



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HEIDI KLEEMOLA
KIINTEISTÖN HYGIEENISYYTTÄ PARANTAVIEN TUOTTEIDEN
HYVÄKSYMINEN KAUPALLISIKSI TUOTTEIKSI
Diplomityö

Tarkastaja: professori Helge Lemmetyinen ja FT Merja Ahonen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneuvoston kokouksessa 9. huhtikuuta
2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Materiaalitekniikan koulutusohjelma

KLEEMOLA, HEIDI: Kiinteistön hygieenisyyttä parantavien tuotteiden hyväksyminen kaupallisiksi tuotteiksi

Diplomityö, 65 sivua

Elokuu 2014

Pääaine: Materiaalikemia

Tarkastaja: Professori Helge Lemmetyinen ja erikoistutkija Merja Ahonen

Avainsanat: hygienia, kosketuspinta, ilmastointijärjestelmä, vesiverkosto, tuotehyväksyntä, hyväksyntämenettely

Ihmiset viettävät nykyään yli 90 % ajastaan sisätiloissa; koulussa, työpaikalla ja kotona. Niinpä sisätilojen hygienian merkitys korostuu entisestään. Satakunnan ammattikorkeakoulun HYGTECH2-projekti keskittyy kehittämään hygieenisten sisätilojen konseptia. Tämä tutkimus on osa projektia ja sen tavoitteena oli kehittää tuotehyväksyntämenettely kiinteistön kosketuspintojen, vesijärjestelmän ja ilmastointijärjestelmän tuotteille. Hyväksynnän tarkoitus on saada tuotteet osaksi hygieenisen asumisen konseptia.

Tutkimuksessa käsiteltiin erikseen pinnat, ilma ja vesi. Tutkimus suoritettiin keräämällä yhteen maailmalla käytössä olevia erilaisten tuotteiden hyväksymismenettelyitä ja testausmenetelmiä. Lisäksi tutustuttiin tuotteita ja testausta käsitteleviin standardeihin ja sertifikaatteihin tarkoituksena löytää mahdolliset vaatimukset ja rajoitukset, joita tuotteisiin ja/tai testaukseen kohdistuu. Työssä tutkittiin myös laajasti erilaisten pintojen toimivuutta mikrobikasvuston vähentäjänä sekä ilma- ja vesijärjestelmien rakennetta ja niiden asettamia vaatimuksia mikrobiologiselle puhtaudelle.

Kosketuspinoille kehitettiin hyväksyntää varten testausmenetelmä, joka soveltuu kiinteistöjen kaikenlaisten kosketuspinoille. Menetelmää voidaan soveltaa testattavan kohteen mukaan valitsemalla erilaisia mikrobeja testaukseen. Testausmenetelmää ei voinut työn aikataulun puitteissa kokeilla oikeilla tuotteilla, joten sen toimivuus pitää todistaa vielä ennen käyttöön ottoa. Ilmastointi- ja vesijärjestelmien testausmenetelmän kehittäminen oli vielä haastavampi tehtävä niiden monimutkaisuudesta johtuen. Järjestelmien rakenne kuvattiin ja arvioitiin kummankin järjestelmän ongelmakohtien pohjalta, pohtien samalla mahdollisia parannuksia ja keinoja hygieenisyyden parantamiseksi. Järjestelmien monimutkaisuus esti vain yhden yhtenäisen testausmenettelyn luomisen, mutta loi kattavan näkemyksen ongelmista, joihin tulisi jatkotutkimuksissa paneutua.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Materials Science

KLEEMOLA, HEIDI: Approval of hygienic products for real estate in commercializing them

Master of Science Thesis, 65 pages

August 2014

Major: Material chemistry

Examiner: Professor Helge Lemmetyinen and Senior Researcher Merja Ahonen

Keywords: hygiene, touch surface, air ventilation system, water network, hygiene product, product approval

People spend over 90 % of their time indoors, where their health is threatened by various microbes, which might cause even serious illnesses. The goal of the HYGTECH-project is to create a concept for hygienic living. One part of that is developing and accepting different real estate products, e.g. door handles as HYGTECH-products. The goal of this study was to develop a testing method and a way to accept the products as hygienic products.

The products are divided into three categories: water products, touch surface products, and air ventilation products. Each category is studied individually. For touch surfaces the approval method is the most precise. There are many examples of different kinds of testing methods for surfaces. In this study the method has been developed especially for Finnish bacteria and for the products that have been tested in the pilot buildings included in the project. The developed test method was not tested with real products. The water related and air ventilation products differ from touch surface products. It was not possible to develop only a single method for testing the water and air ventilation products to be accepted as HYGTECH products. Air ventilation systems were studied in parts. Water networks are in many ways like air ventilation systems. They were studied in parts, too. Both systems were discussed in general according to their structure and the most usual microbiological problems in different parts.

The goal was to develop an accepting method for hygienic products in real estate. For touch surfaces the testing method was created, but not tested for any products due to lack of time. Water networks and air ventilation systems were studied in general and pointed out the critical points that could have microbes, which are harmful to people. This study creates an understanding of the field of hygienic structures in real estate and gives a basis for further studies.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on osa Satakunnan ammattikorkeakoulun HYGTECH2-Ratkaisuja sisäympäristöjen hygienian hallintaan -projektia. Projekti ja tämä työ olivat TEKESin ja projektiin osallistuneiden yritysten rahoittamia. Työn tavoitteena oli kehittää hyväksymismenetelmä hygieniaa parantaville tuotteille. Työn tavoite ja rakenne muokkautuivat sitä tehdessä. Työ osoittautui hyvin laajaksi ja haastavaksi kokonaisuudeksi, mutta sitäkin mielenkiintoisemmaksi. Haastavuuden vuoksi käsiteltävän materiaalin laajuus supistui ja osa työstä jäi pinnalliseksi.

Työn tarkastajana ja ohjaajana toimi professori Helge Lemmetyinen, jolle haluan esittää kiitokseni. Satakunnan ammattikorkeakoulun puolesta ohjaajinani toimivat Merja Ahonen ja Jarkko Heinonen. Heille haluan esittää suuret kiitokset kärsivällisyydestä ja ohjeista työn koko aikana. Kiitän myös muita työhöni osallistuneita Vesi-Instituutti WANDERin ja SAMKin projektin henkilöitä ohjauksesta ja kannustuksesta. Erityiskiitos kuuluu Jenni Inkiselle, Marko Kukalle ja Riika Mäkiselle.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni loputtomasta tuesta ja kannustuksesta koko opiskeluideni ajan. Iso kiitos kuuluu myös ystäville, tuttaville ja kaikille, jotka ovat minua tukeneet ja kannustaneet.

Porissa

Heidi Kleemola

SISÄLLYS

Abstract	iii
Termit ja lyhenteet sekä niiden määritelmät	vii
1 Hygieenisuus arjen ympäristöissä	1
1.1 Mikrobin maailmassa antimikrobisia tuotteita	1
1.2 Kiinteistöjen hygieniakonsepti -hanke	2
1.3 Kohti hyväksytyjä tuotteita	3
1.4 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	3
1.5 Tutkimusmenetelmät	4
1.6 Tutkimuksen rakenne	4
2 Tuotteiden ja materiaalien hyväksymismenettelyt	5
2.1 Hyväksymismenettelyt yleisesti	5
2.2 Pakollinen hyväksymismenettely	5
2.3 Vapaaehtoisia hyväksymismenettelyitä	6
2.3.1 Yhdysvaltojen Ympäristönsuojeluvirasto EPA	7
2.3.2 OECD-The Organization for Economic Co-operation and Development	12
2.3.3 EN-13697-standardista muunnettu testausmenetelmä	15
2.3.4 Nordic Poly Mark-laatumerkki	17
2.3.5 LEED	18
2.4 Huomioita hyväksymismenettelyistä	19
3 Materiaalit ja mikrobit	20
3.1 Materiaalien hygieenisuus	20
3.2 Mikrobit ympärillämme	22
4 Tutkimuksen lähtökohdat	25
4.1 Tutkittavat kohteet	25
4.2 Tutkittavat tuotteet ja ratkaisut	25
4.3 Pilottikohteet	26
4.3.1 Teknologiatalo Sytytin	26
4.3.2 DiaVilla	27
4.3.3 Satakunnan ammattikorkeakoulu	27
4.3.4 Satakunnan keskussairaala	28
4.3.5 Omakotitalo	28
4.3.6 Päiväkoti Petäjäinen	28
5 Testausmenetelmän kehittäminen ja hyväksymismenettely	29
5.1 Yleistä hyväksynnästä	29
5.2 Kosketuspintojen testaus	29
5.2.1 Kosketuspintojen näytteet	29
5.2.2 Käytettävät bakteerit ja niiden esivalmistelut	30
5.2.3 Pintojen esivalmistelut	31
5.2.4 Testaus	32

5.2.5	Tulosten raportointi.....	34
5.2.6	Kelpoisuus käyttökohteeseen.....	34
5.3	Ilmastointijärjestelmä ja sen hygienia.....	35
5.3.1	Ilmastointijärjestelmän rakenne.....	35
5.3.2	Ilmastointijärjestelmän puhtaus.....	36
5.3.3	Puhtausluokat.....	37
5.3.4	Puhtauden tarkastaminen ja arviointi.....	38
5.3.5	Ilmastointijärjestelmien mikrobiologisesti kriittiset paikat.....	38
5.4	Vesijärjestelmä ja sen hygienia.....	43
5.4.1	Vesijärjestelmän rakenne.....	44
5.4.2	Juomavesiverkostoon liittyvät ohjeistukset ja määräykset.....	45
5.4.3	Vedestä löytyvät mikrobit.....	46
5.4.4	Putkiston rakenteen aiheuttamat mikrobiologiset ongelmat.....	47
5.4.5	Mittalaitteita ja veden puhdistimia.....	48
5.4.6	Ratkaisuja havaittuihin ongelmiin.....	48
5.5	Hyväksyjä ja testauksen suorittaja.....	49
6	Tutkimuksen arviointi.....	51
6.1	Hyväksymismenettelyn kehittäminen.....	51
6.2	Jatkokehitys.....	51
7	Yhteenveto.....	53
	Lähteet.....	55

TERMIT JA LYHENTEET SEKÄ NIIDEN MÄÄRITELMÄT

AATCC	American Association of Textile Chemist and Colorist
Agar	Merilevästä peräisin oleva polysakkaridi
Biosidi	Eläviä organismeja tuhoava aine
USA EPA	United States Environmental Protection Agency
GLP	Good Laboratory Practice
HYGTECH	Kiinteistöjen hygieniakonsepti
Inokulaatio	Bakteerien siirrostaminen
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development
Pestisidi	Tuholaismyrkky
Pmy	Pesäkkeitä muodostava yksikkö
PEX	Ristisilloitettu polyeteeni.
SAMK	Satakunnan ammattikorkeakoulu
TSA	Tryptic soy agar
TuKKK	Turun yliopiston Kauppakorkeakoulu
WSP	Water Safety Plan, turvallisuussuunnitelma talousvedelle

1 HYGIEENISYYS ARJEN YMPÄRISTÖISSÄ

1.1 Mikrobien maailmassa antimikrobisia tuotteita

Ihmisen elinympäristön tarkastelussa päähuomio kohdistuu ilman, vesistöjen ja maaperän laatuun. Ne ovat eittämättä tärkeitä, mutta ei tule unohtaa, että tänä päivänä ihmiset viettävät suurimman osan elämästään sisätiloissa; työpaikalla, koulussa ja kotona. Sisätilojen suhteen huomion vievät homeongelmat ja niistä aiheutuvat monet terveydelliset haitat. Sisätiloissa ihmisten terveyttä uhkaavat lisäksi monet muut tekijät kuten sairauksia aiheuttavat mikrobit, jotka kulkeutuvat paikasta toiseen paitsi ilman välityksellä myös kosketuksen ja veden kautta. Mikrobit ovat luonnollinen osa elämää ja niiden kanssa eletään enimmäkseen sulassa sovussa. Jotkut mikrobit ovat elämälle välttämättömiä. Kun tarkastellaan erikseen ihmiselle haitallisia mikrobeja, kiinnittyy huomio niiden esiintymiseen tietyissä olosuhteissa ja paikoissa. Yleensä tällaisia paikkoja ovat julkiset tilat ja erityisesti tilat, joissa liikkuu paljon ihmisiä. Kun näihin olosuhteisiin kytketään jo mikrobeista sairastuneet ihmiset, ovat mikrobeista aiheutuvat riskit huipussaan. Tällaisista tiloista hyvänä esimerkkinä ovat sairaalat, koulut ja päiväkodit.

