa tehtävistä salin toipumismittauksista on hyötyä tässä kohtaa. Toipumismittauksien kautta pystytään arvioimaan, kuinka nopeasti uusi potilas voidaan ottaa saliin.

Leikkaussalisiivousta tehtäessä salissa liikutaan rauhallisesti annettuja ohjeita noudattaen ja työ suoritetaan aina samalla tavalla. Siivousjärjestys suunnitellaan siten, että vältetään kulkua edestakaisin, tällöin vältytään erilaisilta ristikontaminaatioilta. (Saano ym. 2005 s.233-236)

Tavanomaiset siivousmenetelmät leikkaussalissa ovat joku nihkeä tai kostea puhdistusmenetelmä. Siivouksessa noudatetaan ylhäältä alas ja puhtaasta likaiseen -menetelmää. Leikkaussalisiivouksessa siivoojat puhdistavat kalusteet, katot, lattiat ja muut tasopinnat, kuten leikkaussalivalaisimet ja lääkintälaitteet. (Saano ym. 2005 s.233-236)

Yleensä leikkaussaleja varten varataan niihin sopivat omat siivousvälineet, samoilla siivousvälineillä ei siivota muita tiloja. Leikkaussalien siivousvälineet ovat helposti puhdistettavia, ergonomisesti oikein suunniteltuja, lämpödesinfektion kestäviä sekä siihen tarkoitukseen sopivia välineitä.

Desinfektiolla pyritään saattaa tilojen mikrobimäärä hyväksyttävän mukaiselle tasolla. Oikein mitoitettuna ja oikein annosteltuna on mahdollista päästä täysin mikrobittomuuteen. Desinfektioaineilla tuhotaan vegetatiivisia mikrobeja, myös joillakin desinfektioaineilla voidaan tuhota bakteeri-itiöitä. Kaiken kaikkiaan steriloinnin onnistumisen tae on sen alkukontaminaation eli bioburdenin saaminen mahdollisimman pieneksi. (Friman ja Kivisalmi 2015, s. 264-265)

Leikkaussalissa on päivittäin käytössä desinfioiva puhdistusaine, joka on puhdistus- ja desinfektioaineen seos. Desinfektioaineen tarkoitus on tehdä haitallisia pieneliöitä tehottomiksi kemiallisin keinoin. Likaa irrottavana aineena on puhdistusaine, jonka teho perustuu pesuemäksiin, tensideihin tai näiden lisäksi muihin tehoaineisiin. Sekoituksissa pyritään noudattamaan valmistajan ohjeita. Liuokset laimennetaan juuri ennen niiden käyttöä. Tällä varmistetaan se, ettei liuokset menetä tehoaan tai mikrobit ala lisääntyä liuoksissa. (Saano ym. 2005 s.233-236)

Leikkaussalien desinfektio- ja pesuaineiden pitää olla steriilejä ennen niiden käyttöä. Tarvittaessa käytetään vuorotellen tai jaksoittain useampaa, kuin yhtä desinfioivaa pesuainetta, jotta vältettäisiin desinfektioaineelle vastustuskykyisten mikrobikantojen kehittyminen ja valikoituminen.

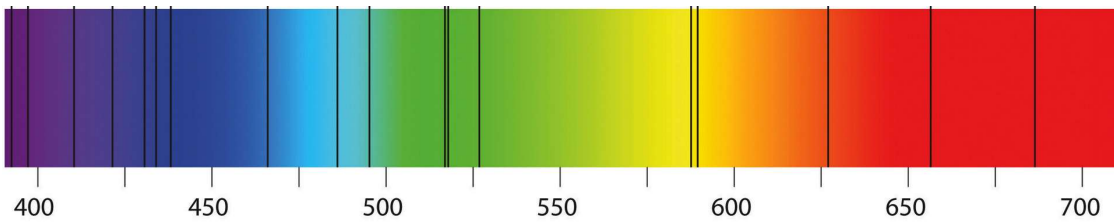
Hyvin tärkeää on, että koko henkilökunta sitoutuu noudattamaan aseptisia työskentelytapoja, jotka edesauttavat puhtauden säilymistä leikkaussaleissa sekä koko leikkausosastolla. Mikäli kaikki eivät noudata yhteisiä pelisääntöjä, ei tällöin siivouksella voi korjata prosessissa olevia puhtaustason vaihteluita. (Saano ym. 2005 s.233-236)

5 Valon vaikutus tilojen puhtauteen

5.1 Yleistä teoriaa näkyvästä valosta

Näkyvässä valossa pitkäaaltoinen säteily on punaista ja lyhytaaltoinen säteily on violettia. Näkyvän valon aallonpituusalue on 380–750 nm. Ihmisen silmän herkkyys on suurimmillaan 555 nanometrissä, mikä vastaa vihreää valoa. Aallonpituuden muuttuessa 400–700 nm:n, muuttuu myös väriaistimus violetista punaiseen. (Ilmatieteenlaitos 2020). Kuviossa 9 on esitetty näkyvän valon aallonpituudet eri väreille.

Tässä opinnäytetyössäni keskityn siniseen valoon ja sininen valo sijoittuu aallonpituuksille välille 450–490 nm. Näillä aallonpituuksilla voidaan hyödyntää sinistä valoa terveydenhuollossa, kuten esimerkiksi ehkäisemään vastasyntyneiden keltatautia (neonatal hyperbilirubinaemia). Tässä kyseisessä sinivalohoidossa käytetään sinisen valon aallonpituuksia, jotka sijaitsevat 420–480 nm välillä. (Hermanson 2012) Sinisen valon aallonpituuksia käytetään myös kapean spektrin loistediodeissa eli LED- (Light-Emitting Diode) valoissa ja sinisessä laservalossa (Hietanen ym. 2009, 265-277).

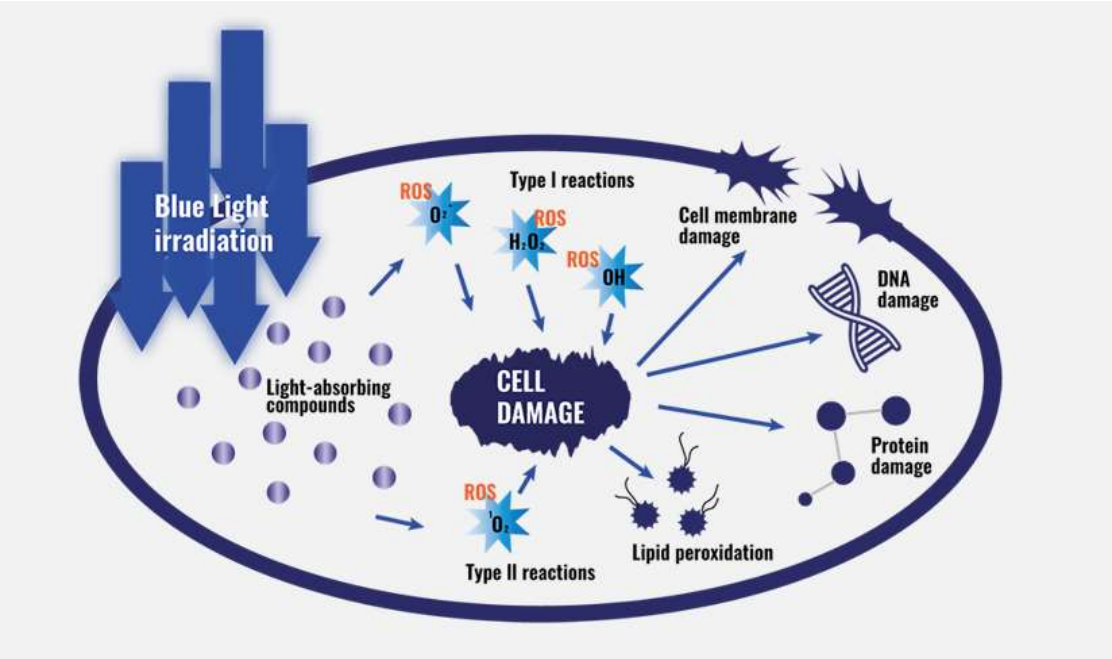


Kuvio 9. Näkyvän valon aallonpituudet eri väreille. (Ilmatieteenlaitos)

5.2 Sinisen valon antimikrobinen vaikutus

Kuinka sinisen valon antimikrobinen vaikutus sitten saadaan aikaiseksi? Näkyvän valon ja erityisesti sinisen valon aallonpituuksien antimikrobinen vaikutus perustuu pitkälti valon fotodynaamiseen mikrobien inaktivaatioon (Kim ym. 2015, 33-39).

Fotodynaaminen inaktivaatio vaatii endogeenisen fotoherkistäjän, tässä tapauksessa porfyriinisen yhdisteen ja tämän lisäksi 400-430nm aallonpituudella olevan valonlähteen. Tämän lisäksi inaktivaatio tarvitsee happea. Reaktio lähtee liikkeelle, kun mikrobissa luonnostaan esiintyvät porfyriiniyhdisteet saadaan virittymään, tarvitaan hapen lisäksi valon sisältämää energiaa. Tämän seurauksena alkaa muodostua reaktiivisia happiradikaaleja, kuten happimolekyylejä, hydroksyyliradikaaleja, superoksidianioneja, peroksideja ja (engl. reactive oxygen species, ROS). Happiradikaalit tuhoavat solun sen sisäpuolelta ja ne ovat erittäin reaktiivisia. Tämä fotodynaaminen inaktivaatio on kuvattu alla olevassa kuviossa. (Kim ym. 2015, 33-39). Kuviossa 10 on esitetty sinisen valon vaikutukset mikrobisolussa.



Kuvio 10. Sinisen valon vaikutukset mikrobisolussa(Led Tailor 2018)

6 Leikkaussalin ilmanvaihdon vaatimustaso ja tekninen toteutus

6.1 Lämpöolot ja kosteus

Leikkaussalin lämpötila tulisi määritellä siten, että leikattavan potilaan turvallisuus ei vaarannu, sekä leikkaussalissa olevalla henkilöstöllä olisi miellyttävät olosuhteet työskennellä. Tavoitelämpötilojen määrittäminen leikkaussaleihin tapahtuu yleensä leikattavan potilaan mukaan, kuitenkin tavoitelämpötila on yleensä 17-24 celsiusastetta. Kuviossa 11 on esitettynä leikkauksen aikaiset miellyttäviksi koetut lämpötilat.

Käytettäessä alempia lämpötiloja on perusteena käytettävä potilasturvallisuutta, potilasmukavuutta tai muita lääketieteellisiä perusteita. Sydänleikkauksissa voi olla tilanteita, jolloin käytetään 17 °C:n lämpötilaa.

Korkeimpia lämpötiloja pidetään taas lasten leikkauksissa, koska lapset ovat herkempiä kylmyydelle. Korkeat lämpötilat aiheuttavat myös bakteeripitoisuuden kasvamista leikkaussalissa, joten niitä on syytä välttää. (Balaras ym. 2007, 454–470.)

Toimenkuva	Optimaalinen lämpötila (Celsius)
Kirurgi	18-19
Hoitaja	22-24,5
Potilas	24-26
Anestesialääkäri	23-24

Kuvio 11. Miellyttäviksi koetut lämpötilat leikkauksessa. (Balaras ym. 2007, 454–470).

Leikkaussalin ilman suhteellinen kosteus olisi hyvä pysyä 30-60% välillä. Varsinkin talvisaikaan kostutus on merkityksellistä miellyttävien olosuhteiden luomisessa leikkaussaliin. Pakkaskelillä ilman kosteus on ulkona vähäistä ja näin ollen on tärkeää kostuttaa ilmaa ennen sen pääsyä leikkaussaliin. Sen sijaan liiallinen kosteus voi aiheuttaa bakteerikannan kasvua leikkaussalissa. Ilmastointijärjestelmät on varustettava kostutus ja kuivatus järjestelmillä, jotta luotettavat ja laadukkaat olosuhteet voidaan taata leikkaussaliin. (Balaras ym. 2007, 454–470.)

Suomen sairaaloiden leikkaussaleihin on yleensä suunniteltu kostutus talven ulkoilman alhaisen absoluuttisen kosteuden takia, toki paljon myös poikkeuksia löytyy. Energiataloudellisesti ajateltuna sen käyttö on kuitenkin melko kallista. Ilman kuivuus ei ole ongelma potilasturvallisuuden kannalta, mutta se koetaan enemmänkin mukavuustekijänä. (Van Gaever ym. 2014, 37-41.)

Kostutus on suunniteltava ja rakennettava hyvin, jotta varmistutaan, etteivät mikrobit kulkeudu leikkaussaliin ilmanvaihdon kautta. Leikkaussalin ilmanvaihdon kostutussjärjestelmäksi kannattaa rakentaa höyrykostutusjärjestelmä, koska tällöin saadaan luotettavampi järjestelmä ja samalla vältytään Legionella-bakteerin tuomista ongelmista. (Balaras ym. 2007, 454–470.)

6.2 Painesuhteet ja tiiviyden merkitys leikkaussalin puhtauteen

Leikkaussalin puhtautta hiukkasista pyritään hallitsemaan paine-erojen avulla. Tilat suunnitellaan ylipaineiseksi, jolloin ilma kulkee puhtaammasta tilasta likaisempaa päin. Näin pidetään partikkelit pois leikkausalueelta. Ylipaine tiloihin saadaan aikaan ilmanvaihdon avulla säätämällä suurempi määrä ilmaa huoneeseen, kuin sieltä poistetaan. Sairaalan puhtaita leikkauksia varten tarkoitetut salit suunnitellaan ylipaineiseksi, kun taas infektioleikkauksissa leikkaussali säädetään alipaineiseksi ympäröiviin tiloihin verrattuna (Sairaalaliitto 1990, 13-14)

Eri puhtausluokkaisten viereisten tilojen paine-eron tulee standardin SFS ISO 14644-4 (2001) mukaan olla 5 – 20 Pa. Yleensä puhdastilat suunnitellaan 15 Pa ylipaineiseksi likaiseen verrattuna ja 10 Pa ylipaineiseksi alempiarvoiseen puhdastilaan verrattuna. Mikäli käytetään tästä isompia paine-ero vaatimuksia, tämä voi heikentää ovien avautumista merkittävästi.

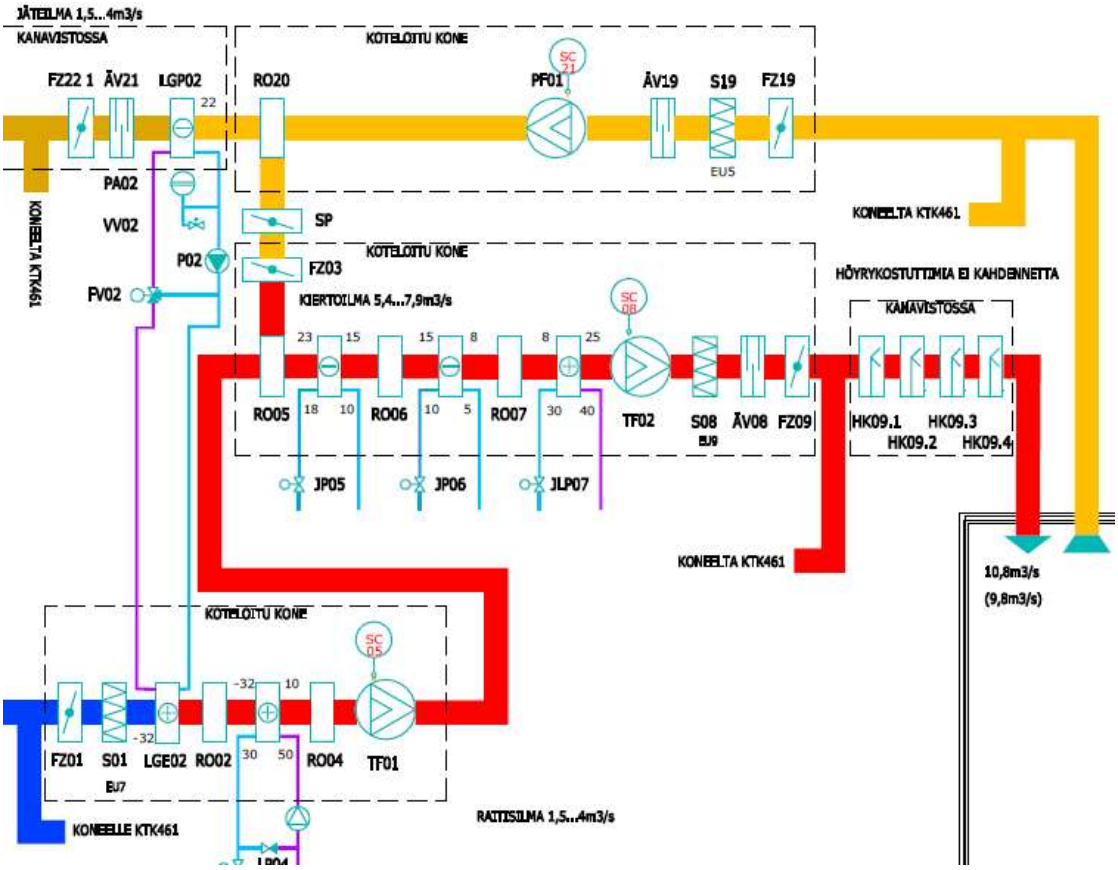
Leikkaussalin ilmanvaihtoa käsittelevän Ruotsalaisen standardin SIS-TS 39:2012 (2012) taas määrittelee leikkaussalin paine-eron vähimmäisvaatimukseksi 5 Pa ylipainetta ympäröiviin tiloihin nähden.