Sisätilojen hygieniää on tutkittu sekä mikrobien esiintymisen että niitä tuhoavien materiaalien kannalta jo vuosia. Kuitenkin tutkimus mikrobeja tuhoavien eli antimikrobisten materiaalien toimivuudesta julkisissa tiloissa, erilaisina rakennusteknisinä ratkaisuuina ja tuotteina on vähäistä. Tämä puute on huomattu ja sen ratkaisemiseksi on luotu HY-GTECH-hanke. Hanke keskittyy hygieniää parantavien ratkaisujen etsimiseen ja kiinteistön hygieniakonseptin kehittämiseen. Hanke yhdistää ensimmäistä kertaa samoissa kohteissa veden, sisäilman ja pintojen mikrobiologisen tutkimuksen. Yhtenä hankkeen osana kehitetään rakennusteollisuuden tuotteiden hyväksymismenettelyä, joka on tämän tutkimuksen aiheena. Hyväksymismenettely on tärkeä osa konseptia, sillä sen avulla tuotteiden teho todennetaan ja luodaan asiakkaalle tieto tuotteen antimikrobisista ominaisuuksista. Hyväksymismenettely koskee ilman ja veden kanssa kosketuksissa olevia tuotteita sekä kosketuspintoja. Tuotehyväksyntämenettely nousee erityisen tärkeään rooliin silloin, kun hygieniakonsepti halutaan tuoda asiakkaille ja yrityksille liiketoimintakonseptina.

1.2 Kiinteistöjen hygieniakonsepti -hanke

Kiinteistöjen hygieniakonsepti HYGTECH on Satakunnan ammattikorkeakoulun (SAMK) Tekes-osarahoitteinen hanke. Hanke on jaettu kahteen projektiin, HYGTECH1 ja HYGTECH2. Tämä diplomityö on osa projektia HYGTECH2-ratkaisuja sisäympäristöjen hygienian hallintaan. Projektin päätoteuttajana on Satakunnan ammattikorkeakoulun energian ja rakentamisen osaamisalue ja erityisesti siellä Vesi-Instituutti WANDER. Projektiin osallistuvat rinnakkaishankkeilla myös Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitoksen Kankaanpään yksikkö ja Turun yliopiston Kauppakorkeakoulun Porin yksikkö (TuKKK). Tampereen teknillinen yliopisto tutkii projektin anturitekniikkaa ja Turun yliopiston kauppakorkeakoulu on mukana konseptin kehittämisessä ja kaupallistamisessa. HYGTECH2-projektin kesto on vuosi ja kolme kuukautta.

Hankkeen tavoitteena on luoda ratkaisuja sisätilojen hygieenisyyden hallintaan. Ensimmäisessä osassa hanketta (HYGTECH1) kartoitettiin vaihtoehtoja sisätilojen hygieenisyyden lisäämiseen ja hankkeen toisessa projektissa (HYGTECH2) mietitään ratkaisuja hygieenisyyden hallintaan. HYGTECH1-projektissa toteutettiin antimikrobisisten tuotteiden markkinatutkimus ja kartoitettiin jo olemassa oleva tieto eri materiaalien toimivuudesta antimikrobisina pintoina. Kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään kuparin ja hopean olevan antimikrobisia materiaaleja. Markkinatutkimuksessa esille nousi myös *Active*-pinnoite, joka sisältää hopeaa. Ensimmäisessä projektissa tehtiin pilottikohteissa mikrobiologisia tutkimuksia, joiden avulla ratkaisuja voitiin testata tositilanteissa. Tutkimuksia tehtiin muun muassa päiväkodissa, omakotitalossa ja toimistorakennuksessa. Ensimmäisen projektin aikana pilottikohteista oli mukana vain osa. Toisessa vaiheessa tutkimukset jatkuivat ja uusia pilotteja tuli mukaan. Ensimmäisen projektin tuloksia hyödynnetään toisen vaiheen tutkimuksissa ja lopputuloksissa.

HYGTECH2-projektin käytännön tavoitteiksi on määritelty neljä erillistä osatavoitetta. Ensimmäisenä osatavoitteena on tutkia sisätilojen ilman, veden ja kosketuspintojen, mikrobiologiaa ja näiden hygieenisten perusedellytysten teknisiä ratkaisuja sekä pilottikohteiden mikrobiologiaa. Toinen osatavoite on tutkia ja integroida teknisiin antimikrobisiin rakenneratkaisuihin jatkuvatoimista mittaustekniikkaa ja mittausten seurantapalvelua. Kolmantena osatavoitteena on tutkia tilan käyttäjien vaikutusta sisäympäristön hygieniaan sekä ottaa huomioon käyttäjien toiveet hygieenisille ratkaisuille. Viimeisenä osatavoitteena on tutkia hygieniakonseptia kokonaisuutena. Konsepti yhdistää tuotteet, mittaustekniikan ja palvelukonseptin. Kuluttajille ja rakennuttajille tämä on valmis paketti sisältäen hygieenisiä ratkaisuja sisätiloihin. Projektissa halutaan kerätä kokonaisuus hygieenisistä ratkaisuista, joita asiakas voi soveltaa kohteelleen ja käyttäjille sopivaksi. Konseptin avulla asiakas voi ottaa ratkaisut huomioon jo rakennusvaiheessa. Turun yliopiston kauppakorkeakoulu on mukana konseptin kaupallistamisessa ja mark-

kinoinnissa omalla rinnakkaishankkeellaan. Tulevaisuudessa tästä voi syntyä uusi liiketoimintakonsepti, joka edistää myös satakuntalaista liiketoimintaa projektin tuotteiden kautta.

1.3 Kohti hyväksytyjä tuotteita

Hyväksyntämenettely tähtää tuotehyväksyntään, jonka tarkoituksena on osoittaa tuotteen kelpoisuus tiettyyn käyttökohteeseen. HYGTECH-tuotteiden hyväksyntämenettelyn tulee olla sopiva sekä pintojen, ilman että veden kanssa kosketuksiin tulevien tuotteiden hyväksyntään. Hyväksynnän toteuduttua tuote saa HYGTECH-merkinnän, joka ilmoittaa tuotteen täyttävän asetetut vaatimukset. Testauksen tulee olla ulkopuolisen riippumattoman organisaation suorittama. Jotta tuote säilyttäisi HYGTECH-merkinnän, tulee sille tasaisin väliajoin tehdä kelpoisuusvaatimukset täyttävä laaduntarkistus. Myös laaduntarkistuksen tulee olla ulkopuolisen tahon suorittama.

Hyväksymistä edellyttävien tuotteiden erilaisuus ja kirjo tekevät hyväksymismenettelyn laatimisesta haasteellisen. Ilma-, pinta- ja vesisovelluksiin käytettäviä tuotteita käsitellään erikseen, jotta kaikki niiden rajoitukset ja ominaisuudet voidaan ottaa huomioon. Kosketuspintoille kehitetään tarkka testausmenetelmä. Kosketuspintoja ovat muun muassa ovenpainikkeet, tukikahvat ja pöytätasot. Ilmastointijärjestelmien tarkastelu lähtee melko yleiseltä tasolta. Koska rakennusten ilmastointi on hyvin laaja ja sisältää monia eri komponentteja, poimitaan sieltä mikrobiologian kannalta muutamia kriittisiä kohtia. Ilmastointijärjestelmiä peilataan sairaalan hygieniatasoon ja pohditaan kehitettäviä kohtia laitteistoissa. Vesijärjestelmien testausmenettely jää myös melko yleiselle tasolle, koska on hyvin vaikeaa hallita koko vedenkulkureittiä ja kaikkia mikrobiologisia ongelmia, joita siellä ilmenee. Työssä keskitytään lähinnä kiinteistöjen veden kulkuun ja tutkitaan siinä esiintyviä ihmiselle haitallisia tapahtumia. Veden laatua tarkastellaan mikrobien esiintymisen ja leviämisen näkökulmasta ja mietitään mitä kiinteistöltä voidaan edellyttää, jotta päästään parempaan veden mikrobiologiseen laatuun.

Jotta tuotteille voidaan myöntää hyväksymismerkintä, on niiden käyttötarkoitus ja kokoonpano ymmärrettävä ja hallittava. Tutkimuksessa avataan siis tyypillisimpien järjestelmien kokoonpanoja ja tarkastellaan niiden ominaisuuksia.

1.4 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda HYGTECH-tuotteille oma hyväksymismenettely. Tämä on tärkeä osa projektia. Menettelyn tulee olla toimiva ja sopiva juuri projektissa tutkituille ja niiden kaltaisille tuotteille. Hyväksymismenettelyn tarkoitus on yhteinäistää HYGTECH-tuotteet ja yhdellä merkillä luoda asiakkaalle mielikuva tuotteiden

tehosta. Menettelyn tulee palvella projektissa luotavaa konseptia ja sen tarkoitusta. Tutkimuksessa otetaan huomioon myös tahoon, jonka tulee valvoa ja toteuttaa käytössä olevaa hyväksymismenettelyä.

Tämä tutkimus on selkeä kokonaisuus osana isompaa projektia. Kehitettävä menettely käsittää tuotteet, joita käytetään huoneen pinnoilla, ilmastointijärjestelmässä ja vedenkäsittelyssä. Tuotteet ovat projektiin osallistuvien, suurimmalta osalta Satakunnan alueelta olevien yritysten tuotantoa. Työstä rajattiin ulkopuolelle kehitettävän menettelyn testaus käytännössä. Testaus ei ole mahdollinen, koska HYGTECH-projektissa kehitettävä konsepti on keskeneräinen. Testausmenettelyn kokeilu suljettiin myös ajankäytön takia työn ulkopuolelle. Konseptin käyttöönotosta ja hyväksymismenettelyn kokeilusta vastaa tah, joka lähtee kehittämään ajatusta eteenpäin. Tutkimuksessa kehitetään tarkka hyväksymismenettely kosketuspinoille. Ilmastointijärjestelmien hygieniata pohditaan järjestelmän muutaman kriittisen osan kannalta. Vesijärjestelmien hygieniata pohditaan kokonaisuutena ja nostetaan esille tiettyjä veden mikrobiologiseen laatuun vaikuttavia tekijöitä.