Mikäli halutaan päästä hyviin paine-eroihin leikkaussalien ja muiden tilojen välillä täytyy leikkaussalin seinät rakentaa mahdollisimman tiiviillä seinärakenteille. Riittävänä tiiveysvaatimuksena pidetään 0,4 l/s vuotoilmavirtaa neliömetriä kohti 50 Pa paine-erolla ympäröivään tilaan nähden. Tällaisen eron saavuttaminen voi kuitenkin olla hankalaa tai jopa mahdotonta normaaleja kipsilevyväliseiniä käytettäessä, tämän takia nykypäivänä käytetäänkin puhdastilaelementtejä hyvän lopputuloksen varmistamiseksi. (SIS 2012, 57.)

6.3 Kiertoilma ja raitisilma

Kiertoilmalla tarkoitetaan sitä ilmaa, joka poistetaan tilasta ilmanvaihdon poistokanavien kautta ja tämän jälkeen se puhalletaan, takasin tuloilma kanavaan, jossa se sekoittuu raittiin ilman kanssa. Kiertoilmaa käytettäessä ilma on suodatettava ennen

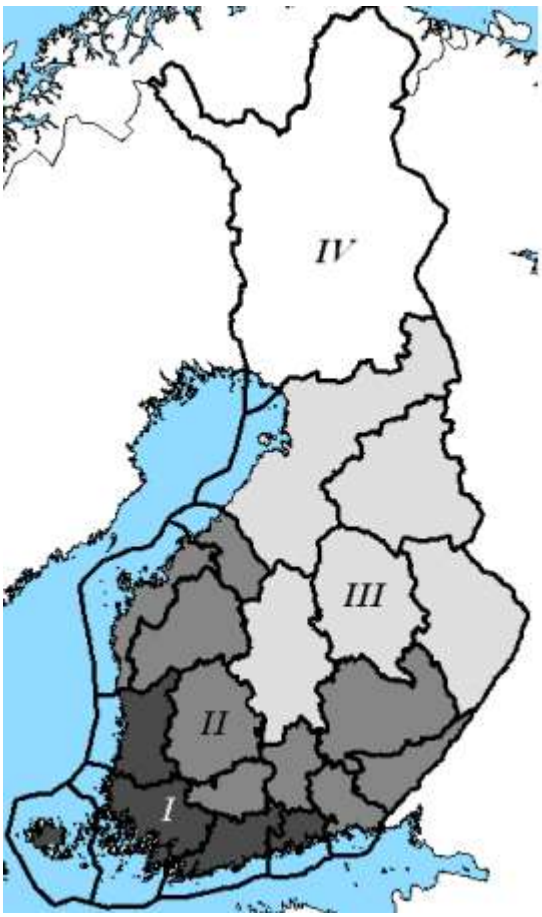
kuin se palautetaan takaisin tilaan. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, 2012)



Kuvio 12. Kiertoilman toimintaperiaate. (Granlund suunnitelma 2018)

Leikkaussaleissa ja puhdastiloissa kiertoilmaa käytetään paljon, koska se on jo valmiiksi puhdasta ilmaa. Kuviossa 12 on esitettynä kiertoilman toimintaperiaate. Myös energiataloudellisesti kiertoilman käyttö on kannattavaa, koska Suomen sääoloissa ilmastoinnin lämmitysenergian osuus kokonaisenergiankulutuksesta on todella merkittävä. Jyväskylän alue luokitellaan säävyöhykkeeseen 3, joten ilmanvaihdon mitoituslämpötilana käytetään -32 celsius-asteen lämpötilaa. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, 2007). Kuviossa 13 on esitettynä Suomen säävyöhykkeet.

Astepäiväluvun käyttö perustuu siihen, että ilmastointijärjestelmien ja lämmitysjärjestelmien energiankulutus on verrannollinen keskimääräiseen sisäilman lämpötilan ja ulkolämpötilan erotukseen. (Seppänen 1996, s.71)



Kuvio 13. Suomen säävyöhykkeet. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, 2007)

Normaalisti leikkaussaleihin puhalletaan +16-19 °C asteinen tuloilma ja suurilla ilmamäärillä tuloilman -ja raitisilman välinen lämpötilaero aiheuttaa merkittävät lämmityskustannukset. Tästä syystä kiertoilman käyttö on kannattavaa.

Suomessa puhdastilojen ja leikkaussalien kiertoilman osuus on tapauksen mukaan noin 80% kokonaisilmamäärästä. Tämä perustuu siihen, että näillä prosenteilla diatermiasavujen ja sairaalakaasuylijäämien kanssa ei tule ongelmia.

6.4 Epäpuhtaudet

Infektioksi kutsutaan sellaista infektiotautia, jonka potilas saa hoidon aikana. Tällaisia voi olla bakteereista, sienistä tai viruksista saadut taudit. Arkikielessä on käytetty termiä sairaalainfektio. Infektioita voi kehittyä myös pitkäaikaista hoivaa ja hoitoa antavissa laitoksissa ja lääkärien ja hoitajien vastaanotoillakin.

Leikkausalueen infektio on yleisimpiä infektioita, muita yleisiä infektioita ovat mm. keuhkokuume sekä vakava yleisinfektio, joka tarkoittaa verenmyrkytystä. Muita tavallisia infektioita ovat ripulitaudit, virtsatieinfektiot, ja erilaiset ihon infektiot. (Lääkärikirja Duodecim,2020)

Erittäin harvoin on osoitettavissa selvää syytä, miksi potilas on saanut sairaalainfektion. Usein sairaalassa tai hoitopaikassa hoito on korkeatasoista ja infektioiden ennaltaehkäisyyn on panostettu, tästä huolimatta osa potilaista saa hoidon aikana sairaalainfektion. Tähän voi olla syynä potilaan omat riskitekijät, jotka johtuvat hänelle annetusta hoidosta tai hänen taudistaan. Sairaaloiden tarkoitus on tuottaa terveyttä ja hyvinvointia, eikä hoitoihin liittyvien infektioiden pelko voi olla potilaalla syy hakeutumatta hoitoihin. (Lääkärikirja Duodecim, 2020)

Mikro-organismeja, jotka aiheuttavat sairaalainfektioita kutsutaan mikrobeiksi. Sienet, virukset ja bakteerit kulkeutuvat ilmassa joko muiden hiukkasten tai partikkeleiden mukana tai omina yksikköinään. Näitä yksiköitä kutsutaan (engl. colony-forming unit) CFU. (Tammelin ym. 2013 s.245-247.)

Suurin vaikuttava tekijä potilasturvallisuuteen on leikkaussalin ilmassa olevat epäpuhtaudet. Mikäli suunnittelemme ja rakennamme tiiviin leikkaussalin, suuren ylipaineen, ilmamäärät on kunnossa ja suodatus on laadukkaasti tehty, ainoat tilan saastuttajat ovat ihmiset leikkaussalin sisällä. Ihmisten ihosta erittyy jatkuvasti hiukkasia ilmaan, ja kulkeutuessaan leikkaushaavaan jotkut näistä saattavat aiheuttaa infektion. Kuviossa 14 on esitettynä puhtausluokat ja niiden sallitut hiukkasmäärät. Vaatetuksella ja ihmisten määrällä on ratkaiseva vaikutus ilman puhtauteen ja leikkauksen turvallisuuteen. (Sadrizadeh ym. 2014, 40-49.)

Nykypäivänä yhä enenevissä määrin sairaaloiden leikkausosastot ovat olleet kiinnostuneita laadukkaiden leikkaussalivaatetusten hankkimisesta. Mikä parasta niin myös tutkimusta eri vaatetusten osalta on tehty.

Alla olevassa taulukossa on esitetty suurimmat sallitut hiukkaskoot ja pitoisuudet ISO-luokan mukaan (SFS 2015). Leikkaussalin puhtausluokat tulisi olla aina vähintään ISO 7. Tästä pienempien hiukkasten lukumäärä on sen verran suuri, ettei niille ole raja-arvoja määritelty. Mikrobien koolla on merkitystä niiden aiheuttamaan infektioriskiin.

ISO Class number (*N*)	Maximum allowable concentrations (particles/m^3) for particles equal to and greater than the considered sizes, shown below[a]					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1	*10*[b]	[d]	[d]	[d]	[d]	[e]
2	100	*24*[b]	*10*[b]	[d]	[d]	[e]
3	1 000	237	102	*35*[b]	[d]	[e]
4	10 000	2 370	1 020	352	*83*[b]	[e]
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	[d, e, f]
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	[c]	[c]	[c]	352 000	83 200	2 930
8	[c]	[c]	[c]	3 520 000	832 000	29 300
9[g]	[c]	[c]	[c]	35 200 000	8 320 000	293 000

[a] All concentrations in the table are cumulative, e.g. for ISO Class 5, the 10 200 particles shown at 0,3 µm include all particles equal to and greater than this size.

[b] These concentrations will lead to large air sample volumes for classification. Sequential sampling procedure may be applied; see Annex D.

[c] Concentration limits are not applicable in this region of the table due to very high particle concentration.

[d] Sampling and statistical limitations for particles in low concentrations make classification inappropriate.

[e] Sample collection limitations for both particles in low concentrations and sizes greater than 1 µm make classification at this particle size inappropriate, due to potential particle losses in the sampling system.

[f] In order to specify this particle size in association with ISO Class 5, the macroparticle descriptor M may be adapted and used in conjunction with at least one other particle size. (See C.7.)

[g] This class is only applicable for the in-operation state.

Kuvio 14. Hiukkasmittausten luokitusrajat. (SFS-EN ISO 14644-1 2015)

Luokitusmittaukset tehdään aina, kun leikkaussali on valmis (as-build). Tässä mittauksessa tilassa ei ole laitteita, kalusteita tai muita ihmisiä. Sen jälkeen mittaukset tehdään lepotilassa (at-rest). Tämän mittauksen tarkoitus on luoda taso tilalle, jossa on jo kaikki tarvittava kalustus paikoillaan, mutta työntekijät puuttuvat tiloista. Lopuksi toiminnanaikana (operational), jossa on kaikki paikallaan kalusteista, laitteita ja henkilökunnasta lähtien. (SFS-EN ISO 14644-1 2015, 8-10).

Leikkaussalien pintamateriaaleissa on huomioitava jo hankinta vaiheessa, kuin ne puhdistetaan käytön aikana. Materiaaleissa ei saa olla huokosia tai karkeita pintoja, johon voisi käytön aikana kiinnittyä mikrobeja. Lisäksi katot, seinät ja lattiat tulisi olla suunniteltu siten, että salin seinissä ei ole koloja tai muita vaikeasti puhtaana pidettäviä paikkoja. (SFS 2011)

6.5 Ilmanvaihdon suodatus

Ilman suodatuksella tarkoitetaan sitä, että ulkoilmasta tai kiertoilmasta poistetaan haitalliset epäpuhtaudet kunkin tarkoituksen vaatimalla tavalla. Suodatuksen vaatimustaso määräytyy aina suodatettavan prosessin mukaan. (Seppänen, 1996, 264-265) Ulkoilmassa on eri kokoisia hiukkasia luonnostaan, sekä ihmisen toiminnan takia. Hiukkaset ovat erikokoisia ja niillä on terveydelle haitallisia vaikutuksia. Hiukkasten terveysvaikutuksiin vaikuttaa määrän ja koon lisäksi myös hiukkasten koostumus. (Rakennustieto 2012, 2)

Suodatuksessa energiakulutukseen vaikuttavia asioita ovat ilmavirta, keskimääräinen painehäviö sekä käyttöikä. Ominaisuus näissä suodattimissa on se, että korkeamman erotusasteen saavuttaminen lisää aina painehäviötä, sekä energiankulutusta. Vertaillessa energiankulutusta on aina verrattava suodatustehokkuudeltaan samanarvoisia tuotteita. (Rakennustieto 2012, LVI 31-10507 ohjeet, 8)

SFS-EN ISO 16890 -standardissa suodattimet luokitellaan neljään pääluokkaan ePM1, ePM2,5, ePM10 sekä ISO Coarse eli karkea. Uudessa luokittelussa tarkastellaan koko hiukkaskokoaluetta, eikä vain aiemmin käytettyä 0,4µm hiukkaskokoa. ePM pääluokat ovat ISO ePM1, ISO ePM2,5, ISO ePM10 ja ISO Coarse. Valitun ePM luokan erotusaste on alkuerotusasteen ja varauksenpoistokäsitellyn erotusasteen keskiarvo, esimerkiksi ePM1 55% (minimissään 50 %), luokka-arvot 5 % välein. ISO Coarse luokassa ePM10 <50 %, luokka-arvo on punnituserotusasteen alkuarvo. (SFS-EN ISO 16890-1:2016, 15)

Ilmanvaihtokoneissa suositellaan aina kaksiportaista suodatusta, jossa karkeasuodatus on ennen ilmanvaihtokonetta ja koneen puhaltimen jälkeen hienompisuodatus,

jonka kautta ilmavirtaa konetta palveleville alueille. Leikkaussaleissa käytetään yleensä kolmeportaista suodatusta, jossa viimein suodatus tapahtuu vasta leikkaussalissa ja tämä on yleensä hepa-suodatusta (High Efficiency Particulate Air filter). Sairaaloissa käytetään yleensä H13 tai H14 suodattimia.

Näiden korkean erotusasteen suodattimien erotusasteet on esitetty kuviossa 15. Korkean erotusasteen suodattimet on tarkoitettu pienten epäpuhtauspartikkelien suodattamiseen tuloilmasta tai kiertoilmasta. Käyttöpaikkoja näille suodattimille ovat mm. leikkaussalit, puhdastilat ja eristyshuoneet. Kuviossa 16 nähdään eri suodatusluokkien suodatustehokkuutta.

Ryhmätunnus	Vaatimus			Luokan ilmoitettava arvo
	ISO ePM_1	ISO $ePM_{2,5}$	ISO ePM_{10}	
ISO karkea	*	*	< 50 %	*
ISO ePM10	*	*	≥ 50 %	ISO ePM_{10}
ISO ePM2,5	*	≥ 50 %	*	ISO $ePM_{2,5}$
ISO ePM1	≥ 50 %	*	*	ISO ePM_1

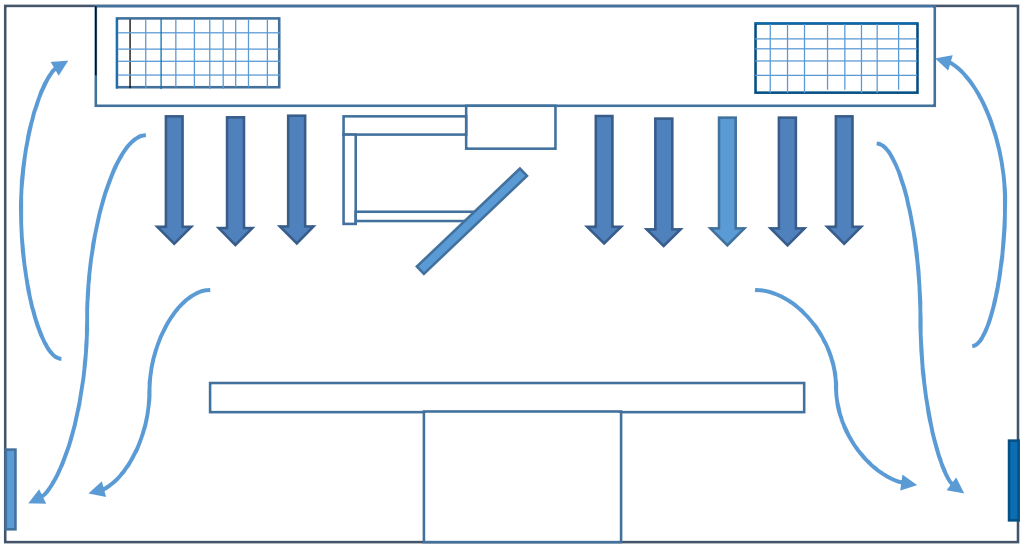
Kuvio 15. Suodattimien luokitustaulukko. (SFS-EN ISO 16890-1:2016, 15)

Suodatinryhmä Suodatinluokka	Kokonaisarvo Erotusaste %	Läpäisyaste %	Erotusaste %	Läpäisyaste %
E10	≥85	≤15		
E11	≥95	≤5		
E12	≥99,5	≤0,5		
H13	≥99,95	≤0,05	≥99,75	≤0,25
H14	≥99,995	≤0,005	≥99,975	≤0,025
U15	≥99,9995	≤0,0005	≥99,9975	≤0,0025
U16	≥99,99995	≤0,00005	≥99,99975	≤0,00025
U17	≥99,999995	≤0,000005	≥99,9999	≤0,0001

Kuvio 16. EPA-, HEPA- ja ULPA-suodattimien luokitus, (SFS-EN ISO 1822-1:2019, 7)
Erotusasteella tarkoitetaan läpäisevimmän hiukkaskoon suodatustehokkuutta.