1.5 Tutkimusmenetelmät

Tässä diplomityössä tutkimusmenetelmänä painottuu kirjallisuusanalyysin käyttöön. Aluksi tutkitaan antimikrobisia tuotteita koskevia standardeja sekä käytössä olevia hyväksymismenettelyitä ja arvioidaan niiden soveltuvuutta HYGTECH-tuotteille. Sen jälkeen tutustutaan myös muiden kuin hygieniata parantavien tuotteiden hyväksymismenettelyihin ja testausstandardeihin. Koska antimikrobisille tuotteille ei ole olemassa valmista hyväksymismenettelyä, käytetään sen luomisessa hyväksi jo olemassa olevia muihin tarkoituksiin kehitettyjä testausmenetelmiä ja menettelyitä soveltuvin osin. Tutkitun tiedon perusteella on tarkoitus luoda oma hyväksymismenettely, joka soveltuu nimenomaan HYGTECH-tuotteille. Pieni osuus tutkimusaineistosta saadaan haastatteluilla. Haastattelujen perusteella on lähinnä tehty tutkimuksen etenemiseen liittyviä valintoja eikä se varsinaisesti vaikuta syntyneeseen hyväksymismenettelyyn.

1.6 Tutkimuksen rakenne

Tämän työn ensimmäisessä luvussa johdatellaan lukija aiheeseen ja kerrotaan tutkimuksen taustasta. Toiseen ja kolmanteen lukuun on koottu hyväksymismenettelyiden, testausmenetelmien, materiaalien ja mikrobien teoriaa. Tutkimuksen neljännessä luvussa on kerrottu tutkimuksen lähtökohdat ja viidennessä kuvattu kehitetty hyväksymismenettely. Kuudes luku keskittyy tutkimuksen arviointiin ja tulevaisuuden pohdintaan ja seitsemännessä luku esittää tutkimuksen yhteenvedon.

2 TUOTTEIDEN JA MATERIAALIEN HYVÄKSYMISEN MENETTELYT

2.1 Hyväksymismenettelyt yleisesti

Tuotteiden ja materiaalien hyväksymismenettelyitä on monia ja niillä on hyvinkin erilaisia tarkoituksia. Osa niistä on maailmanlaajuisia, osa kansallisia. Menettelyllä voidaan hyväksyttää joko materiaaleja tai tuotteita tai molempia. Joissakin tapauksissa hyväksymismenettelyt ovat pakollisia ja toisissa taas vapaaehtoisia. Vapaaehtoiset menettelyt tuovat yleensä lisäarvoa tuotteelle ja kertovat käyttäjälle usein jopa yhdellä merkillä tuotteen ominaisuuksista tai sen turvallisuudesta. Pakolliset hyväksymismenettelyt ovat joko valtioiden tai esimerkiksi Euroopan Unionin asettamia. Pakollinen hyväksymismenettely merkitsee sitä, että tuotetta tai materiaalia ei voida kaupallisesti käyttää tai myydä ennen hyväksyntää. Hyväksymismenettelyitä voi ylläpitää valtakunnallinen tai yksityinen taho tai valtio. Yleensä menettelyissä on tarkkaan määritelty hyväksymisestä tausta toteuttava yritys tai ainakin hyväksynnän myöntävät tahot. Tässä osuudessa on pääosin keskitytty vapaaehtoiisiin hyväksymismenettelyihin ja niihin liittyviin testausmenetelmiin, koska tutkimuksessa kehitettävä menettely tulee olemaan vapaaehtoinen. Kuitenkin pakollisista menettelyistä on esitetty esimerkki, jotta eri menettelyiden erot tulevat ilmi.

2.2 Pakollinen hyväksymismenettely

Pakolliset hyväksymismenettelyt ovat usein joko valtion tai jonkun muun virallisen tahon asettamia. Pakollisten menettelyiden avulla voidaan varmistaa tuotteen tai materiaalin turvallisuus tai jokin muu tärkeä ominaisuus. Pakollisista hyväksymismenettelyistä hyvänä esimerkkinä on eurooppalainen CE-merkki. (Inspecta 2013)

CE-merkintää käytetään tietyissä tuoteryhmissä osoittamaan tuotteiden täyttävän direktiivien vaatimukset. Merkinnällä osoitetaan tuotteiden ominaisuuksien yhdenmukainen vertailu. Merkintä kattaa myös tuotteiden turvallisuus- ja terveysominaisuudet sekä mahdollistaa tuotteiden vapaan liikkumisen Euroopan talousalueella. Merkki on käytössä muun muassa rakennustuotteille, terveydenhuollon laitteille ja tarvikkeille, koneille, hisseille ja leluille. Joissain tuoteryhmissä merkin saamiseksi vaaditaan ulkoisen tes-

tauslaitoksen suorittamaa testausta. Suomessa tällaista testausta toteuttavat esimerkiksi Inspecta Oy ja Teknologian tutkimuskeskus VTT. (Inspecta 2013)



Kuva 1. CE-merkki. (Ympäristöministeriö 2013)

Rakennustuotteiden CE-merkintä eroaa muista tuoteryhmistä. Rakennustuotteiden CE-merkintä ei suoraan takaa määräysten täyttymistä, vaan tuotteen käyttäjän on itse varmistettava, että tuote täyttää viranomaisten vähimmäisvaatimukset käyttökohteessa. CE-merkintä ei ole laatumerkki eikä takaa tuotteen käytettävyyttä rakennuskohteessa. Niille rakennustuotteille, joille on laadittu harmonisoitu tuotestandardi, tuli CE-merkintä pakolliseksi 1.7.2013. CE-merkinnällä vakuutetaan rakennustuotteen ominaisuuksien olevan eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaiset. Korkean turvallisuusvaatimuksen omaaville rakennustuotteille vaaditaan ilmoitetun sertifiointilaitoksen sertifiointi, jotta ne saavat CE-merkin. CE-merkki on esitetty kuvassa 1. (Inspecta 2013)

2.3 Vapaaehtoisia hyväksymismenettelyitä

Vapaaehtoiset hyväksymismenettelyt koostuvat usein monista osista ja ovat hyvinkin erilaisia. Vapaaehtoisilla menettelyillä voidaan hyväksyttää pelkkä materiaali tai kokonainen tuote. Hyväksymismenettelyt koostuvat testauksesta, hyväksynnän hakemisesta valtuutetulta taholta ja mahdollisesta laadunvalvonnasta tai kontrollitestauksesta myöhemmin. Testaus toteutetaan usein jonkun määrätyn standardin mukaan ja menettelyssä määritellyssä laitoksessa. Testaukset ovat tarkasti kuvattuja laboratoriotestejä ja saatujen tulosten analysointitapa on kuvattu standardeissa. Hyväksymismenettelyn kulku on kuvattu yleensä tarkasti. Usein menettelyihin kuuluu myös materiaalin tai tuotteen valmistusprosessin ulkoinen ja sisäinen laadunvalvonta. Sertifikaatin tai hyväksynnän antaa yleensä sertifiointielin tai testauksesta huolehtiva laitos. Menettelyihin voi kuulua myös jatkuvaa valmistusprosessin ja tuotteiden laadun valvontaa ja usein myös ennalta määritettyjä kontrollitarkastuksia.

2.3.1 Yhdysvaltojen Ympäristönsuojeluvirasto EPA

US EPA eli United States Environmental Protection Agency on Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto, jonka tarkoituksena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä. EPA:n toiminta ulottuu kuitenkin ympäri maailman. EPA muun muassa testaa ja hyväksyy materiaaleja, jotka jatkuvasti tappavat bakteereita. Kosketuspinnnoissa käytetty kupari on ainoa EPA:n hyväksymä ja rekisteröimä antimikrobinen materiaali. Kuparia varten onkin kehitetty oma testausprotokolla. Tällä hetkellä erilaisia hyväksytyjä kupariseoksia on EPA:lla rekisteröitynä lähes viisisataa. (EPA 2013)

EPA:n hyväksynnällä on neljä vaatimusta, jotka materiaalin pitää täyttää. Vaatimukset on suunniteltu kuparimateriaalien hyväksymistä varten. Ensimmäinen vaatimus on kolmeosaisen testausprotokollan toteutus ja läpäisy. Ensimmäisessä osassa protokollaa tarkoituksena on todistaa pinnan toimivuus puhdistajana. Toisessa osassa todistetaan pinnan itsestään puhdistuva ominaisuus toistuvissa kontaminaatioissa ja kolmannessa osassa jatkuva bakteerien vähenemisen teho. Protokolla on kuvattu seuraavissa kappaleissa tarkemmin. Toinen rekisteröinnin vaatimus on, että tuote testataan viidellä eri bakteerikannalla ja se läpäisee ne kaikki. Testauksessa käytettävät bakteerit ovat:

- *Staphylococcus aureus*
- *Enterobacter aerogenes*
- *Escheria coli* O157:H7
- *Pseudomonas aeruginosa*
- Metisilliini resistentti *Staphylococcus aureus*

Luettelon bakteerikantoja käytetään testauksessa, koska ne ovat yleisimpiä taudinaiheuttajia ihmisväestössä. Kolmas vaatimus EPA:n hyväksyntään on viiden eri kupariseoksen testaus samanaikaisesti. Koska rekisteröinti on suunniteltu kuparimateriaaleille, kuparin määrän seoksissa tulee olla riittävän suuri. Viidessä testattavassa kupariseoksessa on eri määrät puhdasta kuparia ja muita aineita. Yhteensä näytteitä tulee olla 3000 kappaletta, jotka on valmistettu kahdessa tai kolmessa eri erässä. Neljäntenä vaatimuksena on, että testit suoritetaan EPA:n hyväksymässä GLP-laboratoriossa (Good Laboratory Practise). GLP-laboratorio on hyväksytty laitos, joka täyttää EPA:n määrittämät laboratoriovaatimukset. EPA antaa ohjeet kuparipintojen puhdistukseen ja desinfiointiin sekä korostaa, että antimikrobisen materiaalin käyttö ei oikeuta korvaamaan tartunnoilta suojaavia käytäntöjä kuten käsien pesua ja siivousta. (Antimicrobial Copper 2012)