6.6 Yleisimmät leikkaussalien ilmanjakotavat

6.6.1 Laminaarinen ilmanjako



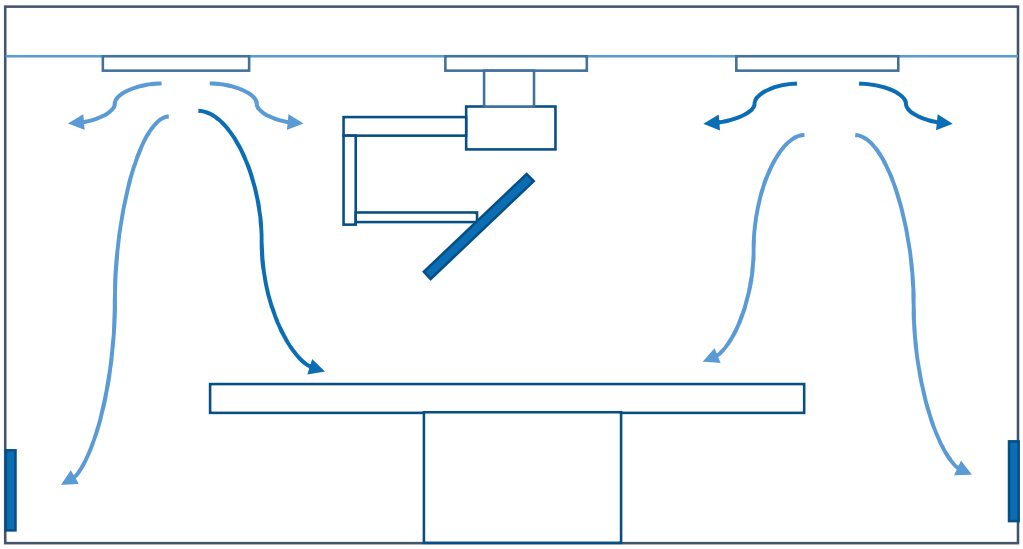
Kuvio 17. Ilman virtaus laminaarisessa leikkaussalissa.

Laminaarikatto sijaitsee aina leikkauspöydän yläpuolella. Tuloilmaa puhalletaan katosta ja poistoilmaventtiilit sijaitsevat salin nurkissa, sekä leikkaussalin yläosissa. Ilman virtaus suuntautuu katosta suoraan alaspäin ja huuhtelee leikkausalueen puhtaan ilman virtauksella, syrjäyttäen, epäpuhtaamman ilman tieltään. Parhaimmillaan järjestelmässä ilma vaihtuu yli 60 kertaa tunnissa. Kuviossa 17 on esitettynä leikkaussalin laminaarisen ilmanjaon periaate.

Miniminopeus laminaarisissa leikkaussaleissa tulisi olla 0,35 – 0,50 m/s. Ilman lähtönopeus ilmanvaihtojärjestelmän päätelaitteelta on yleensä hieman pienempi, noin 0,2 – 0,35 m/s. Tämä johtuu siitä, että sisään puhallettava ilma on leikkaussalin sisäilmaa kylmempää, jolloin sen nopeus alaspäin virratessa kasvaa. Laminaarisen alueen ulkopuolella leikkaussalin ilman nopeuden tulisi olla < 0,35 m/s, jotta leikkaussalissa olevat työntekijät eivät koe sitä häiritsevänä. Leikkaussalissa olevat leikkausvalaisimet ja muut lääkintälaitteet aiheuttavat ilmavirralle turbulenssia ja näin ollen sekoittavat ilmanliikettä leikkausalueella. (Cook & Int-Hout 2009, s.30-36.)

Laminaarista ilmanvaihtoa pidetään yleisesti hankintakustannuksiltaan kalliimpana vaihtoehtona, kuin turbulenttista. Lisäksi suodatuskattojen koko voi vaikeuttaa lamppujen ja monitorien sijoittelua kattoon. Varsinkin saneerausprojekteissa voi tulla ongelmia laminaarisen katon asennusten yhteydessä, koska useinkaan kerroskorkeudet eivät riitä laminaarisen järjestelmän asennuksiin.

6.6.2 Sekoittava ilmanjako



Kuvio 18. Ilman virtaus sekoittavan ilmanjaon leikkaussalissa.

Sekoittava ilmanjako toimii nykyisen mukaan aivan yhtä hyvin, ja leikkaussalin puhtausvaatimukset täytetään sen avulla jopa pienemmillä elinkaarikustannuksilla ja investoinneilla. Tällä hetkellä Suomen sairaaloissa ollaan menossa vahvasti sekoittavaan ilmanjakotapaan ja sen käyttö lisääntyy sairaaloissa. (Granlund, 2020). Kuviossa 18 on esitettynä leikkaussalin sekoittavan ilmanjaon periaate.

6.6.3 Ilmanjakotapojen vertailu

Sekoittavan ilmanjaon ja laminaarisen ilmanjaon välillä on käyty paljon keskusteluja, kumpi tapa täytyisi valita leikkaussalien ilmanjakotavaksi. Infektioon johtava kontaminaatio tapahtuu pääsäätöisesti leikkauksen aikana. Pääosin nämä mikrobit ovat peräisin potilaan limakalvoilta, potilaan iholta, leikkaussalin henkilökunnan iholta tai leikkaussalin ilmasta. (Roy 1997, 515–538) Leikkauksen aikana on huolehdittava ki-

rurgisesta tekniikasta, sekä aseptisista työtavoista. On myös huolehdittava tukipalvelujen tarjoamasta palvelusta, eli välinehuollosta tulevista instrumenttien steriloinneista. (Rantala ym. 2005, s.254-261,)

Tämän lisäksi myös pukeutumisesta on huolehdittava. Sairaaloiden leikkausosastojen on huolehdittava asianmukaisien suojavaatteiden hankinnasta. Myös siivouksen on oltava tehokasta ja laadukasta. Sen lisäksi ilmanvaihtojärjestelmät on suunniteltava laadukkaasti, rakennettava huolella sekä salien ylläpitoon täytyy panostaa, oli sitten millainen ilmanjako tahansa.

Kuinka voidaan vertailla kahta täysin erilaista ilmanjakotapaa eri sairaaloissa, kun käytännöt ovat kuitenkin monesti erilaisia? Maailmalla on tehty useita erilaisia tutkimuksia aiheesta, kuten mm. Lipsett 2008, Brandt ym 2008. Saksassa julkaistiin 2008 tutkimus, jossa vertailtiin erilaisia ilmanjakotapoja: sekoittava ilmanjako, laminaarinen ilmanjakotapa ja ikkunatuuletus. Yllättävää tutkimuksessa oli, että kaikissa leikkaustyypeissä eniten infektioita oli laminaarisella ilmanjaolla toteutetuissa saleissa. Erityisesti enemmän infektioita ilmeni umpilisäkkeen poistoissa ja lonkkaproteesileikkauksissa. (Sairaalahygienialehti, 2010 s. 29-31)

Lipsettin tekemässä tutkimuksessa 2008 ongelmaksi koettiin enemmänkin laminaarisen virtauksen aiheuttama potilaan viilentyminen. (Sairaalahygienialehti, 2010 s. 29-31)

Samansuuntainen tutkimuksen tulos saatiin vuonna 2017, kun Lancelat julkaisi tieteellisen artikkelin laminaarisen ilmanjaon vaikutuksista leikkausinfektioihin, jossa käytiin läpi 1947 tutkimusta vuosien 1990-2014 välisenä aikana. Näistä tutkimuksista valikoitui 12 tutkimusta, joissa huomioitiin leikkaussali-ilmastoinnin ilmanjakotapa. Tässä tutkimuksen yhteenvedossa todetaan, että laminaarinen ilmanjakotapa ei vaikuttanut alentavasti leikkausinfektioiden määrään verrattaessa niitä sekoittavan ilmanjakotavan leikkausinfektioiden määrään. (Bischoff ym. 2017, 553-561.)

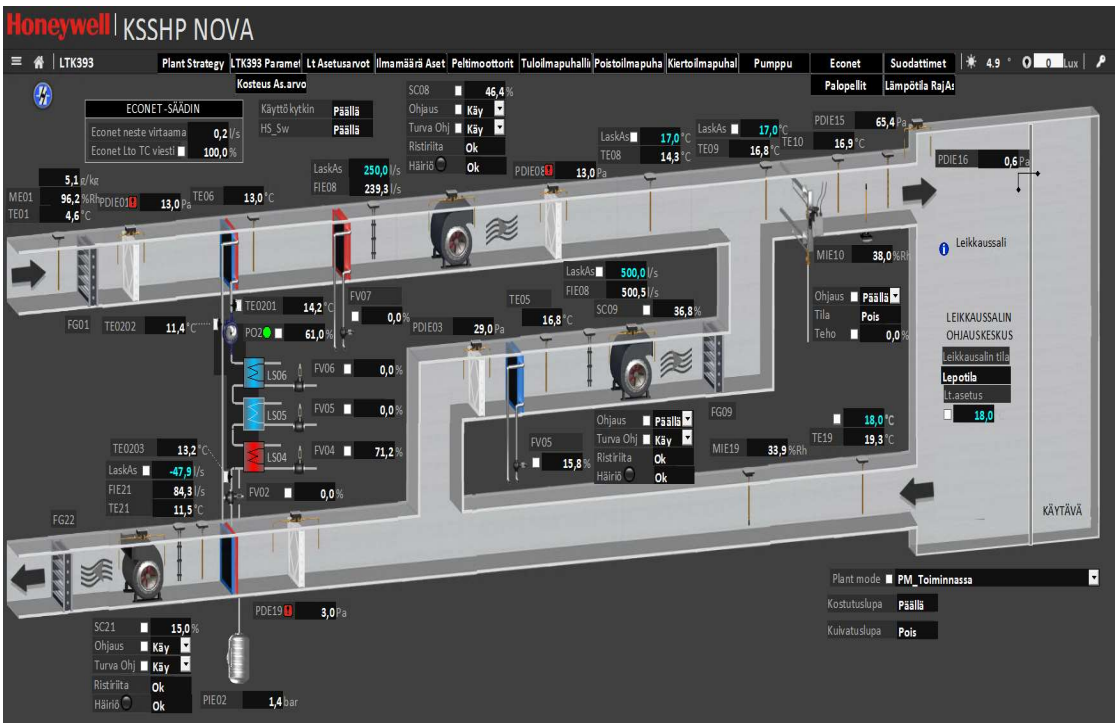
Vuonna 2010 ruotsalainen Johan Nordenadler esitti väitöskirjassaan tutkimustuloksiaan ruotsalaisista leikkaussaleista ja totesi, että laminaarisella ilmanjaolla toteutetuissa leikkaussaleissa ilmanvirtaus potilaan kohdalla oli muuttunut turbulenttiseksi. Toisin sanoen ilmanvirtaus oli samanlaista, kuin sekoittavassa ilmanjaossa. Tutkimus ei tosin kerro sitä, että oliko laminaariset salit säädetty oikein. (Cao ym. 2019, 737-734.)

6.7 Kiinteistöautomaation merkitys olosuhteiden luonnissa

Leikkaussalin taloteknisiäjärjestelmiä ohjataan ja valvotaan rakennusautomaation kautta. Rakennusautomaation perusrakenne käsittää kenttälaitteet, alakeskukset ja kiinteistön valvomon, josta valvotaan koko rakennuksen toimintaa. Leikkaussalin tärkeimmät valvottavat ja mitattavat asiat ovat: ilmamäärä, lämpötila, kosteus ja painero. Näistä suureista otetaan trendi-seurannat, joista näkee, kuinka esimerkiksi lämpötila on muuttunut leikkauksen aikana tai onko kosteus ollut käyttäjien sallimissa rajoissa koko leikkauksen aikana.

Ilmanvaihdon energiankulutus on myös varsin suurta ja se kuluttaa paljon energiaa, joka on huomioitava niin suunnittelussa, kuin käytössäkin. Leikkaussaleissa, kuten muissakin kiinteistöissä puhutaan paljon tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta. Tämä tarkoittaa leikkaussalitoiminnassa sitä, että puhdasta ilmaa tuotetaan saliin juuri sitä tarvittava määrä. On olemassa esimerkiksi viisi porrasta ilmanvaihdon säätöön, kuten lepo, siivous, puhdasleikkaus, ultra puhdasleikkaus ja infektioleikkaus. Kaikille näille eri toiminnoille on omat parametrit kiinteistövalvonnassa ladattu. Näillä eri toiminnoilla voidaan merkittävästi laskea kiinteistön energiankulutusta.

Nykypäivänä on huomioitava myös leikkauksen aikainen hiilijalanjälki, sillä leikkausien tekeminen, kun otetaan huomioon kaikki siihen liittyvät toiminnot on kallista puuhaa. Toinen asia on, että myöskään energiankulutukseen panostaminen ei saa vaikuttaa potilasturvallisuuden vaarantamiseen. Kuviosta 19 voi analysoida mm. energiankulutukseen liittyviä ongelmatilanteita kiinteistövalvomon tietokannasta.



Kuvio 19. Toimintakoevaiheessa olevan sairaala Novan hybridileikkaussalin ilmanvaihtokoneen näkymä sairaalan kiinteistövalvomon näytöltä.

6.8 Leikkaussalin suorituskykyvaatimukset

Seuraavat suorituskykyvaatimukset ovat hyvin pitkälti tulleet Sairaala Novan käyttäjävaatimusten kautta. Käyttäjät ovat mitoittaneet toiminnan ja toiminnalle tietyt vaatimukset. Tällä hetkellä, kuin ei ole voimassa olevaa leikkaussalistandardia, niin silloin toimitaan näin.

6.8.1 Salin sisäilman puhtaustaso

Sisäilman partikkelitasot määräytyvät suoraan ISO-luokituksen mukaan. Sairaanhoitopiirin vaatimus oli, että salit tulee täyttää ISO 5- ja ISO 7-luokan vaatimukset partikkelien osalta. ISO 5-luokan vaatimus tarkoittaa ultra clean -tilannetta ja ISO 7-luokka clean -tilannetta. Puhtaustaso on määritetty ISO 14644-1 -standardin (SFS-EN ISO 14644-1 2015). ISO 5 -luokka sallii maksimissaan 3520 yli 0,5 µm hiukkasta ilmakuutiossa ja ISO 7- luokka sallii maksimissaan 352 000 yli 0,5 µm hiukkasta ilmakuutiossa.

Hiukkaspuhtauden määritys tehdään kalibroidulla partikkelilaskurilla. Laskurin tulokset näyttävät, ovatko salin arvot ISO 5 ja ISO 7-luokan mukaisia. Mittaukset tehdään at-rest -tilassa. (SFS-EN ISO 14644-1 2015).

6.8.2 Mikrobiologinen puhtaustaso

Mikrobiologinen puhtaus salissa tarkoittaa sitä, että ultra clean -tilanteessa mikrobeja salissa on <1 CFU/m^3 ja clean -tilanteessa <10 CFU/m^3

EN 17141 -standardissa on määritelty mittaus, jonka tehtävänä on määrittää, paljonko kuutiometrissä leikkaussalin ilmaa on mikrobeja. Mikrobimittaukset tehdään myös at-rest -tilanteessa. Mikrobeja voidaan mitata myös toiminnan aikana, mutta tässä minun opinnäytetyössäni ei ole keskitetty siihen.

6.8.3 Painesuhteet

Painesuhteille ei ole määritelty raja-arvoja missään standardissa. Hyvin pitkälti painesuhteiden raja-arvot voidaan määritellä käyttäjien riskiarvioinnin kautta, kuten puhdastilapuolella yleensä toimitaan. Lähtökohtaisesti leikkaussalit täytyy rakentaa ja virittää ylipaineisiksi talotekniikan toimesta. Suositusten mukaan salien ylipaineisuus on noin 10-20 Pascalia. Sairaala Novan käyttäjävaatimusten kautta tuli raja arvo 13±3 Pascalia.

6.8.4 Lämpötila

Tavoitelämpötila Sairaala Novan leikkausaikana on 18-26°C. Henkilökunnalla on mahdollista muuttaa lämpötilan asetusarvoa leikkaussalin näytöltä kesken leikkauksen. Lämpötila-asetuksen muuttamisen perusteena voi olla potilaan, leikkaussalihenkilökunnan tai kirurgin kokema viihtyisyyslämpötila. Haasteena tässä on ehdottomasti se, kuinka saavutetaan kaikille osapuolille mahdollisimman viihtyisät termiset olosuhteet leikkauksen aikana. Potilaille voidaan antaa leikkauksen aikana erilaisia lämpöpeittoja, joilla on tarkoitus parantaa potilaan viihtyvyyttä leikkauksen aikana, mikäli tilanne sitä vaatii.

6.8.5 Ilman suhteellinen kosteus

Salin suhteellinen kosteus tulee Sairaala Novassa olla 30-60% RH (21°C). Standardeissa ei ole annettu ehdotonta vaatimusta suhteellisen kosteuden suhteen. Lääkinnällisiä perusteita kosteuden raja-arvojen määrittämiseen ei oikeastaan ole. Sairaala Novan tapauksessa suhteellisen kosteuden raja-arvot määrittyivät pitkälti henkilökunnan olosuhteiden vaatimusten mukaan.

Joissakin leikkauksissa kosteuden määritykset ovat tarpeen ja nämä ovat mm. silmäleikkaukset ja palovammaleikkaukset, jossa kosteusarvot ovat normaalia korkeammat.

Energiakustannukset Suomen kylmässä ilmastossa varsinkin talvikaudella lisäävät merkittävästi koko järjestelmän käyttökustannuksia.

6.8.6 Toipumisaika

Toipumisajan määrittäminen kertoo loppukäyttäjälle, kuinka nopeasti tilat puhdistuvat edellisen leikkauksen jäljiltä. Ultra clean -tilanteessa toipumisaikavaatimus oli < 10 minuuttia ja clean -tilanteessa < 20 minuuttia.

Toipumisaikatesti tehdään ISO 14644-3 -standardin mukaisesti. Toipumisaika tarkoittaa sitä aikaa, joka menee testattavan tilan epäpuhtauspitoisuuden alenemiseen yhteen sadasosaan. Tämä testi määrittää hyvin sen, kuinka nopeasti ilmanvaihtojärjestelmä puhdistaa tilan epäpuhtauksista. (SFS-EN ISO 14644-3 2019)

7 Hybridileikkaussalin mittaukset

7.1 Yleistä hybridileikkaussalista

Nykypäivänä sairaaloihin rakennetaan niin sanottuja hybridileikkaussaleja, mikä tarkoittaa, että normaalien leikkaussalitoimintojen lisäksi saliin on tuotu myös radiologian laitteita kuvantamista varten. Näin on toimittu myös Keski-Suomen keskussairaalassa. Hybridileikkaussalin suunnittelussa ja rakentamisessa on huomioitava leikkaussalin vaatimustenmukaiset olosuhteet, mutta myös lyijysuojaus kuvantamisen toimintoihin. Lyijysuojaus estää kuvantamisesta aiheutuvan säteilyn siirtymisen leikkaussalin ulkopuoleisiin tiloihin.

Hybridileikkaussalin edut tulevat esiin mm. verisuonitautien potilaiden hoidossa, jotka tarvitsevat leikkausta ensisijaisena hoitona. Etuina voidaan pitää myös sitä, että laitteet lisäävät leikkausten erilaisia mahdollisuuksia ja kapasiteettiä monimutkaisten kirurgisien toimenpiteiden hoidossa.

Kuvio 20. Sairaala Novan hybridileikkaussali.

7.2 Leikkaussalin rakenne ja tiiviysmittaukset

Sairaala Novan vaatimukset leikkaussalin tiiveydelle olivat 0,3 l/s/m^2, alla olevien mittausten mukaan leikkaussalille asetetut vaatimukset hybridisalin osalta täyttyivät hienosti. Leikkaussalin tiiviyteen vaikutti olennaisesti se, että kaikki Novan leikkaussalit suunniteltiin ja rakennettiin modulaarisista elementeistä. Varsinaisesti emme juurikaan keskustelleet paikallaan rakennettavista kipsilevyseinistä, koska tuohon 0,3 l/s/m^2 tiiviyteen olisi ollut haasteellista päästä. Tämän lisäksi vuotuisissa luokitusmittauksissa olisi saattanut olla haasteita päästä tuohon tiiviysvaatimukseen. Kuviossa 21 on soitettu hyväksytty mittaus Novan leikkaussalista.

Huone tiedot

Huone #	L3.32
Tilavuus [m³]	348,68
Vaipan ala [m²]	327,96
Lattian ala [m²]	84,63
Korkeus [m]	4,12
Epävarmuus [%]	2

Tulokset

Tavoite q50 ≤ 0,3 lps/m²

Huone #	L3.32
V50 [l/s]	70 (+/- 1,5 %)
n50 [1/h]	0,73
w50 [lps/m²]	0,83
q50 [lps/m²]	0,21

HYVÄKSYTTY

V50	Vuotoilmamäärä 50Pa paine-erolla
n50	Ilmanvaihtokerroin 50Pa paine-erolla
w50	Vuotoilman määrä verrattuna lattian alaan 50Pa paine-erolla
q50	Vuotoilman määrä verrattuna vaipan alaan 50Pa paine-erolla

Kuvio 21. Leikkaussalin tiiviysmittaukset (Haltonin validointimittaukset 2020).

7.3 Leikkaussalin paine-erot

Leikkaussalin paine-erot leikkaussalin ja käytävän välille olivat vaatimuksissa 13±3 Pascalia. Leikkaussalissa on viisi erilaista ilmamääräasetusta, jotka ovat lepotila, clean -tila, ultra clean -tila, siivous -tila sekä infektioleikkaus. Kaikissa näissä leikkaussalin

ilmamääräasetuksissa paine-ero käytävälle täytyy olla 13±3 Pascalia, paitsi infektioleikkaustilassa, joka on 0±3 Pascalia. Alla on kiinteistövalvonnasta otetut screenshotit, josta käy hyvin ilmi, että näihin tavoitteisiin on päästy.

7.4 Leikkaussalin ilmamäärät

Hybridisalin ilmamäärä saatiin mittaamalla salin kokonaisilmamäärä ja se oli 2500 l/s. Tällä ilmamäärällä saatiin ilmanvaihtokertoimeksi 44,5 1/h. Näin ollen ilma vaihtuu salissa erittäin tehokkaasti, kun sitä verrataan tavoitearvoon, joka on 18 1/h. Kuviossa 22 on hybridileikkaussalin hyväksytty ilmanvaihtokerroin.

Palautumisajan perusteella laskettu ilmanvaihtokerroin [1/h]	*49,1*	*39,9*	***44,5***	*> 18*
Palautumisajan perusteella laskettu tehollinen ilmamäärä [l/s]	*3040*	*2468*	***2754***	

Kuvio 22. Hybridileikkaussalin ilmanvaihtokerroin. (Haltonin validointimittaukset 2020)

7.5 Leikkaussalin mikrobimittaukset

Mikrobimittaukset osoittavat se, että cfu/malja on 0 pesäkettä leikkaussalin alueelle. Ilmasta otettuna kuutiometrissä tulokset näyttävät, että pesäkkeitä on <2 CFU/m^3 , näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että salit olivat jo validointivaiheessa erittäin puhtaita ja mikrobeja ei esiintynyt. Kuviossa 23 on hybridisalin hyväksytty mikrobimittaustulos.

L3.32 1/2	**12.5.2020**	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
L3.32 2/2	**12.5.2020**	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen

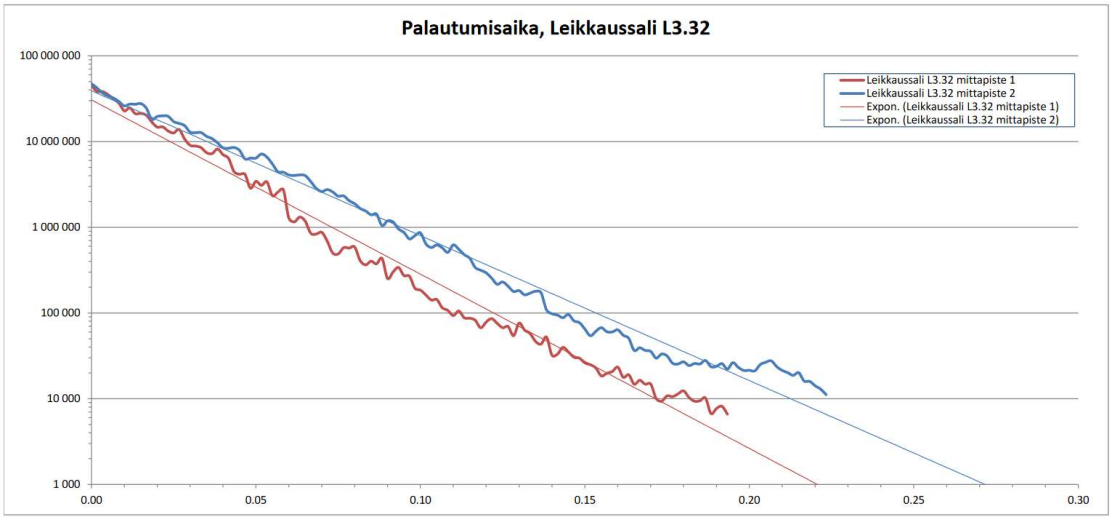
Kuvio 23. Hybridisalin mikrobimittaukset at-rest -tilassa. (Haltonin validointimittaukset 2020)

7.6 Leikkaussalin toipumismittaukset

Toipumisajan määrittäminen kertoo loppukäyttäjälle, kuinka nopeasti tilat puhdistuvat edellisen leikkauksen jäljiltä. Ultra clean -tilanteessa toipumisaikavaatimus oli < 10 minuuttia ja clean -tilanteessa < 20 minuuttia. Haltonin tekemien mittausten perusteella voidaan todeta, että hybridisali toipuu hiukkasista erittäin nopeasti. Kuviossa 24 on hybridisalin hyväksytty palautumisaika.

Pitoisuus [%]	Hiukkasia [n/m³]	Piste 1	Piste2		
100	352 000	06:16	06:40		
1	3 520	11:53	13:35	**Keskiarvo**	Tavoite
Palautumisaika [mm:ss]		05:37	06:55	**06:16**	< 15:00

Kuvio 24. Hybridileikkaussalin toipumisaika numeraalisesti. (Haltonin validointimittaukset 2020)



Kuvio 25. Hybridileikkaussalin toipumismittaukset kuvaajan muodossa. (Haltonin validointimittaukset 2020)

Kuviossa 25 on esitettynä hybridisalin toipumismittaukset graafisessa muodossa .

8 Opinnäytetyön mittaukset

8.1 Hybridileikkaussalin mittausten tausta

Mittausten lähtökohtana oli määrittää sinisen valon potentiaali hiukkasten ja mikronien suhteen. Olisiko saavutettavissa hyötyjä ja etuja sinisen valon toimivuudesta niin hygienia-asioissa, kuin energiasäästöpotentiaalissa. Kuinka loppukäyttäjät voisivat saada kaiken hyödyn irti fotonidesinfektiojärjestelmästä. Sairaala Novaan tehtiin kokonaan uusi leikkausosasto yhdessä SRV:n ja Mediqin kanssa. Mediq on kansainvälinen yhtiö, jonka yksi merkittävä toimiala on leikkaussalien rakentaminen. Sairaala Novaan tehtiin modulaariset leikkaussalit, joka tarkoittaa sitä, että tarvittaessa salit ovat helposti muunneltavia toiminnan mahdollisesti tulevaisuudessa muuttuessa. Modulaarisia leikkaussaleja ei Suomessa kovinkaan paljon ole, mutta suuntaus tämän tyylisiin saleihin on kova.

8.2 Hybridileikkaussalin mittaussuunnitelma

Aineistot kerättiin pääsääntöisesti hiukkasmittareilla, pintanäytteillä ja agarmaljoilla. Näistä saadut tulokset analysoitiin ja tutkittiin. Tämän lisäksi varsin merkittävä analysoitava kohde oli kiinteistöautomaation valvomo, josta saatiin hyvää aineistoa mm. tilojen painesuhteisiin, ilmamääriin, kostutukseen ja energiankulutukseen.

Leikkaussalin mittaukset aloitettiin, kun sali oli puhdistettu ja desinfioitu. Ensimmäiset mittaukset tehtiin ilman sinistä valoa. Salista mitattiin hiukkaset alkutilanteen määrittämiseksi, ilmanvaihto oli tällöin lepotilassa. Tämän jälkeen hiukkasgeneraattori asennettiin hybridileikkaussaliin leikkauspöydän kohdalle, jonka jälkeen leikkaussalin normaalit valot kytkettiin päälle. Hiukkaslaskurit vietiin tilaan ja hiukkaset mitattiin erillisen mittaussuunnitelman mukaisista paikoista.

Palautumisajan mittapaikat määritettiin hitaimman ilmannopeuden mukaan ja näihin paikkoihin vietiin hiukkasmittausanturi. Tämä on osoitettu kuviossa 28. Erillisen hiuk-

kasgeneraattorin avulla tilaan vietiin noin >40 miljoonaa hiukkasta/m³ >0,5µm ja tämän jälkeen hiukkasmittarit aloittavat mittauksen. Mittausfrekvenssi oli jatkuva ja siihen käytettiin yhden minuutin mittausjaksoja. Mittausta jatkettiin kahden tunnin ajan jokaisesta mittauspisteestä. Mittauksista pystyi näkemään suoraan, kuinka nopeasti tila puhdistui.

Mittauksen suoritettua ilmanvaihto laitettiin takaisin täydelle teholle ja leikkaussali tuuletettiin aiemmin saatujen toipumismittaustulosten mukaisesti, jotta eri mittaustilanteet olivat samanarvoisessa asemassa.

Toiset mittaukset tehtiin sinisen valon kanssa. Mittauspaikat on osoitettu kuviossa 32. Leikkaussalin sininen valaistus kytkettiin päälle ja hiukkasgeneraattori asennettiin hybridileikkaussaliin leikkauspöydän kohdalle. Salista mitattiin hiukkaset alkutilanteen määrittämiseksi, ilmanvaihto oli tällöin lepotilassa. Hiukkaslaskurit vietiin tilaan ja hiukkaset mitattiin erillisen mittaussuunnitelman mukaisista paikoista. Tämä on osoitettu kuviossa 28.

Palautumisajan mittapaikat määritettiin hitaimman ilmannopeuden mukaan ja näihin paikkoihin vietiin hiukkasmittausanturi. Erillisen hiukkasgeneraattorin avulla tilaan vietiin noin >40 miljoonaa hiukkasta/m³ >0,5µm ja tämän jälkeen hiukkasmittarit aloittavat mittauksen. Mittausfrekvenssi oli jatkuva ja siihen käytettiin yhden minuutin mittausjaksoja. Mittausta jatkettiin kahden tunnin ajan jokaisesta mittauspisteestä. Mittauksista pystyi näkemään suoraan, kuinka nopeasti tila puhdistui.

Mittauksen suoritettua ilmanvaihto laitettiin takaisin päälle ja leikkaussali tuuletettiin aiemmin saatujen toipumismittaustulosten mukaisesti, jotta eri mittaustilanteet olivat samanarvoisessa asemassa. Saadut tulokset kerättiin ja analysoitiin, tämän perusteella voitiin todeta sinisen valon vaikutus hiukkasiin.

Seuraavassa mittauksessa arvioitiin sitten mikrobitasojen määrät eri valaistusvaihtoehdoilla. Laskeumamaljat laitettiin hybridisaliin erillisen mittaussuunnitelman mukai-

sesti. Tämä on osoitettu kuviossa 29. Laskeumamaljat laitettiin saliin ensin normaalissa valaistuksessa, jotta nähtiin salin alkuperäinen tilanne. Ilmanvaihto oli mittaushetkellä lepotilassa.

Toiset laskeumamaljat otettiin sitten sellaisessa tilanteessa, kun saliin oli syötetty sinistä valoa kuusi tuntia. Mittauspaikat on osoitettu kuviossa 32. Saadut tulokset kerättiin ja analysoitiin, tämän perusteella voitiin todeta sinisen valon vaikutus mikrobeihin. Mikrobimittauksissa olen pyrkinyt siihen, että se kuvaisi normaalia leikkaustoiminnan sykliä siten, että päivän päätteeksi laitetaan sininen valo päälle ja seuraavana aamuna meillä pitäisi olla puhdassali käytössä. Näytteet vietiin tämän jälkeen laboratorioon analysoitavaksi.

Kolmas merkittävä mittaus oli pintanäytteiden mittaaminen hybridileikkaussalista. Näytteet otettiin normaalitilanteessa olevasta salista ja normaalissa leikkaussali valaistuksessa erillisen mittaussuunnitelman mukaisesti. Tämä on osoitettu kuviossa 31. Toisessa mittauksessa saliin kytkettiin sininen valo päälle ja sininen valo oli salissa yön ajan päällä. Aamulla otettiin toiset pintanäytteet ja näytteet vietiin inkuboitumaan laboratorioon. Näytteet analysoitiin ja näiden perusteella voitiin arvioida, kuinka sininen valo mahdollisesti tuhoaa pinnoilla olevia mikrobeja.

Sairaala Novan leikkaussalit valmistuivat kesäkuussa 2020, mutta tilaajan erillishankinnat ja niiden asennukset aiheuttivat sen, että kaikki tarvittavat lääkintälaitteet saatiin asennettua vasta joulukuussa 2020. Puolen vuoden aikana saleissa on ollut paljon mikrobikuormaa, joten pintanäytteiden ottaminen on tältäkin osalta varsin perusteltua. Myöskin käyttäjät olivat sitä mieltä, että pintanäytteiden ottaminen kuvaa paremmin toiminnan aikaista käyttöä, kuin pelkät maljanäytteet.

Lopullisten asennusten ja kaikkien lääkintälaitteiden tulon myöstä salit kuitenkin vielä desinfioitiin ja puhdistettiin, ennen kuin ensimmäiset potilaat saapuivat leikkaussaleihin leikattaviksi. Myös ennen potilaisen saapumista kaikkien Sairaala Novan leikkaussalien partikkeli- ja mikrobitasot mitattiin vielä uudelleen.

Näiden tulosten perusteella voitiin arvioida sitten energiankulutuksen hyöty. Kannattaako energiankulutuksen lasku vai tuoko energiankulutuksen hyöty tullessaan muita riskitekijöitä prosessiin? Käykö niin, että energiankulutuksella mahdollisesti voidaan saada aikaan puhtaan leikkausalueen osittainen likaantuminen?