Protokollan ensimmäinen testi

Ensin toteutetaan testaus kuparin toimivuudesta puhdistajana *S. aureus*- ja *E. aerogenes*-bakteereita vastaan ja vasta tämän jälkeen aloitetaan testaus muilla mikro-

organismeilla. Pintoina käytetään kuparia ja verrokkina ruostumatonta terästä. Kupari-pintanäytteet ja ruostumattoman teräksen vertailunäytteet leikataan neliötuuman palasiksi. Pintanäytepalaset puhdistetaan alkoholilla ja deionisoidulla vedellä ja niiden annetaan kuivua. Ennen käyttöä testeissä pinnat vielä steriloidaan ja asetetaan muovisiin petrimaljoihin. Jokaista testattavaa mikro-organismia kohden testataan jokaisesta materiaalista viisi pintanäytettä. Kantaliuoksesta otetaan erilleen osa, joka lisätään sopivaan liuokseen ja inkuboidaan 24 ± 2 tuntia $35-37\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Siirrostussilmukalla valmistetaan päivittäin kolme peräkkäistä viljelmää. Yli 15 päivän ikäisiä viljelmiä ei voi käyttää enää testissä. *E. aerogenes*-bakteeri valmistellaan hieman eri tavalla. Kantaliuoksesta otetaan TSB-kasvatusmediumille (Tryptic Soy Broth) osa ja sitä inkuboidaan 24 ± 2 tunnin ajan $25-30\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Silmukalla siirretään päivittäin kolme peräkkäistä viljelmää kasvatusmediumille. Kaikki testiorganismit sekoitetaan hyvin Vortex-sekoittajalla ja annetaan asettua. Imetään suspension kaksi ylempää kolmannelta erilleen käytettäväksi testeissä. Näihin lisätään vielä orgaanista ainetta, joka sisältää Triton X-100-ainetta. Tämä helpottaa viljelmien levittämistä. (EPA 2013)

Kaikki pinnat inokuloidaan 0,02 millilitralla kasvatettua viljelmää (48 ± 4 tuntia). Viljelämä levitetään pinnalle niin, että reunoille jää noin puolen senttimetrin tyhjä tila. Pintojen annetaan kuivua 20-40 minuuttia. Pintojen annetaan altistua bakteereille 120 minuutin ajan, minkä jälkeen ne siirretään 20 ml:aan neutralisointiliuosta. Astioita sonikoidaan ja pyöritellään, jotta liuos sekoittuu. Tunnin sisällä sonikoinnista jokaisesta näyteastiasta valmistetaan liuosarja kymmenkertaisesta $10\ 000$ -kertaiseen liuokseen (10^{-1} - 10^{-4}). Jokaisesta laimennoksesta maljataan pintalevitystekniikalla rinnakkaisnäytteet TSA-maljoille (Tryptic soy agar). Maljoja inkuboidaan 48 ± 4 tunnin ajan $35-37\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Poikkeuksena *E. aerogenes*-bakteerilla inokuloidut pinnat, joista valmistettujen näytteiden annetaan kasvaa 48 ± 4 tunnin ajan $25-30\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Maljoista lasketaan eloonjääneet pesäkkeitä muodostavat mikro-organismit. (EPA 2013)

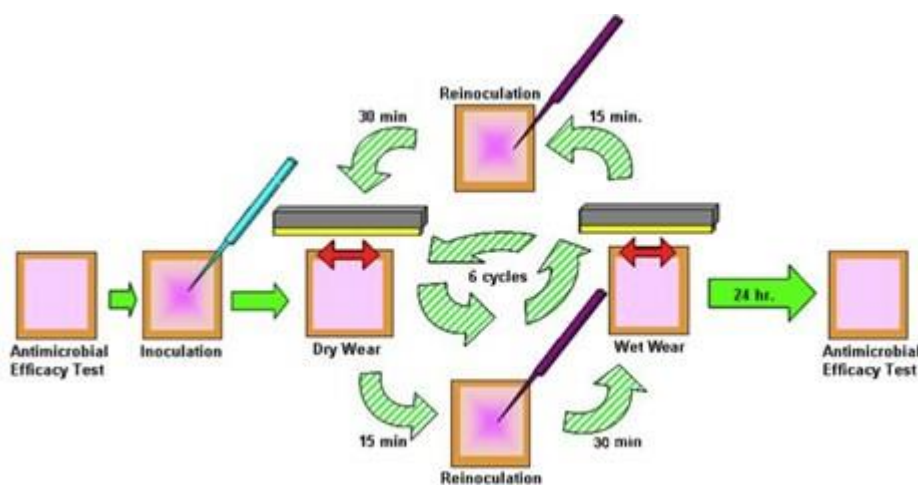
Testiin on määritelty kontrollit, jotka kertovat eri toimenpiteiden hyväksymisvaatimukset. Testikontrolleihin kuuluvat puhtauskontrolli, orgaanisen aineen, tutkittavien pintojen sekä neutralointiviljelmään käytetyn mediumin steriiliyden kontrollit, elinkykyisyyden, neutraloinnin varmentamisen, inokuloinnin lukumäärän ja tutkittavien pintojen määrän kontrollit. Kontrollien tarkoitus on varmistaa, että käytettävät menetelmät ovat oikeita ja toimivia. Jotta kuparipinta täyttää testissä määritellyn puhdistumisvaatimuksen, siinä pitää testin aikana tapahtua 99,9 % bakteerien väheneminen kahden tunnin aikana. (EPA 2013)

Protokollan toinen testi

Toisessa osassa protokollaa todistetaan itsepuhdistuvan ominaisuuden toimivuus toistuvissa kontaminaatioissa. Testissä käytetään jokaisesta viidestä kupariseoksesta ja ruostumattomasta teräksestä neljä neliön muotoista pintaa, kukin suuruudeltaan yksi neliö-

tuuma. Pinnat puhdistetaan ja valmistellaan samalla tavalla kuin protokollan ensimmäisessä testissä. Mikro-organismit valmistellaan samalla tavalla kuin ensimmäisessä testissä, poikkeuksena *E. aerogenes*. Jatkona valmisteluille *E. aerogenekselle* tehdään kaksi erilaista jatkokäsittelyä. Testin ensimmäiseen ja viimeiseen inokulaatioon 48-54 tuntia kasvatettu *E. aerogenes*-viljelmä sekoitetaan Vortex-sekoittajalla ja annetaan seistä 15 minuuttia. Orgaanisen aineen osuutta kasvatetaan 5 %:iin Triton X-100 -ainetta sisältävää seosta lisäämällä. Ylemmät kaksi kolmannesta suspensiosta erotetaan käytettäväksi testissä. Toinen lisävalmistelu tehdään puhdistuksien välissä tehtäviä lisäinokulaatioita varten valmisteltavalle bakteeriviljelmälle. Tähän käytetään 18-24 tuntia kasvatettua viljelmää. Viljelmää sekoitetaan Vortex-sekoittajalla ja annetaan seistä 15 minuuttia. Liuosta laimennetaan deionisoidulla vedellä ja sen orgaanisen aineen pitoisuus kasvatetaan 5 %:iin Triton X-100-ainetta sisältävällä seoksella. Liuos sekoitetaan vielä Vortex-sekoittajalla ja annetaan seistä 15 minuuttia ennen käyttöä testeissä. (EPA 2013)

Varsinainen testaus aloitetaan istuttamalla neljälle kuparipinnalle ja neljälle ruostumattomalle teräspinnalle 10 µl 48-54 tuntia kasvatettua siirrosta. Liuos levitetään niin, että reunoille jää noin puolen senttimetrin tyhjä tila. Pintojen annetaan kuivua 30-40 minuuttia 35-37 °C:ssa ja 38-42 %:in suhteellisessa kosteudessa. Heti kuivumisen jälkeen alkaa 120 minuutin altistusaika. Tämän jälkeen pinnat siirretään pinseteillä 30 ml:aan neutralisointiliuosta. Näytteitä sonikoidaan 20±2 sekuntia vesihauteessa ja sekoitetaan 3-4 minuuttia orbitaalisekoittajassa. Näytteet laimennetaan (10^{-2} - 10^{-4} teräkselle ja 10^0 - 10^{-2} kuparille) ja maljataan jokainen rinnakkaismaljoihin. Maljoja inkuboidaan 35-37 °C:ssa, poikkeuksena *E. aerogenes* 25-30°C:ssa. Pinnoilta lasketaan eloonjääneiden pesäkkeiden määrä ja laskukaavan avulla lasketaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määrä pintaa kohden. Kontrollipinnoilla pitää olla vähintään 2×10^4 pesäkkeitä muodostavaa yksikköä läpäistäkseen testin. (EPA 2013)



Kuva 2. EPA testausmenetelmä kuparille. Protokollan toinen testi. (Antimicrobial copper 2012)

Testaus jatkuu hankaustestillä mekaanisen laitteen avulla. Hankaus tapahtuu joko kuivalla tai märällä kankaalla, ja kangas sekä vaahtomuovi sen alla vaihdetaan joka kerran jälkeen. Hankaussykli on yksi edestakainen hankaus. Hankauksen jälkeen inokulaatio toistetaan samalla tavalla kuin aikaisemmin testissä. Sen pitää tapahtua 15 minuutin aikana hankauksesta. Inokulaation jälkeen pintojen annetaan kuivua ainakin puolen tunnin ajan. Inokulaatioiden välissä vuorotellaan kuivaa ja märkää hankausta. Kuvasta 2 nähdään inokulaatioiden ja hankauksien muodostama sykli. Testaus tapahtuu kolmen päivän aikana. Taulukosta 1 nähdään eri vaiheiden jakautuminen kolmelle päivälle. (EPA 2013)

Taulukko 1. Hankaus- ja inokulaatiokäytäntö. (EPA 2013, mukailtu)

Hankaus- ja inokulaatiokäytäntö	
1. Ensimmäinen inokulaatio testiorganismeilla	
2. Hankaus kuivalla kankaalla	Hankaus 1.
3. Inokulaatio uudelleen testiorganismeilla	
4. Hankaus märällä kankaalla	Hankaus 2.
5. Inokulaatio uudelleen testiorganismeilla	
6. Hankaus kuivalla kankaalla	Hankaus 3.
7. Inokulaatio uudelleen testiorganismeilla	
Ensimmäisen päivän lopetus	
8. Hankaus märällä kankaalla	Hankaus 4.
9. Inokulaatio uudelleen testiorganismeilla	
10. Hankaus kuivalla kankaalla	Hankaus 5.
11. Inokulaatio uudelleen testiorganismeilla	
12. Hankaus märällä kankaalla	Hankaus 6.
13. Toistetaan kunnes 12 hankausjaksoa on tehty (Toisen päivän päättyessä tehty 9 hankausjaksoa)	
14. Puhtaustesti tehdään 12 hankausjakson ja kaksi päivää ensimmäisen istutuksen jälkeen	

Viimeisen hankausjakson jälkeen näytepinnoille levitetään 10 µl 48-52 tuntia inkuboitunutta mikrobisuspensiota lähes reunoja myöten. Näytteiden annetaan kuivua 30-40 minuuttia 35-37 °C:ssa ja 38-42 % suhteellisessa kosteudessa. Heti kuivumisen jälkeen alkaa 120 minuutin altistus aika. Tämän jälkeen pintanäytteet siirretään neutralisointiliuokseen. Liuosta sonikoidaan vesihauteessa ja sekoitetaan orbitaalisekoittajalla 3-4 minuutin ajan. Liuokset laimennetaan samoin kuin aiemmin ja maljataan rinnakkaismaljoihin. Maljoja inkuboidaan 35-37 °C:ssa 48±4 tunnin ajan (poikkeuksena *E. aerogenes* 25-30 °C:ssa). Lopuksi määritetään eloonjääneiden organismien määrä. Valmiiden matemaattisten yhtälöiden avulla lasketaan pesäkkeen muodostamat yksiköt pintaa kohden.