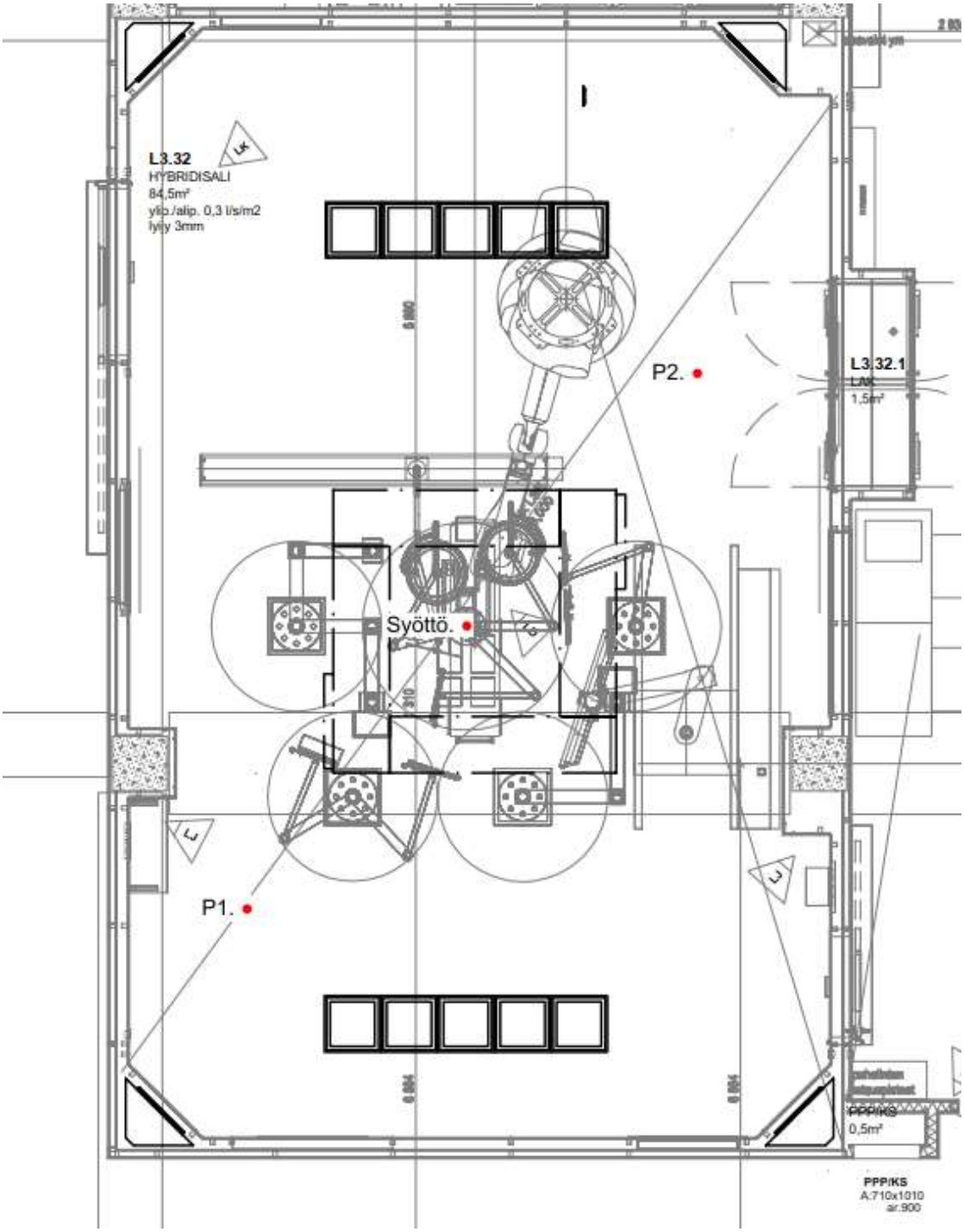
Kuvio 26. Hybridisali normaalissa valaistuksessa.

Kuviossa 26 hybridisali on normaalissa valaistuksessa. Tässä kuvassa leikkaussalien tutkimusvalaisimet eivät ole päällä.

Kuvio 27. Hybridileikkaussali sinisessä valossa.

Kuviossa 27 on otettu kuva hybridisalista, jossa on sininen valo käytössä. Kuvassa tutkimusvalaisimet ovat pois päältä. Tätä sinistä valoa ei käytetä muulloin, kuin desinfektiovaiheessa.

8.3 Hybridisalin partikkelimittaukset

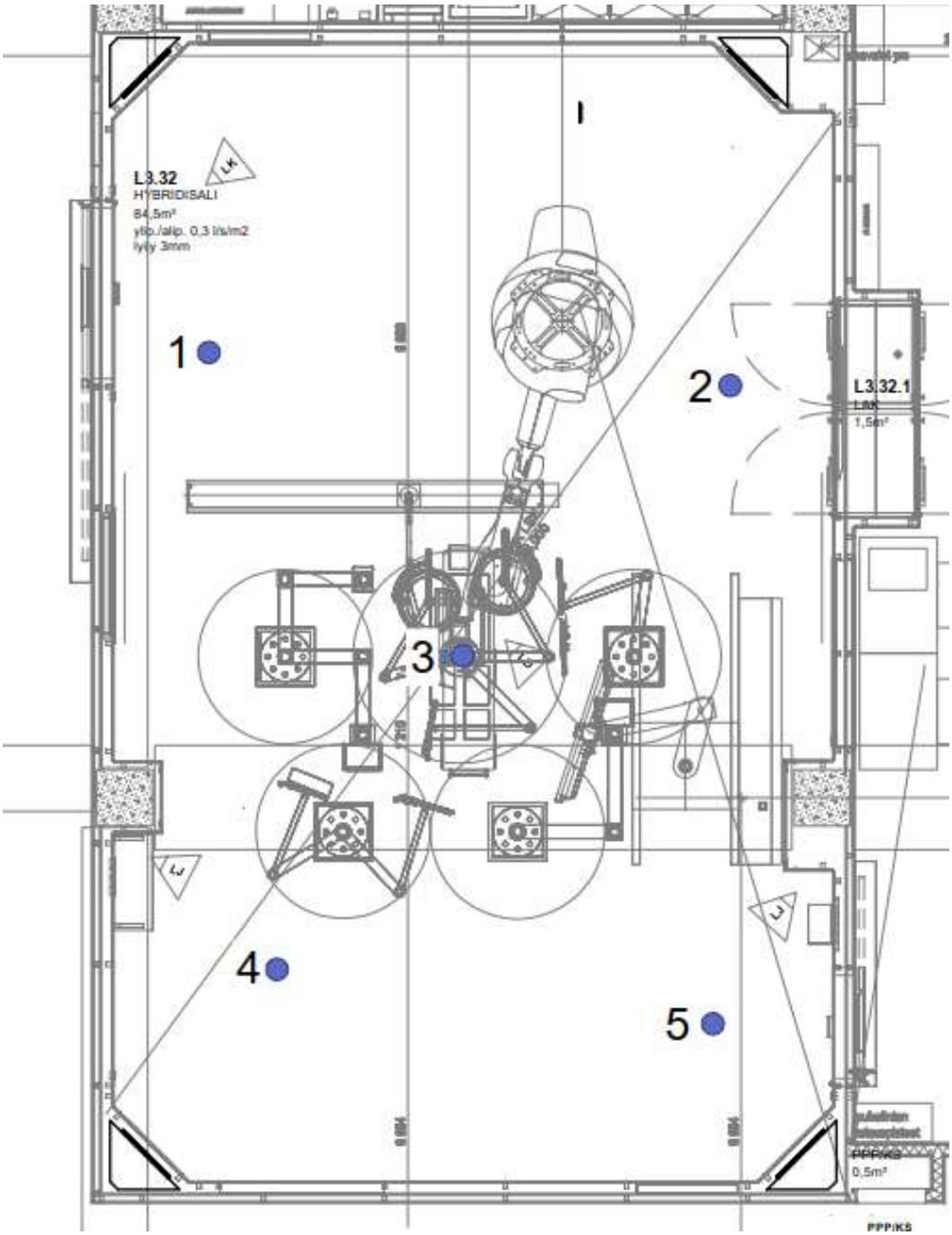


Kuvio 28. Partikkelimittauspisteet ja partikkeleiden syöttöpaikka molempien mittausten aikana.

Kuviossa 28 on osoitettuna mittauspaikat, jotka valittiin hitaimman ilman liikkeen mukaisesti. Mittauspaikat tulivat erillisten validointimittausten perusteella.

8.4 Hybridisalin mikrobimittaukset

8.4.1 Laskeumamaljat



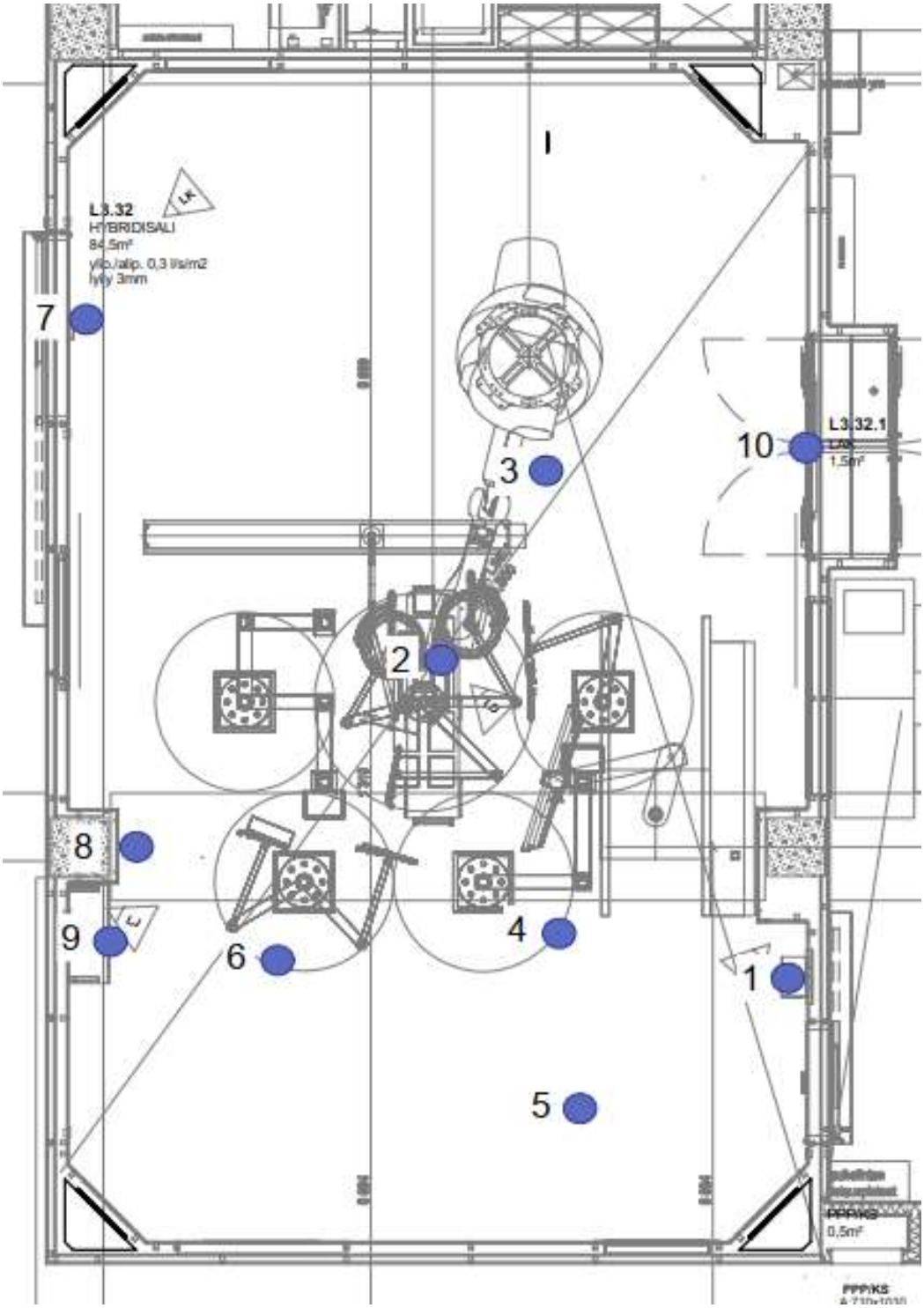
Kuvio 29. Laskeumamaljojen sijoituspaikat

Laskeumamaljojen sijainnit määriteltiin, sellaisiin paikkoihin, jotka ovat hyvin tasaisesti ympäri leikkaussalia. Kuviossa 29 on arkkitehdin pohjapiirustus leikkaussalista, kuvassa ei näy salissa olevia lääkintälaitteita.

Kuvio 30. Leikkauspöydän päällä oleva laskeumamalja.

Kuviossa 30 on laskeumamalja sijoitettuna leikkauspöydälle. Vastaavalla tavalla muut laskeumamaljat on sijoitettu erillisen mittaussuunnitelman mukaisiin paikkoihin.

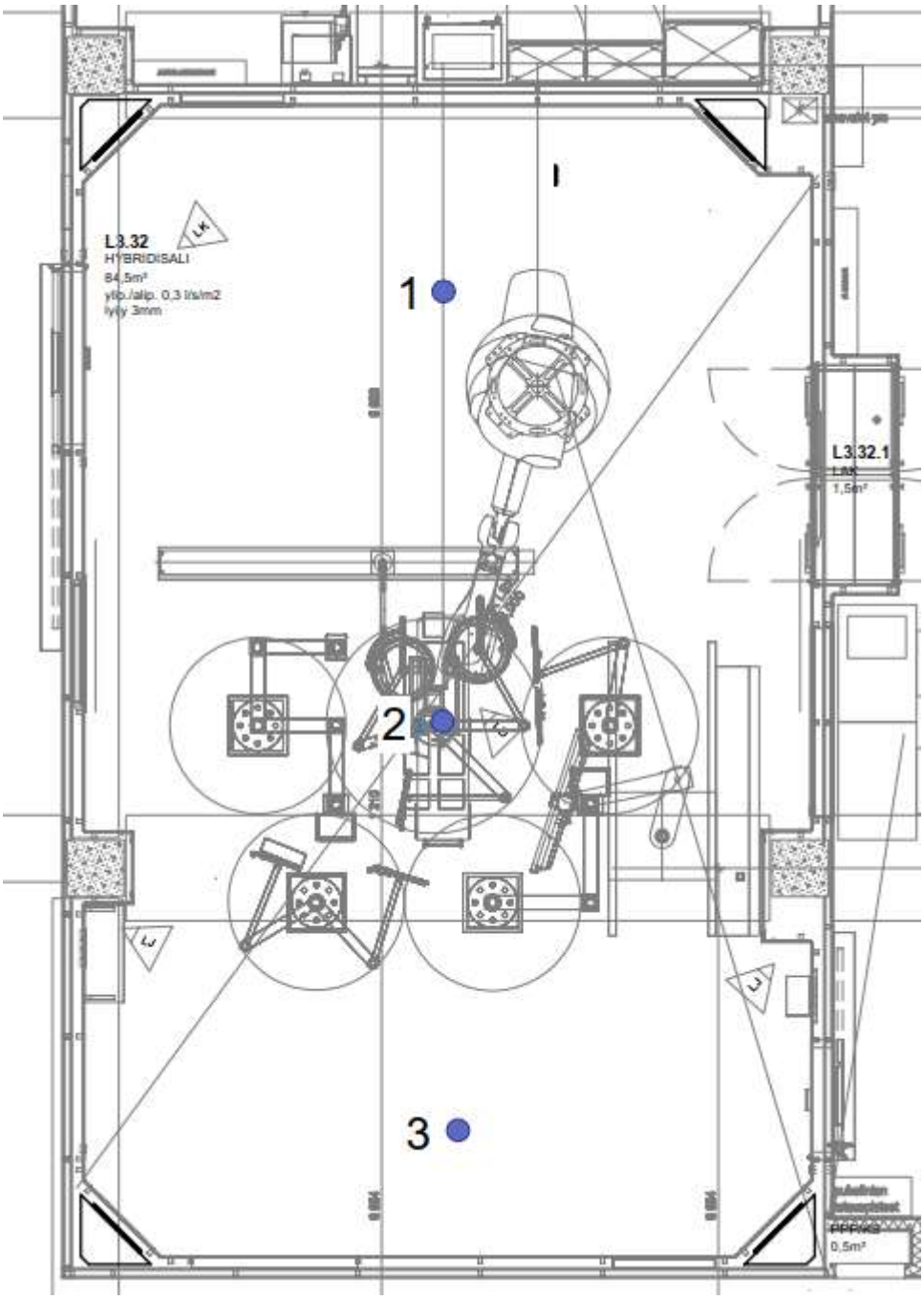
8.4.2 Pintanäytteet



Kuvio 31. Pintanäytteiden mittauspaikat.

Kuvio 31 osoittaa pintanäytteiden mittauspaikat on otettu siten, että salin lääkintälaitteet on huomioitu. Arkkitehdin pohjapiirustuksessa ei näy salissa olevia lääkintälaitteita.

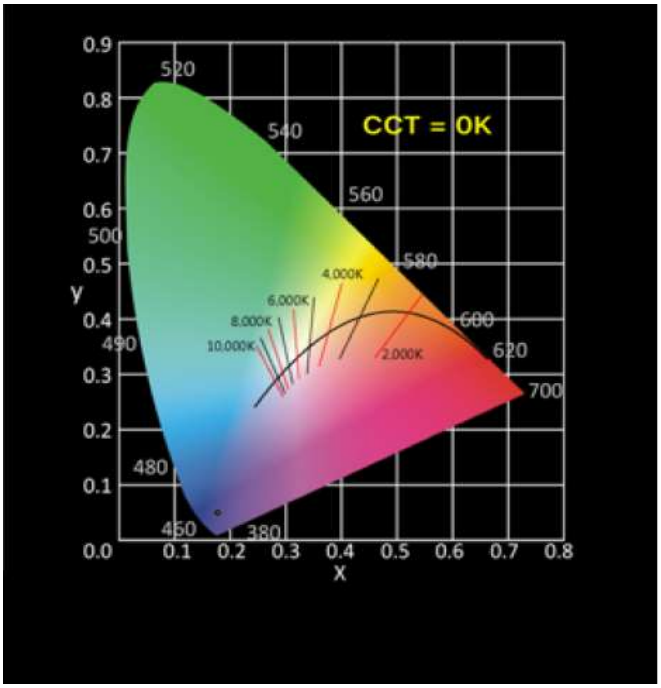
8.5 Hybridileikkaussalin valaistusmittaukset



Kuvio 32. Valaistusmittauspaikat hybridisalissa.