Kontrollipinnoilla pitää olla vähintään 2×10^4 pesäkkeen muodostamaa yksikköä. Toisen testin testikontrollit ovat samanlaisia kuin ensimmäisessä testissä. Tässä protokollan testissä materiaalissa pitää tapahtua 99,9 % organismien väheneminen testin suorituksen aikana, jotta pinta voidaan kuvata itsepuhdistuvaksi. (EPA 2013)

Protokollan kolmas testi

Kolmannessa osassa protokollaa mitataan jatkuvaa bakteerien vähenemistä. Testipintoina toimivat kupari- ja ruostumattomat teräspinnat. Pinnat esikäsitellään samalla tavalla kuin ensimmäisessä ja toisessa testissä. Bakteerien valmistelu ja orgaanisen aineen lisääminen tehdään myös samalla tavalla kuin ensimmäisessä testissä on kuvattu. Testipintoina käytetään viisi viiden ryhmää kuparipintoja (25 kpl) ja viisi kolmen ryhmää kontrollipintoja (ruostumaton teräs) (15 kpl). Kaikille testipinnoille levitetään 5 µl bakteeriviljelmää. Pintojen annetaan kuivua. Pintoihin lisätään viljelmää 3, 6, 9, 12, 15, 18 ja 21 tunnin kohdalla samalla tavalla kun alussa. Testi- ja kontrollipintaryhmät poistetaan 2, 6, 12, 18, ja 24 tunnin kohdalla, jolloin nämä pinnat on viljelty 1, 2, 4, 6, ja 8 kertaa. Poiston jälkeen pintanäyte laitetaan 20 ml:aan neutralointiliuosta. Jokainen astia sonikoidaan viiden minuutin ajan, jotta kaikki eloonjääneet organismit saadaan suspensioon. Seosta myös sekoitetaan. Tämän jälkeen tehdään liuoksesta laimennussarja (10^{-1} - 10^{-4}) ja jokainen laimennos maljataan rinnakkaismaljoihin käyttämällä TSA-maljoja. Maljoja inkuboidaan 35-37 °C:ssa 48±4 tunnin ajan (poikkeuksena *E. aerogenes* 25-30 °C:ssa). Värjäysmenetelmillä tai biokemiallisilla testeillä arvioidaan testiorganismien läsnäolo. Tulokset saadaan samalla tavalla kuin aikaisemmissakin testeissä. Jotta pinnan voidaan sanoa vähentävän bakteereita jatkuvasti, sen pitää vähentää bakteereita minimissään 90 % 24 tunnin altistumisen aikana. Kolmannessa testissä on samat testikontrollit kuin ensimmäisessä ja toisessa testissä. (EPA 2013)

Kaikkiin protokollan osiin kuuluu myös antimikrobinen herkkyystestaus silloin kun kyseessä on resistentti organismi kuten metillisiiniresistentti *S. aureus* (MRSA). Testillä osoitetaan organismin olevan resistentti tietyille antibiooteille. Protokolla takaa siitä läpi pääsevän materiaalin pinnan jatkuvasti vähentävän bakteeritartuntoja ja tarjoavan antimikrobista tehoa uusista altistuksista huolimatta. Pinta tappaa jatkuvasti yli 90 % bakteereista, vaikka päivän aikana se inokuloituu uudelleen. Pinta estää tautia aiheuttavien bakteerien kerääntymisen pinnalle ja se tarjoaa jatkuvaa, pitkäkestoista antibakteerista tehoa. (EPA 2013)

Protokollan testeissä käytetyt yhtälöt

Jokaiselta testipinnalta määritetään eloonjääneet organismit. Mikrobit lasketaan pesäkkeen muodostaman yksikön lukumääränä suhteessa pinta-alaan eli pmy/pinta (cfu/carrier) yhtälön 1 mukaan:

$$\frac{pmy}{pinta} = \frac{c_p \times l \times V_n}{V_m} \quad (1)$$

Yhtälössä c_p on pesäkkeiden lukumäärän keskiarvo pinnalla, l on laimennuskerroin, V_n on neutralisointiliuoksen määrä ja V_m on liuosta maljattu määrä. Verrokkipinnoille ja testipinnoille lasketaan eloonjääneiden organismien geometrinen keskiarvo yhtälöiden 2 ja 3 avulla. A:lla merkitään verrokkipintojen keskiarvoa ja B:llä testipintojen keskiarvoa. (EPA 2013)

$$A = \text{antilog} \left(\frac{\log_{10} X_1 + \log_{10} X_2 + \log_{10} X_3}{3} \right), \quad (2)$$

$$B = \text{antilog} \left(\frac{\log_{10} Y_1 + \log_{10} Y_2 + \log_{10} Y_3 + \log_{10} Y_4 + \log_{10} Y_5}{5} \right), \quad (3)$$

missä X_n on pmy/verrokkipinta ja Y_n on pmy/testipinta. X ja Y -tekijöiden lukumäärä määräytyy testikappaleiden lukumäärän mukaan. Yhtälön 4 avulla voidaan laskea myös bakteerien prosentuaalinen väheneminen pinnalla:

$$\%vähennminen = [(A - B)/A] \times 100. \quad (4)$$

2.3.2 OECD-The Organization for Economic Co-operation and Development

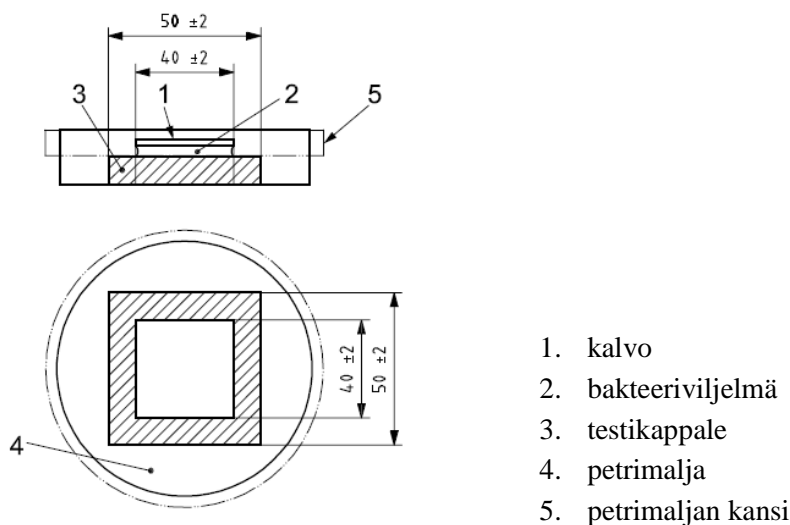
OECD on perustanut erilaisia työryhmiä, joihin on osallistunut asiantuntijoita jäsenmaista ympäri maailmaa. Näissä työryhmissä on sovittu yhteisiä toimintatapoja esimerkiksi hyvään laboratoriokäytäntöön, laadun varmistukseen ja tutkimusten tekemiseen. Antimikrobisesti käsiteltyjen esineiden toiminnan tehokkuuden arviointi kuuluu pestisidihjelmaan, joka kehitettiin vuonna 1992. Antimikrobisesti käsitellyt esineet voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä on biosideillä kyllästetyt esineet biologista hajoamista vastaan. Toinen ryhmä on ulkoisen vaikutuksen omaavat biosideillä kyllästetyt esineet. Tällöin ei suojella itse esinettä vaan suojaava vaikutus voi olla esimerkiksi ihmisten taudinaiheuttajia vastaan. Kehitetty toiminnan tehokkuuden arviointitapa koostuu kolmesta osasta. Ensimmäisessä osassa tehdään perustestit ja todistetaan toiminnan periaate. Tärkeintä tässä osassa on tehdä selkeä ero käsiteltyjen (pinnoitettujen) ja käsittelemättömien materiaalien välille. Toisessa osassa tehdään laboratoriosimuloituja testejä, joiden avulla voidaan tutkia tiettyjä sovelluksia. Kolmannessa osassa tehdään kenttä-tutkimuksia. Kolmatta osaa ei kuitenkaan ole aina mahdollista toteuttaa, jolloin vahvasti todistetut kohdat yksi ja kaksi riittävät. Tämä kolmeosainen testaustapa käyttää metodeita, jotka on kuvattu japanilaisessa standardissa JIS Z2801 ja AATCC:n (American

Association of Textile Chemist and Colorist) metodi-100:ssa. Japanilainen standardi on kuvattu tarkemmin seuraavassa kappaleessa. (OECD 1998 ja OECD 2008)

JIS Z2801

JIS Z2801 on japanilainen standardi antimikrobisien muovi-, metalli- ja keraamimateriaalien testaamiseen sekä antimikrobisen aktiivisuuden ja tehokkuuden todistamiseksi näillä pinnoilla. Tämä standardi on kuitenkin tarkoitettu enemmän tavaramerkin puolustamiseen kuin vaikutuksen kuvaamiseen. Standardin testimenetelmästä on tehty muunnos, joka on julkaistu ISO-22196-standardina. Tämä muunnos on kohdistettu ainoastaan muovimateriaaleille. (OECD 2008)

Testimenetelmässä käytetään kahta eri mikro-organismia, *E. coli* ja *S. aureus*. Organismia siirretään yksi silmukallinen kasvatusliuokseen. Sitä kasvatetaan 35 ± 1 °C:ssa 16-24 tunnin ajan. Tästä viljelmästä siirretään silmukallinen uuteen kasvatusliuokseen ja inkuboidaan 35 ± 1 °C:ssa 16-20 tunnin ajan. Yksi silmukallinen inkuboitua liuosta laitetaan laimennettuun ravinneliuokseen ja sitä laimennetaan edelleen siten, että bakteerien lukumäärä on $2,5-10 \times 10^5$ solua millilitrassa. Tätä liuosta käytetään testausliuoksena. Testikappaleet leikataan 10 mm:n paksuisiksi 50 x 50 mm kappaleiksi. Testiin tarvitaan kuusi kontrollikappaletta ja kolme antimikrobisesti käsiteltyä kappaletta. Kappaleet puhdistetaan pyyhkimällä ne etanoliin kastetulla sideharsolla kaksi tai kolme kertaa ja kuivataan. Testipinnat asetetaan petrimaljoihin niin, että testauspinta on ylöspäin. Testiviljelmää laitetaan pinnalle niin, että se ei valu pois pinnan päältä (noin 0,4 ml). Testiviljelmän päälle laitetaan 40x40 mm:n kokoinen kalvo. Kalvo peittää vain bakteeriviljelmän ja sen sivuille jää yli 2,5 mm paljasta testikappaletta. Kaavio on esitetty kuvassa 3. (JIS Z 2801 2000)



1. kalvo
2. bakteeriviljelmä
3. testikappale
4. petrimalja
5. petrimaljan kansi

Kuva 3. Kaaviokuva petrimaljasta. (ISO 22196 2007)