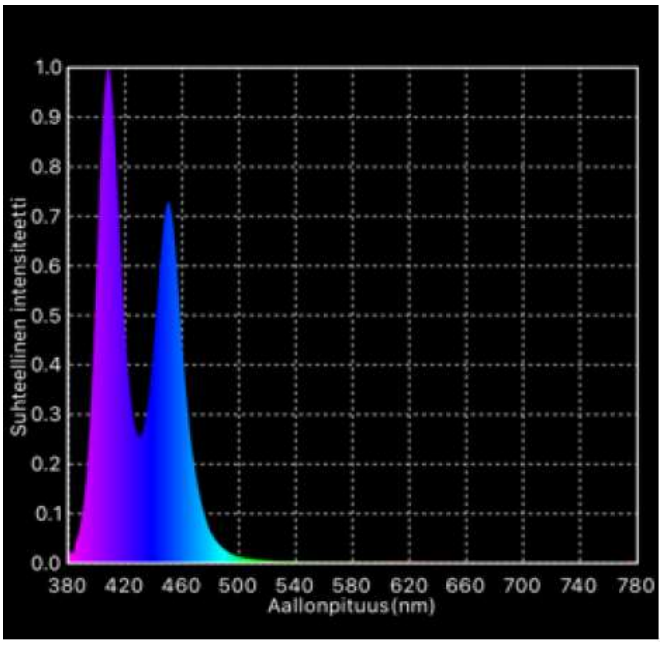
Kuviossa 32. on esitetty mittauspaikat, joista valaistusmittaukset tehtiin. Mittaukset pyrittiin tekemään keskeltä salia ja leikkauspöydän päältä.

Mittauspiste 1



Kuvio 33.Valon värilämpötila (CCT Correlated colour temperature) mittauspisteessä 1

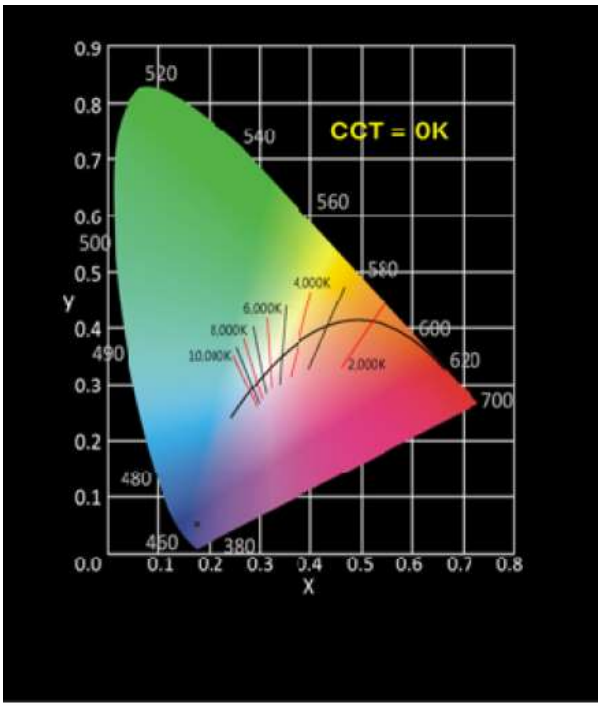
Kuvio 33 osoittaa CCT-kartan mukaisen valaistuksen pisteen.



Kuvio 34. Valon aallonpituudet mittauspisteessä 1

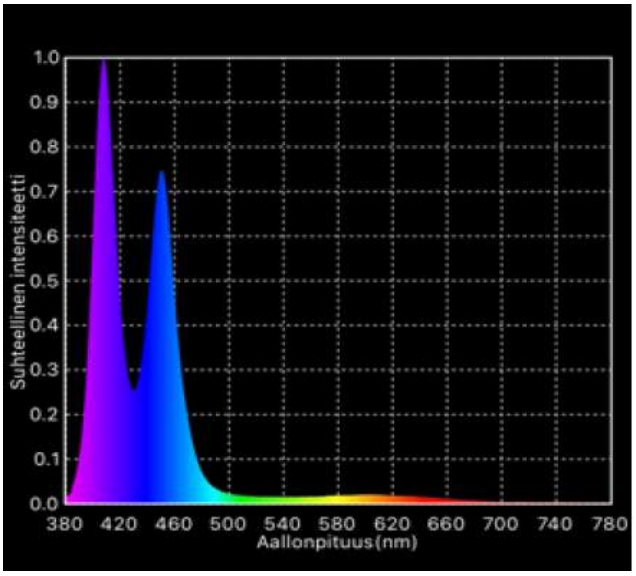
Kuvio 34 osoittaa valon aallonpituuden sekä valaistuksen suhteellisen intensiteetin.

Mittauspiste 2



Kuvio 35. Valon värilämpötila (CCT Correlated colour temperature) mittauspisteessä 2.

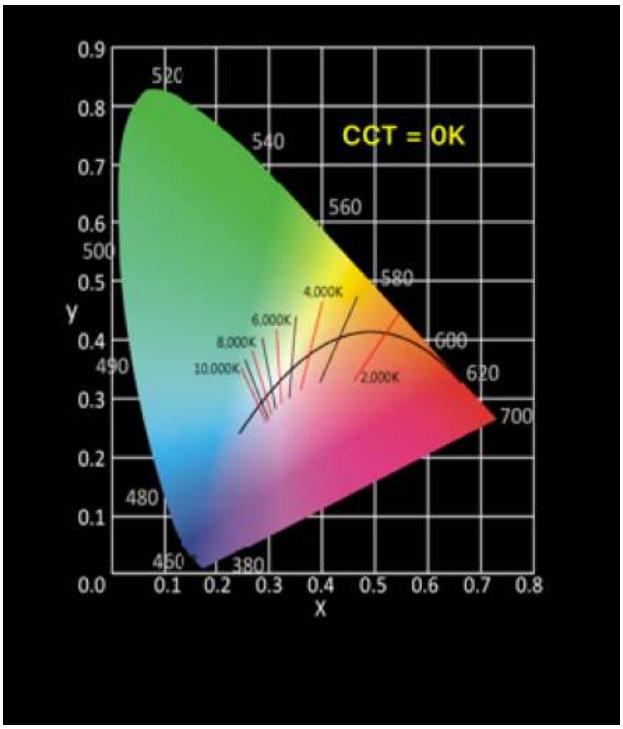
Kuvio 35 osoittaa CCT-kartan mukaisen valaistuksen pisteen.



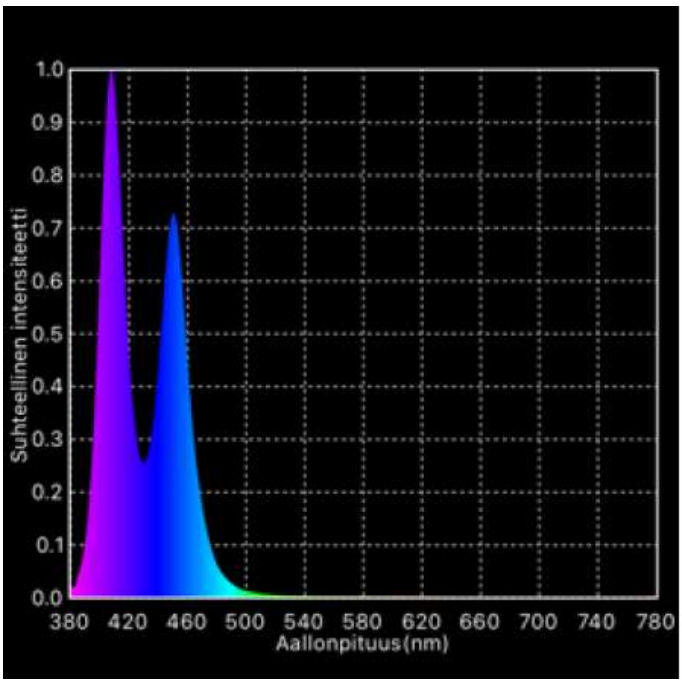
Kuvio 36. Valon aallonpituudet mittauspisteessä 2

Kuvio 36 osoittaa valon aallonpituuden sekä valaistuksen suhteellisen intensiteetin.

Mittauspiste 3



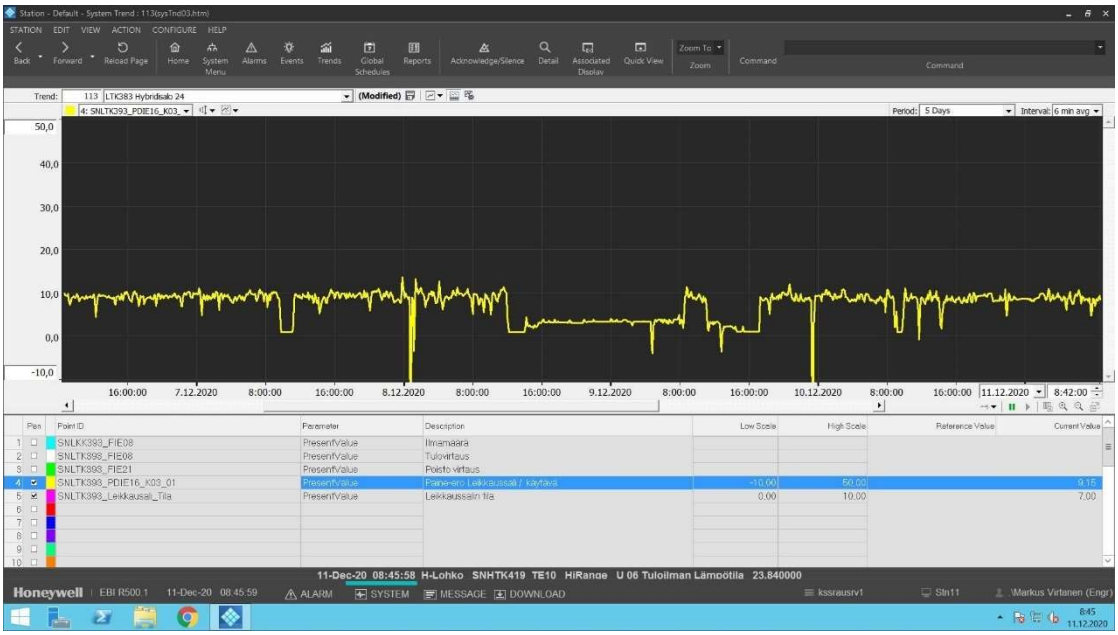
Kuvio 37. Valon värilämpötila (CCT Correlated colour temperature) mittauspisteessä 3. Kuvio 33 osoittaa CCT-kartan mukaisen valaistuksen pisteen.



Kuvio 38. Valon aallonpituudet mittauspisteessä 3.

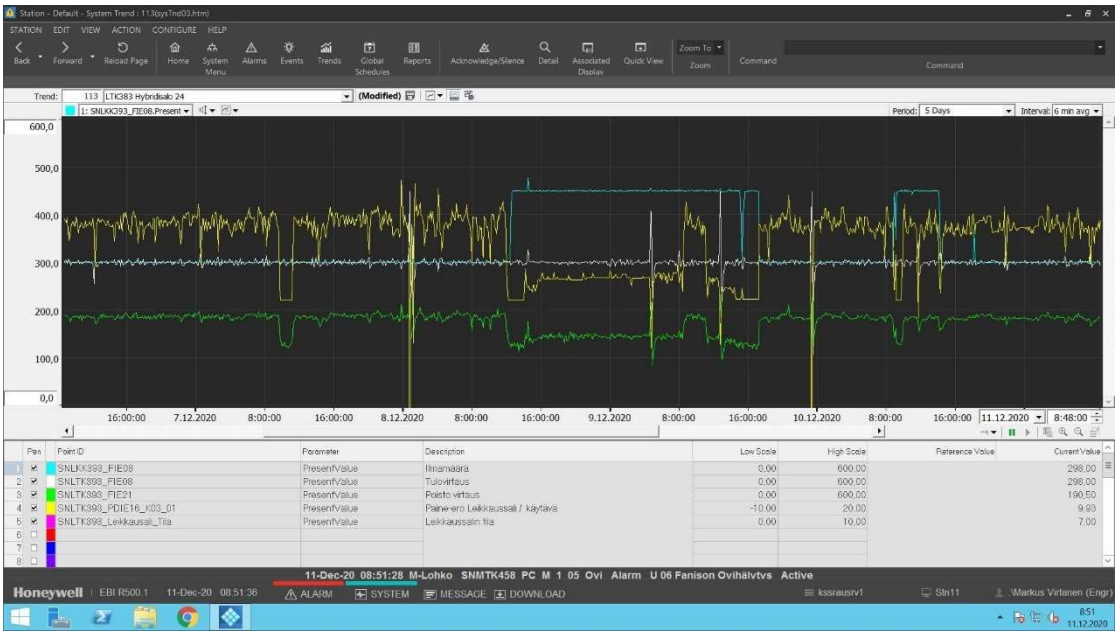
Kuvio 38 osoittaa valon aallonpituuden sekä valaistuksen suhteellisen intensiteetin.

8.6 Mittausten aikainen trendiseuranta kiinteistövalvonnasta



Kuvio 39. Mittausten aikainen paine-ero hybridisalin ja käytävän välillä.

Kiinteistövalvomon näytöltä otetussa trendissä näkyvät mittauspiikit kertovat erilaisista käyttötilanteista salissa, sekä ovien avautumisista. Kuviossa 39 näkyy selvästi paine-eron vaihtelut.



Kuvio 40. Mittausten aikainen trendiseuranta kiinteistövalvonnan näytöltä.

Kuviossa 40 on seurattu ilmamäärää, poistoilmamäärää, paine-eroa käytävän ja leikkaussalin välillä sekä leikkaussalin tilaa. Varsinkin ongelmatilanteissa, joissa joudutaan selvittämään olosuhdepoikkeamia kiinteistövalvonnasta, on paljon hyötyä.

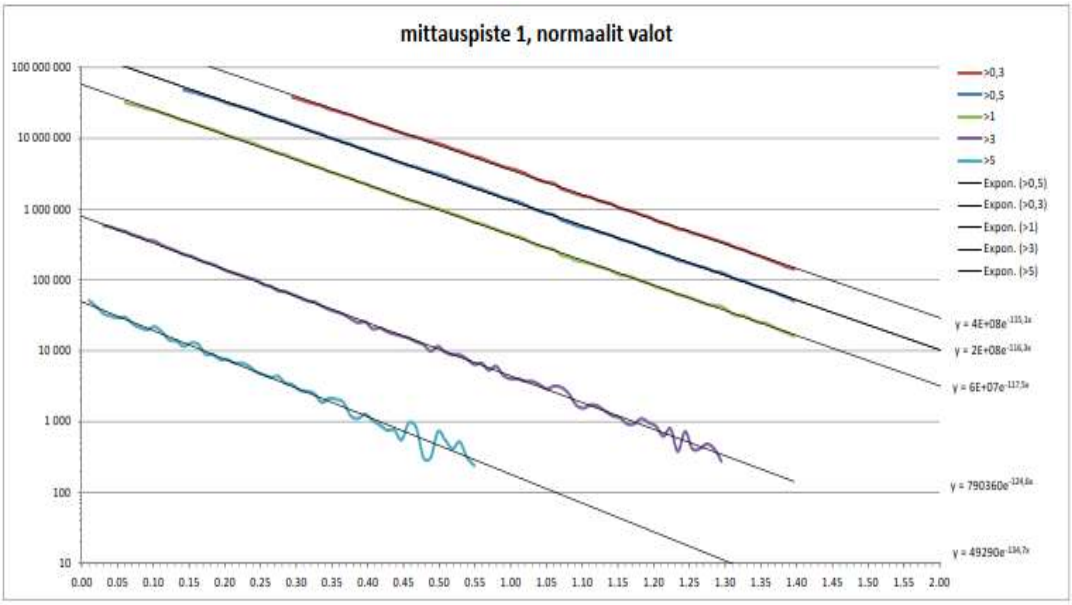
Kuvio 41. Mittausten aikainen näkymä hybridisalin käyttäjäpaneelista.

Loppukäyttäjät voivat kuvion 41 osoittamasta taulusta säätää saliin halutut olosuhteet. Käyttäjät voivat muuttaa leikkaussalin lämpötilaa, ilmanvaihdon määrää ja valaistuksen voimakkuutta, sekä valaistuksen värimaailmaa.

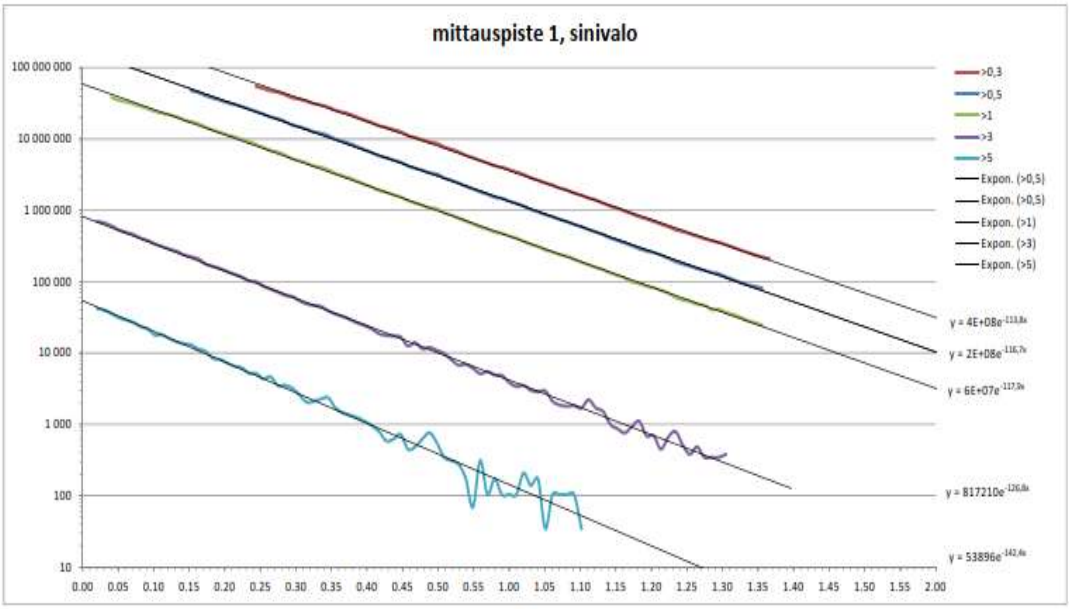
9 Mittausten tulokset

9.1 Leikkaussalin partikkelien tulokset

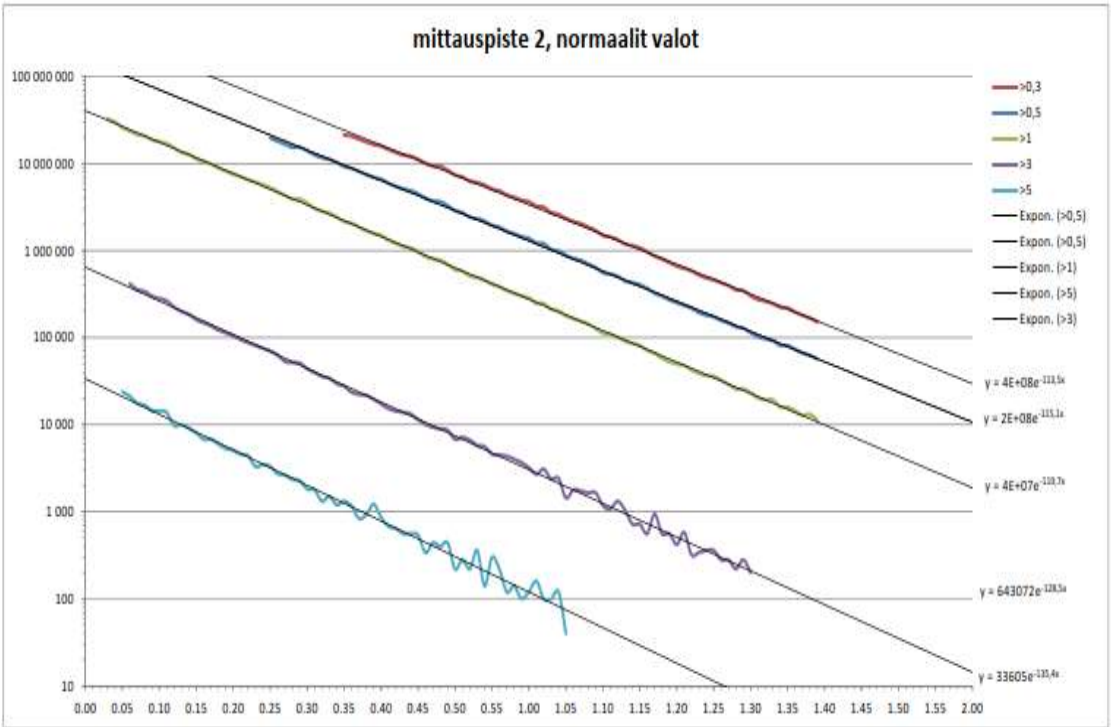
Mittaustulokset partikkelien osalta on esitettynä alla oleviin kuvaajiin. Kuvaajissa näkyy mittauspiste, sekä valaistuksen tilanne.



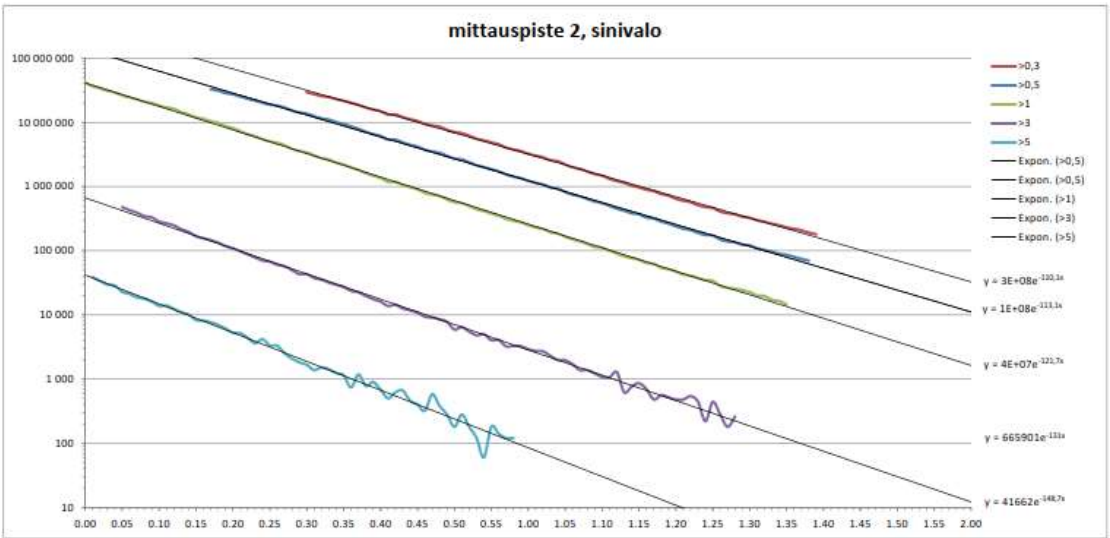
Kuvio 42. Mittauspisteen numero 1 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja normaali valaistus päällä. (Halton 2020)



Kuvio 43. Mittauspisteen numero 1 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja sinivalo päällä. (Halton 2020)



Kuvio 44. Mittauspisteen numero 2 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja normaali valaistus päällä. (Halton 2020)

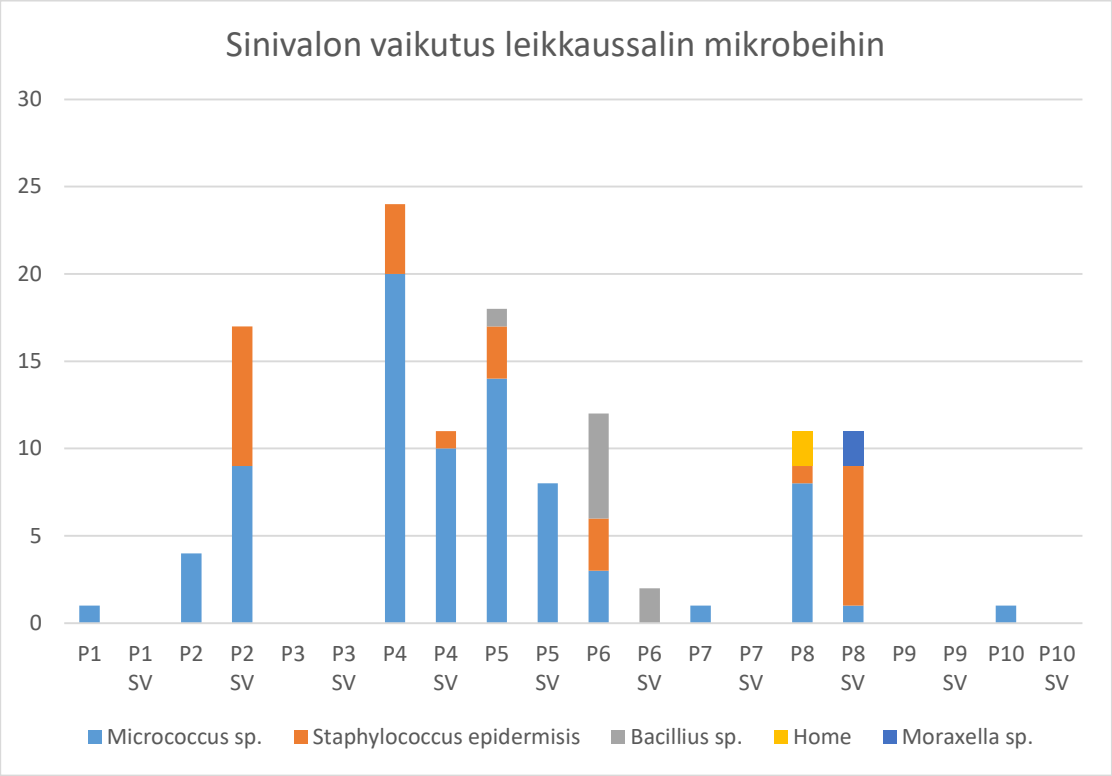


Kuvio 45. Mittauspisteen numero 2 hiukkasten väheneminen normaali-ilmanvaihdon aikana ja sinivalo päällä. (Halton 2020)

9.2 Mikrobien tulokset

9.2.1 Leikkaussalin pintanäytteiden tulokset

Mittaustulokset pintanäytteiden osalta on esitettynä kuviossa 46. Kuviossa näkyy mittauspiste, sekä valaistuksen tilanne. Alla olevan kuvion perusteella voi tehdä analyysin sinisen valon vaikutuksesta mikrobimääriin pintanäytteiden osalta.



Kuvio 46. Pintanäytteiden tulokset hybridisalista. SV tarkoittaa sinistä valoa.

9.2.2 Leikkaussalin laskeumamaljojen tulokset

Mittaustulokset laskeumamaljojen osalta on esitettynä kuviossa 47. Kuviossa näkyy mittauspiste, sekä valaistuksen tilanne. Alla olevan kuvion perusteella voi tehdä analyysin sinisen valon vaikutuksesta mikrobimääriin laskeumamaljojen osalta.

Kuvio 47. Laskeumamaljojen tulokset. SV tarkoittaa sinistä valoa.

10 Tulosten tarkastelu

10.1 Tulosten luotettavuus

Koko opinnäytetyön keskeinen teema on ollut, kuinka luotettavuus pystytään osoittamaan ja kuinka helposti mittaukset voidaan uusia, siten että tulokset ovat nykyisten mittausten mukaisia. Partikkelien osalta mielestäni luotettavuus voidaan helpostikin todentaa, koska leikkaussaliin viedään paljon hiukkasia molemmissa valaistustilanteissa. Yksinkertaisesti seurataan leikkaussalin puhdistuvuutta molemmissa valaistustilanteissa ja verrataan niitä toisiinsa. Mikäli niissä on eroa, niin silloin voidaan todeta, että sinisestä valosta on hyötyä partikkeleiden osalta.

Omissa mittauksissani en huomannut mitään muutosta partikkeleissa, oli meillä sitten sininen valo päällä tai normaali valaistus päällä. Näissä mittauksissa sinisestä valosta ei ollut mitään hyötyä leikkaussalin puhdistumisen kannalta. Luotettavuuden

kannalta katsoen tulokset ovat todella vakuuttavia ja luotettavia ja mittausten tekijänä ja analysoijana voin todeta, että tulosten perusteella sinistä valoa ei kannata hankkia leikkaussaliin vain partikkeleita varten.

Mikrobien kannalta katsoen tilanne on sitten täysin toinen. Laskeumamaljojen osalta mittaustuloksia katsottuna voidaan todeta, että vaikka salissa on ollut paljon mikrobikuormaa, niin tuloksissa ne eivät juurikaan näy. Tämä tarkoittaa, että ilmanvaihto toimii tehokkaasti ja painesuhteen leikkaussalista käytävälle toimii hyvin. Ne mikrobinäytteet, joissa oli normaali valossa mikrobeja, niitä ei sinisen valon käytön jälkeen enää näkynyt tuloksissa. Laskeumamaljojen osalta voidaan todeta, että sininen valo tappaa mikrobit ilmasta siten, että sinisen valon käytön jälkeen leikkaussalin ilma oli puhdas mikrobeista. Voidaan todeta, että sininen valo toimii ilman osalta.

Kuvio 48. Kuva hybridisalista valaistusmittausten aikana

Kymmenestä eri mittauspaikasta pintanäytteiden osalta katsottuna voidaan todeta, että kahdeksassa näytteessä tulokset ovat parempia sinisen valon kanssa, kuin nor-

maalissa valaistuksessa. Pintanäytteiden kanssa myös luotettavuuden kanssa on haasteita, koska näytteenottopaikassa voi olla vaihteluja mikrobien suhteen. Kokonaisuutta, kun tarkastellaan pienet poikkeamat, voidaan näytteiden suhteen unohtaa.

10.2 Tulosten tarkastelu energianäkökulmasta

Opinnäytetyöni kolmas merkittävä kysymykseni oli, että onko mahdollista säästää ilmastoinnin energiankulutusta, mikäli mittaustulokset osoittavat selvästi, että fotonidesinfiointijärjestelmä toimii? Näiden omien mittausteni perusteella, sekä hybridisalin validoinnin yhteydessä tehtyjen mittausten mukaan en lähtisi säästämään leikkaussalin ilmastoinnin energiankulutusta. Yksi syy on se, että hybridisalin olosuhteet toimivat tällä hetkellä erinomaisesti siihen tarkoitukseen, johon se on suunniteltu. Hyvänä esimerkkinä on hybridisalin toipumismittaukset, jotka tällä hetkellä ovat keskimäärin 10 minuuttia 50 sekuntia. Tämän verran menee aikaa, kun leikkausali täysin puhdistunut.

Toinen merkittävä syy on sinisen valon vaikutus partikkeleihin. Mittausten perusteella ei havaittu mitään muutosta partikkelimääriin, oli meillä sininen valo päällä tai ei. Tämän vuoksi ilmastoinnin käyntiaikoja ei pystytä laskemaan ja näin ollen ei myöskään saavuteta energiasäästöjä kohteessa.

Myöhemmin selvitettävä asia voisi olla, että voisiko leikkaussalin lepotilan ilmanvaihtoa vielä pienentää, koska puhdistuminen täyteen valmiuteen kestää niin vähän aikaa. Lepotilan ilmanvaihdon yksi tärkeimmistä asioista on se, että painesuhteet likaiselle käytävälle eivät muutu ja riittävä paine-ero saavutetaan myös ilmavaihdon ollessa lepotilassa. Tällä muutoksella voisi saada jotakin energian säätöjä aikaiseksi.

Pohdinnan paikka on myös se, että kannattaako ylipäätänsä, energiansäästötoimenpiteitä tehdä sairaaloiden vaativiin tiloihin ja missä määrin? Mikäli suunnitteluratkaisut ja toteutus tehdään energianäkökulmasta oikein ja laadukkaasti, niin silloin rakentuu myös energiataloudellisesti oikeat ja turvalliset ratkaisut. Mikäli lähdetään liiaksi säästämään esimerkiksi ilmastoinnin ohjauksissa voi käydä niin, että saavutettu energiahyöty voi kääntyä potilasturvallisuuden kautta vielä hyvin kalliiksi ratkaisuksi.

Taloteknisten järjestelmien ensisijainen tehtävä on palvella toimintaa ja luoda olosuhteet laadukkaan toiminnan tukemiseen. Tässä keskeinen asia on, potilasturvallisuus ja sen takaaminen kaikissa vuorokauden tunneissa, vuoden jokaisena päivänä.

Kaikki energiansäästöohjelmat, mitkä liittyvät sairaalaan täytyy tehdä yhteistyössä käyttäjien eli kliinisen puolen asiantuntijoiden kanssa. Kaikissa ratkaisuissa on hyödynnettävä riittävää asiantuntemusta, varsinkin sairaaloiden vaativimpien toimintojen osalta.

11 Pohdinta

Hybridisalin olosuhteet, mikrobit sekä partikkelit ovat tällä hetkellä erittäin hyvällä tasolla, joten juurikaan mitään ylimääräistä mikrobikuormaa tiloissa ei ole. Tästä seuraa väistämättä kysymys, että onko sinisen valon tuoma hyöty riittävä näin puhtaisiin tiloihin? Sairaaloissa on paljon tiloja, kuten puhdastilojen henkilösulut, välinehuollon kokonaisuus, toimenpidehuoneet ja eristystilat, jotka lähtökohtaisesti ovat likaisempia tiloja, kuin leikkaussalit. Osassa näistä tiloista on myös mikrobien kontrollointi aivan arkipäivää. Voisiko sinistä valo käyttää esimerkiksi näissä edellä mainituissa kohteissa. Toisaalta sairaalan puhtaimpiin puhdastiloihin sitä taas on turha rakentaa, sillä ne ovat jo valmiiksi niin puhtaita tiloja, että niistä ei mikrobeja juurikaan löydy.

Taloudellisesti ei ole myöskään järkevää sijoittaa sinisen valon valaisimia muihin, kuin tärkeimpiin ja kriittisimpiin tiloihin. Sellaiset tilat, joissa oleskellaan 24/365 ei myöskään tule kysymykseen, koska sinisen valon aikana tiloissa ei voi työskennellä.