Petrimaljaa, jossa on näytekappale, bakteeriviljelmä ja kalvo, inkuboidaan 35 ± 1 °C:ssa ja vähintään 90 %:in suhteellisessa kosteudessa 24 ± 1 tunnin ajan. Eloonjäänyt populaatio määritetään upottamalla testikappaleet kalvoineen steriloituun homogeenointipussiin, johon lisätään 10 ml SCDLP-liuosta. Liuos on valmistettu kaseiinipeptonista, soijapeptonista, natriumkloridista, dinatriumvetyfosfaatista, glukoosista ja lesitiinistä. Pussia hierotaan niin, että bakteerit irtoavat alustastaan liukseen. Eloonjääneet bakteerit määritetään liuksesta. Yhdestä millilitrasta pesuliuosta tehdään kymmenesainen laimennussarja. Kahteen petrimaljaan laitetaan 1 ml pesuliuosta ja 1 ml jokaista laimennettua liuosta. Maljoihin lisätään 15-20 ml agarია, ne lämmitetään 46-48 °C:een ja sekoitetaan hyvin. Kun maljojen nesteet ovat kiinteytyneet, ne käännetään ja inkuboidaan 35 ± 1 °C:ssa 40-48 tunnin ajan. Eloonjääneet bakteerit määritetään soveltuvalla laimennuksen laskumenetelmällä yhtälön 5 mukaan:

$$N = 100 \times C \times D \times V. \quad (5)$$

Yhtälössä N on eloonjääneiden bakteerien määrä cm^2 :iä ja testikappaletta kohden, C on pesäkkeiden lukumäärä kaksinkertaisena tehdyistä maljoista yhteensä, D on laimennussuhde ja V on pesuun käytetyn SCDLP-liuoksen määrä. Antimikrobinen aktiivisuus voidaan laskea yhtälöllä 6,

$$R = \left[\log\left(\frac{B}{A}\right) - \log\left(\frac{C}{A}\right) \right], \quad (6)$$

missä R on antimikrobinen aktiivisuus, A on kontrollikappaleilla eloonjääneiden bakteerien keskiarvo heti inokuloinnin jälkeen, B on sama 24 tunnin jälkeen ja C on antimikrobisilla kappaleilla eloonjääneiden bakteerien keskiarvo 24 tunnin jälkeen. Standardin mukaan, jotta kappale on antimikrobinen, sen antimikrobisen aktiivisuuden pitää olla yli 2.0. (JIS Z 2801 2000)

AATCC-100

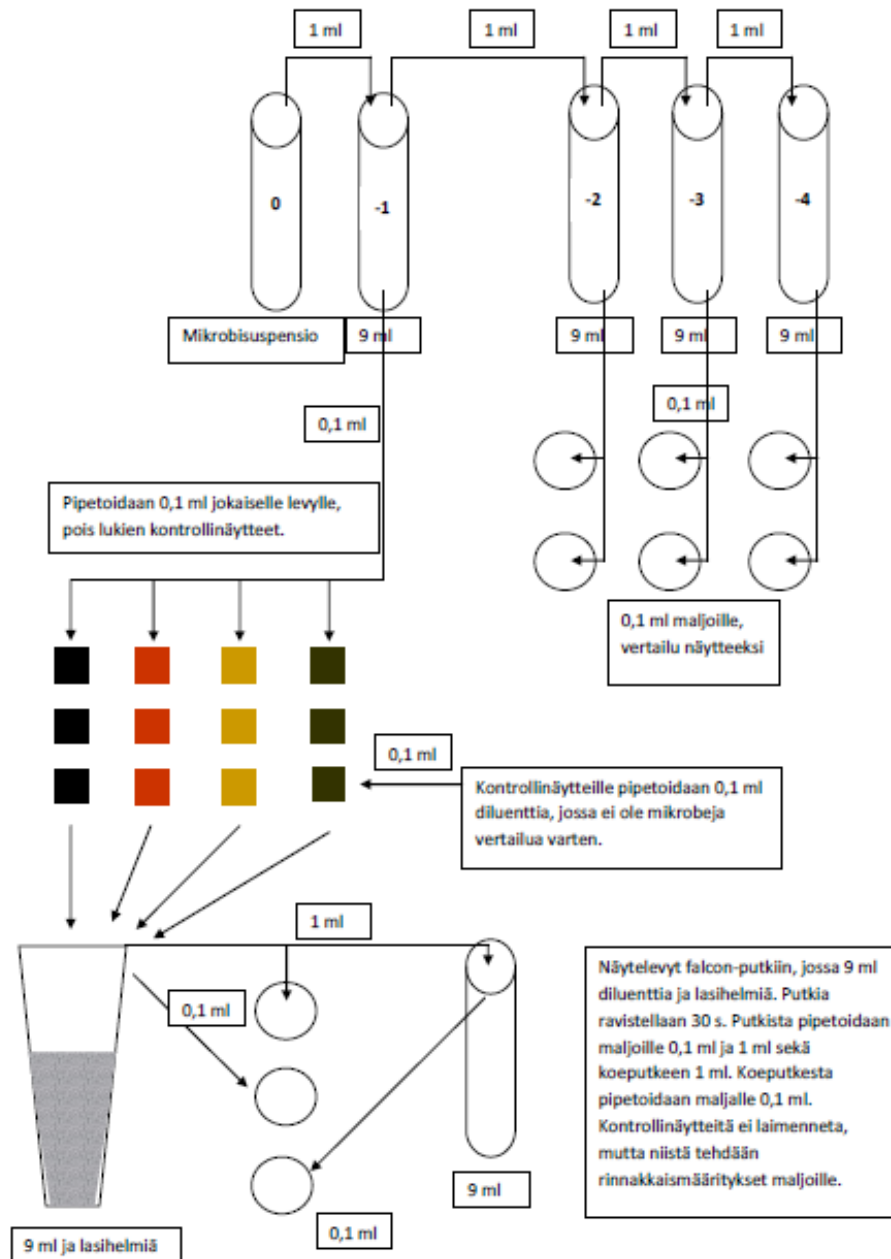
AATCC (American Association of Textile Chemists and Colorists) on Amerikan tekstiilikemistien ja värjääjien järjestö. Järjestö on kehittänyt erilaisia tekstiilien testausmenetelmiä. Metodi-100 on huokoisten tekstiilien antimikrobisuuteen testausohje. Testiin käytetään tekstiilien kappaleita, joiden kastuvuus on aikaisemmin määritetty. Eri tekstiilien kappaleet inokuloidaan ja niistä valitaan satunnaiset näytekohdat, jotka leikataan irti. Tekstiilien saastutukseen käytetään niiden käyttökohteista löytyviä mikroorganismeja, yleisimpiä ovat *Klebsiella pneumoniae* ja *S. aureus*. Näytekappaleiden annetaan inkuboitua 18 tunnin ajan 37 °C:ssa. Eloonjäänyt populaatio selvitetään upottamalla näytteet neutralisointiliuokseen. Näistä lasketaan pesäkkeitä muodostavat yksiköt käytetyn laimennuksen laskusääntöjen mukaan. Kolme vertailunäytettä saastutetaan

samoilla mikro-organismeilla ja niiden mikrobinen populaatio määritetään heti saastuksen jälkeen. (OECD 2008)

2.3.3 EN-13697-standardista muunnettu testausmenetelmä

Eurooppalainen standardisointijärjestö vastaa EN-standardien (European Standard) laadinnasta. Suomen standardisoimisliitto SFS ry on eurooppalaisen järjestön jäsen. Monet EN-standardit vahvistetaan Suomeen kansallisiksi SFS-EN-standardeiksi. Vahvistuksessa standardiin voidaan lisätä vain esipuhe ja opastavia tietoja standardin loppuun. EN-13697 on vahvistettu Suomen kansalliseksi SFS-EN-13697-standardiksi. Standardi käsittelee kemiallisten desinfektioaineiden ja antiseptisten aineiden bakteereja ja/tai sieniä tappavan vaikutuksen testaamista kvantitatiivisella pintatestillä teollisuudessa, kotitalouksissa ja julkisissa tiloissa. Standardissa on määritetty testimenetelmä ilman mekaanista vaikutusta ja täytettävät vaatimukset. (SFS-EN 13697 2001)

Tämä standardi on suunnattu hieman eri sovellukselle kuin tässä työssä kehitettävä hyväksymismenettely. Standardi on kuitenkin helposti sovellettavissa toisenlaiseen testausympäristöön. Tästä esimerkkinä on Ville Reunanen opinnäytetyö *Kuparimetallien antimikrobisuuden hyödyntäminen elintarviketeollisuudessa*. Työ on tehty Turun ammattikorkeakouluun. Työssään Reunanen testaa kuparin, messingin ja Nordic Royal-pinnan antimikrobisuutta elintarviketeollisuutta varten. Testimenetelmänä hänellä on EN-13697 -standardi muunnettuna niin, että desinfektioaineiden ja antiseptisten aineiden tilalla käytetään erilaisia pintamateriaaleja. Myös testissä käytettyjen bakteerien testikannat eroavat ohjeesta. Bakteereina käytetään *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Bacillus cereus* ja *Candida* sp. Koska standardi ei ole suunnattu pintojen testaamiseen, on pintojen esikäsitely kehitetty muiden ohjeiden perusteella. Kuparipintojen lisäksi testissä on referenssipintana ruostumaton teräs. Pinnat ovat kooltaan 2 x 2 cm ja ennen testausta ne puhdistetaan etanolilla. (Reunanen 2011, SFS-EN 13697 2001)

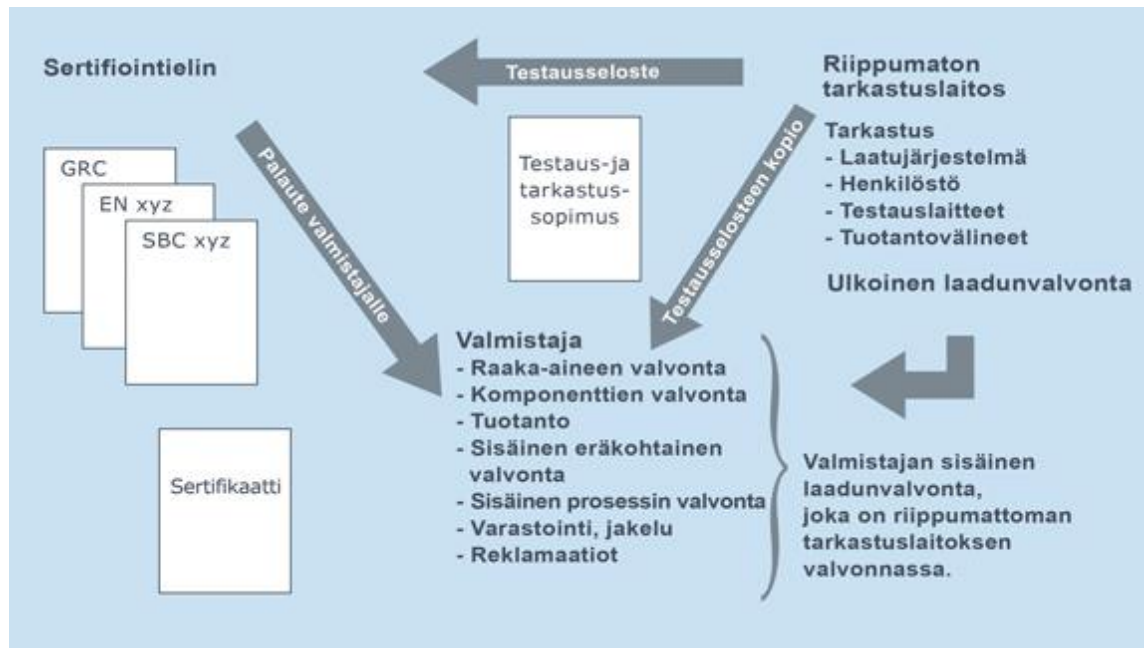


Kuva 4. Kaaviokuva työn suorituksesta. (Reunanen 2011)