Kuinka Keski-Suomen sairaanhoitopiirissä sitten kannattaisi tehdä jatkotutkimuksia sinisen valon hyödyistä? Olen sitä mieltä, että hiukkasiin ei kannata tuhlata energiaa ja niiden tutkimiseen, vaan tutkimuksia kannattaisi tehdä mikrobien vähentymisestä. Myöskään ilmanäytteisiin ei juurikaan kannata panostaa, koska ne olivat mittauksissa hyvällä tasolla, vaikka leikkaussalia ei ollut siivottu. Minun mielestäni sairaanhoitopiirin kannattaisi panostaa erityisesti pintanäytteisiin ja siihen voiko sinistä valoa hyödyntää leikkausten välissä. Esimerkiksi, jos toiminnassa on muutaman tunnin katko

keskellä päivää, voisiko silloin käyttää sinisen valon tuomaa mahdollisuutta hyväksi. Minun mittauksissani käytettiin kuuden tunnin valotusaikaa, mikä tulos olisi ollut esimerkiksi kolmen tunnin valotusajalla? Olisiko järkevää käyttää sinistä valoa aina leikkaussalin siivouksen jälkeen, mikäli leikkausprosessi antaisi siihen mahdollisuuden.

Kuinka sitten pääsin opinnäytetyön tavoitteisiin? Mielestäni pystyin varsin luotettavasti osoittamaan sen, että sinisestä valosta ei ole hyötyä partikkelien vähenemisessä. Tulokset olivat mielestäni varsin kiistattomat sen suhteen.

Partikkelien suhteen sininen valo osoitti sen hyödyn, mitä siltä odotettiinkin. Lisätutkimusten kautta ja tulevien vuosien saatossa voi olla, että sininen valo yleistyy normaaleja sairaalahuoneita puhtaammissa tiloissa. Omassa opinnäytetyössä pääsin tavoitteeseeni, jossa tarkastelin sinisen valon tehokkuutta mikrobien torjunnassa.

Kolmas tutkimuskysymykseni oli, että voidaanko energiaa säästää, mikäli tutkimukset osoittavat, että sininen valo toimii käytännössä. Tähän kysymykseen voin todeta, että näiden mittausten perusteella, en voi suositella energiansäästötoimia puhtauden ja potilasturvallisuuden kustannuksella. Leikkaussalin puhtaus koostuu ennen kaikkea ilmanvaihtokertoimista, painesuhteista, laadukkaista suodattimista, hyvästä siivouksesta sekä leikkaussalihenkilöstön aseptisista toimintatavoista. Näiden lisäksi sininen valo voi olla tukena, mutta tämän varaan ei voi ensisijaisesti laskea leikkaussalin puhtautta.

Lähteet

Balaras, C. A., Dascalaki, E. & Gaglia, A. 2007. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. Energy and Buildings, Viitattu 2.12.2020. DOI 10.1016/j.enbuild.2006.09.004. Viitattu 2.12.2020.

BISCHOFF, P. KUBILAY, N. ALLEGRANZI, B. EGGER, M. GASTMEIER, P. 2017. Effect of laminar airflow ventilation on surgical site infections: a systematic review and meta-analysis. The Lancet Infectious Diseases. Viitattu 2.12.2020. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1473309917300592

CAO, G. NILSSEN, A. CHENG, Z. STENSTAD, L-I. RADTKE, A. SKOGÅS, J. 2019. Laminar airflow and mixing ventilation: Which is better for operating room airflow distribution near an orthopedic surgical patient? American Journal of Infection Control. Viitattu 2.12.2020. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196655318311441

Cook, G. & Int-Hout, D. 2009. Air motion control in the hospital operating room. ASHRAE Journal, Viitattu 2.12.2020. https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA201032309&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00012491&p=AONE&sw=w

DIN 1946-4. 2008. Ventilation and air conditioning, Part 4: VAC systems in buildings ad rooms used in health care sector. Deutsches Institut für Normerung.

Eklund J, Haahtela K, Huovinen P, Kiviranta J, Kuronen T, Laakso T, Lapinjoki S, Nummela L, Nurmi H, Ojajärvi J, Rauramaa V, Sairio E, Torniainen K, Vuorela P. Farmaseuttinen mikrobiologia. Suomen Farmaseuttinen Yhdistys ry. 1997.

Fimean verkkosivu. Viitattu 6.12.2020. https://www.fimea.fi/documents/160140/765540/29228_2015-05-28_Olosuhdekontrolli_Korhola.pdf

Friman T, Kivisalmi V. 2015. Laboratorion välinehuolto. Saarijärjen Offset Oy.

Granlundin verkkosivu. Viitattu 3.12.2020. https://www.granlund.fi/uutiset/leikkaussalien-puhtautta-pitaisi-mitata-saannollisesti/

Granlund leikkaussalisuunnitelma 2018

Halton, Sairaala Novan leikkaussalin validointimittaukset 2020.

Hermanson, E. 2012, Vastasyntyneen keltaisuus, Terveyskirjaston verkkosivu. Viitattu 6.12.2020. https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=kot00802

Hietanen M, Visuri R, Nyberg H. Ionisoimaton säteily – Ultravioletti- ja lasersäteily. Helsinki: Säteilyturvakeskus 2009.

Ilmatieteenlaitoksen verkkosivu. Viitattu 6.12.2020. https://space.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html

Kananen, J. 2009. Toimintatutkimus yritysten kehittämisessä. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy. Juvenes Print.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä : kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy. Juvenes Print.
Kananen, J. 2014. Laadullinen tutkimus opinnäytetyönä. Miten kirjoitan kvalitatiivisen opinnäytetyön vaihe vaiheelta. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy. Juvenes Print.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Miten kirjoitan kehittämistutkimuksen vaihe vaiheelta. Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy. Juvenes Print.

Kim M, Mikš-Krajnik M, Kumar A, Ghate V, Yuk H. Antibacterial effect and mechanism of high-intensity 405 ± 5 nm light emitting diode on Bacillus cereus, Listeria monocytogenes, and Staphylococcus aureus under refrigerated condition. J Photochem Photobiol B, Biol 2015. Viitattu 2.12.2020. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26398810/

SJÖHOLM, M. 2018. Sairaaloiden ja sairaanhoitopiirien tammi-joulukuu 2017. Kuntaliitto. Viitattu 1.12.2020. https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2018/1914-sairaaloiden-ja-sairaanhoitopiirien-tammi-joulukuu-2017

Led Tailor. Led Tailorin esitys 2019.

Lääkärikirja Duodecim 12.2.2020 infektiosairauksien erikoislääkäri Veli-Jukka Anttila; Viitattu 12.12.2020. https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01042.

Ojasalo K, Moilanen T, Ritalahti J. 2015. Kehittämistyön menetelmät. Helsinki: Sanoma Pro Oy

Ositumin verkkosivu. Viitattu 1.1.2021. https://www.ositum.fi/Mikrobilaboratorio.

Rakennustieto Oy. 2012. LVI 31-10507. Hiukkassuodatuksen peruskäsitteet.

Rantala A, Wiik H, Jakobsson A, Teirilä I. 2005. Hygienia kirurgisessa toiminnassa. P Kujala, E Kolho, A Rantala, M Ratia, R Vuento, S Hellstén, toim. Infektioiden torjunta sairaalassa, 5. painos. Helsinki: Suomen Kuntaliitto.

Roy M-C. 1997. The operating theater: a special environmental area. In: Wenzel RP, ed. Prevention and control of nosocomial infections, 3rd ed. Baltimore, MD: William & Wilkins.

Saano S, Naaralahti T, Helin-Tanninen M, Järviluoma E. Sairaalafarmasia. Farmasian opiskelijayhdistys Fortis ry. 2005.

Sairaala Novan verkkosivu: Viitattu 12.1.2021. http://www.ks2021.fi/uudistuksen-karkihankkeet/uusi-sairaala-valmistuu-vuonna-2020/.

Sadrizadeh, S., Tammelin, A., Nielsen, P. V. & Holmberg, S. 2014. Does a mobile laminar airflow screen reduce bacterial contamination in the operating room? A numerical study us-ing computational fluid dynamics technique. Patient Safety in Surgery. Viitattu 11.11.2020. DOI 10.1186/1754-9493-8-27.

Sairaalaliitto. Energiansäästö ja sairaalahygienia. Helsinki: Sairaalaliitto. 1990.

Seppänen O. 1996, Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo. LVI-kustannus Oy

SFS-EN ISO 14644-1. 2015. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Hiukkaspitoisuuden perusteella tehtävä puhtausluokitus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14644-3. 2019. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Metrologia ja testausmenetelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14644-4. 2011. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 14644-4. 2001. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 16890-1. 2016 Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osa 1: Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkasmaisen aineksen erotusasteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM).

SFS-EN ISO 1822-1:2019 High efficiency air filters (EPA, HEPA, ULPA) Part1: Classification, performance testing, marking. 7.

SIS/TS 39-2012. 2012. Mikrobiologisk renhet i operationsrum – Förebyggande av luftburen smitta – Vägledning och grundläggande krav. Stockholm: SIS Förlag AB.

Sisäilmauutisten verkkosivu, Viitattu 1.1.2021. sisailmauutiset.fi/maaraykset/ilmanvaihtosuodatinten-luokitus-muuttuu/

SJÖHOLM, M. 2018. Sairaaloiden ja sairaanhoitopiirien tammi-joulukuu 2017. Kuntaliitto. Viitattu 20.4.2020. https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2018/1914-sairaaloiden-ja-sai-raanhoitopiirien-tammi-joulukuu-2017

Suomen sairaalahygienialehti 28. vuosikerta numero 1/2010 s. 29-31. Viitattu 11.11.2021. https://docplayer.fi/4954171-28-vuosikerta-numero-1-2010-puhdas-kosketus.html.

Terveyden ja hyvinvointilaitoksen nettisivu. Viitattu 20.12.2020. https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/hoitoon-liittyvat-infektiot

Tammelin, A., Ljungqvist, B. & Reinmüller, B. 2013. Single-use surgical clothing system for reduction of airborne bacteria in the operating room. Journal of Hospital Infection. Viitattu 20.12.2020. DOI 10.1016/j.jhin.2013.03.007.

Van Gaever, R., Jacobs, V. A., Diltoer, M., Peeters, L. & Vanlanduit, S. 2014. Thermal comfort of the surgical staff in the operating room. Building and Environment. Viitattu 11.11.2020. DOI 10.1016/j.buildenv.2014.05.036.

Ympäristöministeriö. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta: ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö ISBN 978-951-37-6068-7.

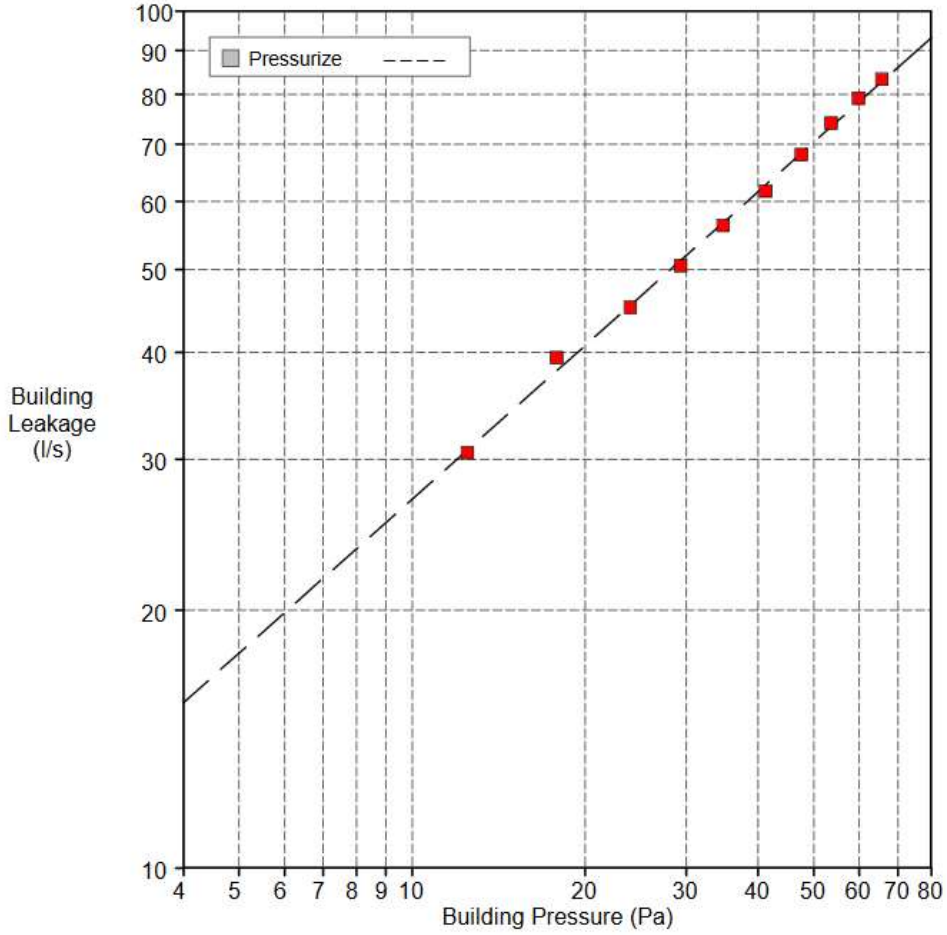
Ympäristöministeriö. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto: määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö ISBN 978-951-37-6068-7.

Liitteet

Liite 1. Tiiviystestaus

LEIKKAUSSALI L3.32

Date of Test: 24.10.2019 Test File: L3.32



Liite 2. Leikkaussalien mikrobimittaukset

Halton

Aktiiviset ilmanäytteet

Haltonintie 1-3
47400 KAUSALA
www.halton.com

Sairaala:	KSSHP, Uusi Sairaala	**Tilaaja:**	Mediq Suomi Oy
Osoite:	Hoitajantie 3, 40620 Jyväskylä	**Mittaaja:**	Aleksi Ahola
Mittalaite:	Sartorius Airport MD8 (167573) ID: 21002315	**Imuilmamäärä:**	50 l/min
Kalibroitu:	10.2.2020	**Näyteaika:**	10 min
Viljely laboratorio:	Finlab Tampere	**Gelatiini erä:**	17 528 190 193
Laboratorion yht. henk.	Marjukka Härkönen	**Agarmalja erä:**	eräpäivä 20.5.2020
puh.	+358 50 5058041	**Kasvatus aika ja lämpöt.**	48h @ 35°C

Näyte	Mittapäivä	cfu/malja	cfu/m³	Analysointipäivä	Tulos
Referenssi 11.5.2020	11.5.2020	0	-	13.5.2020	Negatiivinen
Referenssi 12.5.2020	12.5.2020	0	-	14.5.2020	Negatiivinen
Referenssi 13.5.2020	13.5.2020	0	-	15.5.2020	Negatiivinen
L3.32 1/2	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
L3.32 2/2	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
K3.30	11.5.2020	0	<2	13.5.2020	Negatiivinen
K3.31	11.5.2020	0	<2	13.5.2020	Negatiivinen
K3.33	11.5.2020	0	<2	13.5.2020	Negatiivinen
K3.11	11.5.2020	0	<2	13.5.2020	Negatiivinen
K3.12	11.5.2020	0	<2	13.5.2020	Negatiivinen
K3.14	11.5.2020	0	<2	13.5.2020	Negatiivinen
J3.10	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
J3.11	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
J3.13	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
H3.30	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
H3.31	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
H3.32	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
H3.20	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
H3.21	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
H3.23	12.5.2020	0	<2	14.5.2020	Negatiivinen
G3.51	13.5.2020	0	<2	15.5.2020	Negatiivinen
G3.52	13.5.2020	0	<2	15.5.2020	Negatiivinen
G3.54	13.5.2020	0	<2	15.5.2020	Negatiivinen
Muita huomioita	L3.32 näyte 1/2 leikkauselusalta L3.32 näyte 2/2 ulkovyöhykkeeltä				

Liite 3. Hybridisalin palautumisaika

Halton

Halton Oy
Haltonintie 1-3
47400 KAUSALA
www.halton.com

Palautumisaika

Kohde:	KSSHP, Uusi Sairaala		
Osoite:	Hoitajantie 3, 40620 Jyväskylä		
Huone:	Leikkaussali L3.32	Tilaaja:	Mediq
Mittapäiväys:	15.4.2020	Mittaaja:	Aleksi Ahola
Mittalaite:	TSI Aerotrack 9350	Kalibrointipäiväys:	3.2.2020
Mittalaite ID:	93S01606001	Näytetilavuus:	8.33 litraa / 10s
Pinta-ala:	84,63 m²	Tilan ilmamäärä:	2000 l/s
Korkeus:	3 m²	Tilavuus:	253,89 m³
Standardi:	14644-3:2005	Olotila:	Rakennusvalmis (as built)

Pitoisuus [%]	Hiukkasia [n/m³]	Piste 1	Piste2		
100	352 000	09:30	12:09		
1	3 520	19:20	23:59	**Keskiarvo**	Tavoite
Palautumisaika [mm:ss]		09:50	11:50	**10:50**	< 15:00

Palautumisajan perusteella laskettu ilmanvaihtokerroin [1/h]	*28,1*	*23,3*	***25,7***	*> 18*
Palautumisajan perusteella laskettu tehollinen ilmamäärä [l/s]	*1979*	*1645*	***1812***	

TULOS:	HYVÄKSYTTY