Bakteerinäytteet valmistellaan testaukseen hyvin samalla tavalla kuin EPA:n testauksessa ja japanilaisessa standardissa. Erona kuitenkin ovat naudanveriagar-, PDA- (potato dextrose agar) ja LMBA-kasvatusalustojen (*Listeria monocytogenes* blood agar) käyttö. Näytteet maljataan pintalevitystekniikalla. Bakteerisuspensioiden annetaan inkuboitua näytekappaleilla 24 tunnin ajan 37 °C:ssa. Poikkeuksena on *L. monocytogenes*, jonka suspensiota inkuboidaan 48 tuntia 37 °C:ssa. Kuva 4 esittää työn vaiheet kaaviona. Kuvasta nähdään laimennussarjojen ja näytteiden valmistus sekä muita työvaiheita. (Reunanen 2011)

2.3.4 Nordic Poly Mark-laatumerkki

Nordic Poly Mark (NPM) on pohjoismainen vapaaehtoinen muoviputkituotteiden laatumerkki. Merkin vaatimusten perustana ovat tuotestandardit, yleensä EN-standardit. Sertifiointiohjeissa voidaan esittää myös lisävaatimuksia standardien lisäksi. Näin pysytään varmistamaan tuotteen soveltuvuus esimerkiksi talviolosuhteisiin. (Nordic Poly Mark 2013)



Kuva 5. Nordic Poly Mark sertifiointimalli. (Nordic Poly Mark 2013)

Sertifiointiin osallistuu kolme tahoja, sertifiointielin, riippumaton tarkastuslaitos ja valmistaja. Näiden kesken tehdään testaus- ja tarkastussopimus. Sertifikaatin saanti edellyttää riippumattoman tahon tekemää valmistusolosuhteiden tarkistusta ja tuotteen tyyppitestausta. Tarkastukseen kuuluu laatu järjestelmän, henkilöstön, testauslaitteiden ja tuotantovälineiden tarkastus. Näistä muodostuu ulkoinen valmistajan laadunvalvonta. Valmistajan on tehtävä myös sisäistä laadunvalvontaa. Valvonta koostuu raaka-aineen ja komponenttien valvonnasta, tuotannon ja prosessien valvonnasta, eräkohtaisesta varastoinnin valvonnasta, sekä jakelun ja reklamaatioiden valvonnasta. Kummastakin laadunvalvonnasta, sisäisestä ja ulkoisesta, laaditaan raportit. Jos tuotestandardin ja sertifiointiohjeen (SBC) vaatimukset täyttyvät, INSTA-CERT-sertifiointi ja Nordic Poly Mark-merkintä voidaan myöntää. Laadunvalvontaa tehdään jatkuvasti merkinnän myöntämisen jälkeen ulkoisen testauslaitoksen toimesta. Kuva 5 esittää mallin testauksen ja valvonnan prosessista. (Nordic Poly Mark 2013)

2.3.5 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) on U.S. Green Building Council:n (USGBC) kehittämä ja ylläpitämä kiinteistöjen sertifiointijärjestelmä, joka on tehty tehokkaiden rakennusten ja kestäväen kehityksen periaatteella toimivan ympäristön sertifiointia varten. Sertifiointi on ulkopuolinen todistus rakennuksen tai alueen kehitysprojektin vastaavuudesta rakentamiseen ja ympäristöön asetettuihin korkeimpiin tehokkuusvaatimuksiin. LEED sertifiointi synnyttää monia ekologisia ja taloudellisia etuja. Ekologisia etuja ovat muun muassa energian säästö sekä veden kulutuksen ja kaatopai-koille joutuvan jätteen ja kasvihuonepäästöjen vähentyminen. Taloudellisia hyötyjä ovat käyttökustannusten alentuminen ja kiinteistön arvon kohoaminen sekä mahdolliset verovähennykset ja kaavoitusavustukset. (ERMS/Fimera Oy 2014)

Leed-luokitusjärjestelmä kattaa muun muassa uudis- ja korjausrakentamisen, koulut, toimitilat ja terveydenhuollon. Jokaisessa luokassa on omat vaatimukset, jotka tulee täyttää sertifikaatin saamiseksi. Eri luokissa on erilaiset ominaisuuksien painotukset. Kuvassa 6 on esimerkki korjatun rakennuksen pisteytyksestä. Kuvan rakennus on saavuttanut korkeimman platinatason sertifikaatin. Kuvasta huomataan, että suurin merkitys tässä luokassa on energian ja pienin painotus veden kulutuksella. Pisteiden maksimi on 100 pistettä. 40–49 pistettä oikeuttaa perussertifikaattiin, 50–59 pistettä hopeatason sertifikaattiin, 60–79 pistettä kultatason sertifikaattiin ja yli 80 pistettä platinasertifikaattiin. Pisteytystasot ovat esitetty kuvassa 7. (LEED 2014)

LEED Facts	
for Existing Buildings Operations & Maintenance (v2009)	
Recertification awarded Oct 2010	
Platinum	94
Sustainable Sites	15/21
Water Efficiency	8/11
Energy & Atmosphere	23/37
Materials & Resources	3/14
Indoor Environmental Quality	9/17
Innovation in Operations	+4
Points possible = 100 points (+10 bonus)	

Kuva 6. Esimerkki LEED pisteytyksestä korjausrakentamisessa. (LEED 2014)

Pisteytystasot (max 100p)	p.
perussertifikaatti	40-49
hopeasertifikaatti	50-59
kultasertifikaatti	60-79
platinasertifikaatti	yli 80

Kuva 7. Pisteytys tasot (max.100 pistettä)

Kestävän kehityksen strategia tulisi ottaa huomioon jo rakennusprojektin alkuvaiheessa, jotta vihreän rakentamisen suunnittelu, kehitys ja toiminnot saataisiin mahdollisimman tehokkaasti parantamaan rakennuksen tehokkuutta. (ERMS/Fimera Oy 2014)

2.4 Huomioita hyväksymismenettelyistä

Tuotteiden ja materiaalien hyväksymismenettelyt jakautuvat kahteen selkeään osaan, pakolliseen hyväksyntään ja vapaaehtoiseen hyväksyntään. Pakollisen hyväksynnän tarve tulee joko kansainvälisiltä tai kansallisilta tahoilta lakeina ja asetuksina. Vapaaehtoisissa hyväksymismenettelyissä tarkoituksena on lisätä tuotteen lisäarvoa ja luotettavuutta. Vapaaehtoiset hyväksynnät on tarkoitettu helpottamaan asiakkaan valintaa luotettavasta tuotteesta. Hyväksyntämenettelyihin kuuluu usein materiaalien tai tuotteiden testausta, valmistuksen laadunvalvontaa ja myöhempää laadun tarkastusta. Testauksen tekee yleensä ulkopuolinen riippumaton taho.

Materiaalien antimikrobisessa testauksessa käytettävät bakteerit ovat monissa kuvatuissa testeissä samoja. Standardeissa on käytettävät bakteerikannat määritetty tarkasti, mutta testausmenetelmissä on usein mainittu vain käytössä olleet bakteerit. Bakteerien ja pintojen valmistelu on määritetty tarkasti ja testauksen kulku kerrottu kohta kohdalta. Inkubaatioajat ovat bakteereilla yleensä melko vakiintuneet, koska niiden kasvu tunnetaan silloin, kun ulkoisia vaikutuksia ei ole. Myös inkubaatiolämpötilat ovat bakteerien kasvun kannalta optimilämpötila-alueelta. Eri bakteereille voidaan käyttää erilaisia maljoja. Yleisimpiä käsitellyissä testeissä olivat TSA- ja TSB-maljat. Testauksien tulokset käsitellään laskukaavojen avulla. Yleensä lasketaan pesäkkeitä muodostavat yksiköt pintaa kohden tai pinnan antimikrobinen aktiivisuus.

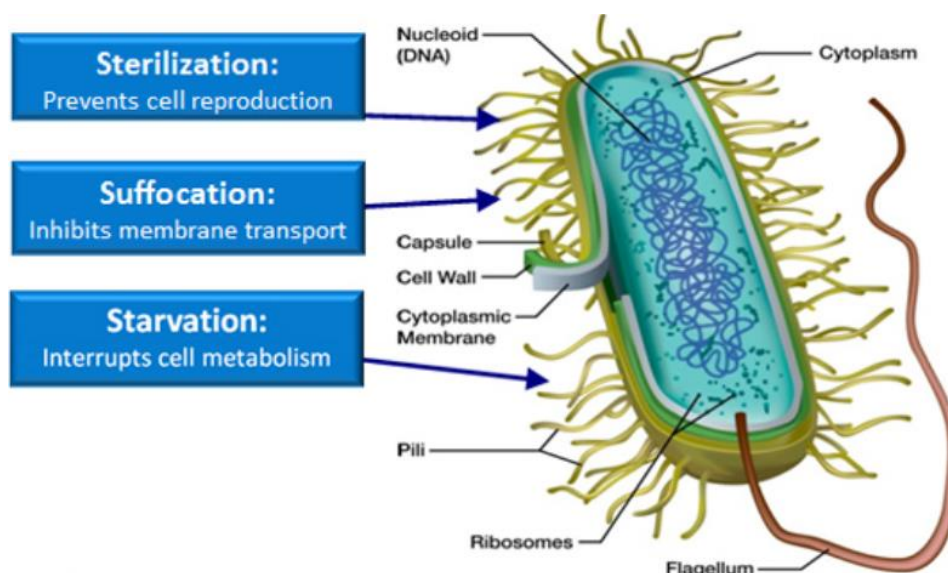
3 MATERIAALIT JA MIKROBIT

3.1 Materiaalien hygieenisuus

Materiaaleja, jotka tappavat tai pysäyttävät mikrobin toiminnan kutsutaan antimikrobisiksi materiaaleiksi. Materiaali voi itsessään olla antimikrobinen tai siinä voi olla pinnoite tai antimikrobinen ainesosa. Antimikrobisen aineen mikrobin passivointinopeus riippuu lämpötilasta, aineen konsentraatiosta ja mikro-organismista, jonka kanssa se on kosketuksessa.

Antimikrobisia materiaaleja tiedetään käytetyn jo vuosisatoja. Kuparia ja hopeaa on käytetty erilaisissa sovelluksissa, vaikka niiden todellisia ominaisuuksia ei ole täysin tiedetty. Hopeaa on käytetty muun muassa haavanhoidossa jo pitkään. Sitä on sisällytetty haavasiteisiin ja puhdistaviin haavatuotteisiin. Kuparia taas on käytetty veden puhdistuksessa. Näiden materiaalien käyttö pintamateriaaleissa on alkanut kiinnostaa tutkijoita myös toiminnan ymmärtämisen, siis tieteellisyyden kannalta.

Kupari on yleisimmin tunnettu antimikrobinen materiaali. Antimikrobisen kuparin kaupallistamiseen on perustettu Copper Development Association (CDA). Tämä organisaatio pyrkii markkinoimaan antimikrobista kuparia ja tarjoamaan tietoa sen ominaisuuksista ja käytöstä tavoittelematta voittoa. Kuparin antimikrobisesta tehosta on tehty monia tutkimuksia ja sen teho on todistettu monia kertoja erilaisia mikrobeita vastaan. Kuparin vaikutus mikrobeihin on kaksivaiheinen. Ensimmäiseksi kuparipinta ja bakteerin uloin kalvo vuorovaikuttavat niin, että kalvo repeää. Toiseksi uloimpaan kalvoon muodostuu reikiä, joista solu menettää elintärkeitä ravintoaineita ja vettä, jolloin solun toiminta heikentyy. Kuvassa 8 on kuvattu näitä toimintoja. Kuparia voidaan käyttää myös seoksena. Jotta antimikrobinen teho säilyisi, seoksessa pitää olla vähintään 60 % kuparia. (Antimicrobial Copper 2012, Casey et al. 2010)



Kuva 8. Kuparin ja hopean antimikrobisen toiminnan kolme eri tapaa.

Hopea on pitkään ollut suosittu antimikrobinen materiaali esimerkiksi haavanhoidossa. Hopea on lähes inertti aine, mutta kosteissa olosuhteissa se hapettuu ja siitä irtoaa hopeaioneja. Nämä estävät bakteerin kasvun ja usein tappavat bakteerin. Hopeaionit sitovat proteiinien ja entsyymien tioliryhmiä ja siten passivoivat niitä. Ionit myös sitovat DNA:ta ja estävät RNA:ta kahdentumasta. Kuvasta 8 nähdään nämä toiminnat. Hopean antimikrobinen toiminta riippuu partikkelikoosta. Tehokkaimmin bakteereita tuhoaa 25 nm:n kokoiset partikkelit. Hopean käyttö onkin yleisintä nanomateriaalina. (Rai et al. 2009, Page et al. 2009)

Muitakin antimikrobisia materiaaleja on, mutta niiden käyttö rajoittuu yleensä pinnoitteisiin. Titaanidioksidi on monissa veden puhdistukseen liittyvissä sovelluksissa käytetty materiaali. Titaanidioksidin teho perustuu sen fotokatalyyttisiin ominaisuuksiin. Ultraviolettivalon vaikutuksesta materiaalin pinnalla tapahtuu hapetus-pelkistysreaktioita. Pinta reagoi orgaanisen aineen, josta mikrobit muodostuvat, kanssa tehden niistä toimintakyvyttömiä. (Fujishima et al. 2008, Page et al. 2009)

Antimikrobisia materiaaleja voidaan käyttää monenlaisissa sovelluksissa. Tavallisimpia ovat kosketuspinnat, kuten pöytätasot, ovipainikkeet ja tukikahvat. Mahdollisuudet antimikrobisten materiaalien käyttöön ovat kuitenkin lähes rajattomat. Vesi- ja ilmastointijärjestelmissä näiden materiaalien käyttö on vielä vähäistä, mutta mahdollista. Kupari on helposti työstettävää ja siksi siitä voidaan valmistaa kokonaisia tuotteita, esimerkiksi tukikahvoja ja ovipainikkeita. Hopeaa ja titaanidioksidia käytetään taas usein pinnoitteena tuotteissa. Kestävien pinnoitteiden valmistus voi olla haasteellista. Pinnoitteet ovat herkkiä naarmuuntumaan ja näin ne menettävät osan tai jopa koko tehokkuutensa. Kun tuote on tehty kokonaan antimikrobisesta aineesta, ei naarmuuntuminen vähennä tuotteen tehoa. Tuotteen valmistaminen kokonaan antimikrobiologiseksi on kuitenkin usein kustannuskysymys tai teknisesti vaikeaa ellei mahdotonta. Näin ollen pinnoitus

tulisi saada niin kestäväksi, ettei se naarmuuntuisi ja menettäisi tehoaan. Osa pinnoitteista myös kuuluu käytössä kokonaan. Jotkut valmistajat suosittelivatkin pinnoitteen uusimista tietyin väliajoin. Kuparin suhteen epädulliseksi ominaisuus on sen tummuminen ilman vaikutuksesta, mikä vähentää tuotteen esteettistä käytettävyyttä. (Kleemola 2013)

3.2 Mikrobit ympärillämme

Mikrobit ovat yksisoluisia tai vain muutamasta solusta muodostuvia organismeja, kuten bakteerit, virukset ja yksisoluiset levät. Mikrobien ominaisuuksissa on eroja. Osa niistä on helposti leviäviä ja haitallisempia kuin toiset. Koska erityisesti sairailta ja vanhoilla ihmisillä vastustuskyky on alentunut, ovat tällaisten ihmisten elinympäristöt erityisen huomion kohteena tutkittaessa mikrobien haitallisuutta ja leviämistä. Sairaaloissa ja vanhainkodeissa mikrobien leviäminen on varsin yleistä ja tapahtuu helposti. Sen lisäksi että mikrobit ovat herkkiä leviämään, lisää vaikutusta se, että noissa tiloissa liikkuu paljon ihmisiä päivittäin. Useat ihmiset koskevat ovenkahvoihin ja ovien kosketuspintoihin päivittäin, jolloin pinnoilla olevat mikrobit pääsevät leviämään. Näillä pinnoilla bakteerit, homeet ja sienet voivat elää monia tunteja saastumisen jälkeen.

Bakteerit jakautuvat kahteen pääryhmään, gramnegatiivisiin ja grampositiivisiin. Ero on soluseinämän rakenteessa. Gramnegatiivisilla bakteereilla on sytoplasminen kalvo, ohut peptidoglykaani kerros ja uloin lipopolysakkaridi kalvo. Grampositiivisilla peptidoglykaani kerros on paksumpi. Bakteerit voidaan tunnistaa Gram-värikokeella. Värikokeessa kuollut bakteeriviljelmä värjätään aluksi kristallivioletilla sekä Lugolin jodiliuoksella, jonka jälkeen viljelmä käsitellään alkoholilla. Tämän jälkeen näyte huuhdotaan ja vastavärjätään punaisella safraniinilla. Kun viljelmä huuhdotaan lopuksi vedellä grampositiiviset bakteerit säilyttävät violetin värin, kun taas gramnegatiivisista bakteereista violettiväri on liuennut ja ne ovat värjäytyneet punaisiksi. Gram-negatiiviset ja -positiiviset reagoivat myös eritavoin eri antibiootteihin. Bakteerit voivat levitessään muodostaa erilaisia kantoja samasta bakteerista. Usein eri maissa onkin samasta bakteerista eri kantoja. (Duodecim 2014) Taulukossa 2 on esitelty tärkeimpiä bakteereita tässä työssä kehitettävän hyväksymismenettelyn kannalta.

Taulukko 2. Yleisimmät sairaaloissa esiintyvät bakteerit. (Terveyskirjasto 2014, CDC 2012)

Bakteeri:	Grampositiivinen vai gramnegatiivinen	Tyypillinen esiintymisympäristö	Oireet	Riskiryhmä	Muita huomioita
<i>Staphylococcus aureus</i>	grampositiivinen	sairaala, kosketuspinnat, joka viidennellä ihmisellä nenänielussa	ihoinfektiot, muut infektiot	ihmiset, joilla on alentunut vastustuskyky	yleisin leikkauksen jälkeisiä sairaalainfektioita aiheuttava bakteeri
Metisilliiniresistentti <i>Staphylococcus aureus</i>	grampositiivinen	sairaala, kosketuspinnat	ihoinfektio, muut infektiot, voi johtaa kuolemaan	ihmiset, joilla on alentunut vastustuskyky	metisilliiniantibiootille ja resistentti bakteeri
<i>Escheria coli</i>		ruoka, vesi, ympäristö	suolistoinfektio, voi johtaa kuolemaan	kaikki ihmiset, erityisesti lapset ja vanhukset	erityisen vaarallinen kanta O157:H7, hyvä indikaattoribakteeri
<i>Clostridium difficile</i>	grampositiivinen	sairaala, vesi, ilma,	sisäelintulehdus	ihmiset, joita on hoidettu antibiooteilla	
Vankomysiinille resistentti enterokokki eli VRE	grampositiivinen	sairaala, kosketuspinnoina	suolistotulehdus	leikkauksessa olleet potilaat	vankomysiiniantibiootille resistentti, myös muille antibiooteille resistentti
<i>Enterobacter aerogenes</i>	gramnegatiivinen	maaperä, vesi, maitotuotteet, sairaala	tulehdus, iho-oireita	lapset, vanhukset ja kuolemansairaat	lääkeresistenttejä ominaisuuksia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		vesi, kosketuspinnat, kosketus	keuhkokuume, iho-oireita, korvatulehduksia	ihmiset, joilla on alentunut vastustuskyky	yleisin bakteeri ihmisillä, jotka ovat olleet sairaalahoitossa yli viikon ajan

Bakteerit ja virukset voivat levitä monilla eri tavoilla. Bakteerit leviävät ihmiseltä toiselle pääosin ilman kautta hiukkasten mukana tai pisaroina. Kosketuspintoilla bakteerit voivat elää pitkiäkin aikoja ja sitä kautta levitä. Ihmiset voivat tartuttaa toisia ihmisiä myös suoraan kosketuksen avulla. Kaikissa näissä tapauksissa hyvä käsihygienia on erittäin tärkeää. Bakteerit ja virukset voivat levitä myös ilmastointijärjestelmän kautta. Järjestelmään tulee mikrobeita ulkoilmasta tai niitä voi kasvaa siellä. Ilmanvaihdon kautta mikrobit päätyvät ihmisten hengitysilmaan. Vesiverkostosta saastuneen veden mukana bakteerit voivat kulkeutua ihmiselle. Vesiputkistoissa voi myös kasvaa mikrobikasvustoa, kuten biofilmejä. (Kleemola 2013)

On useita tunnettuja materiaaleja ja tekniikoita tehdä pinnoista ja tuotteista antimikrobisia. Myös erilaisten mikrobien käyttäytyminen näiden materiaalien yhteydessä tunnetaan. Sen lisäksi pystytään tunnistamaan erityisesti ongelmallisiksi koettavia ympäristöjä, joissa hygieenisuus on erityisen tärkeää, jopa elintärkeää. Jotta tällaiset tuotteet ja materiaalit voivat saada markkinoilla kaupallisen merkityksen, on ne pystyttävä tunnistamaan mallinnetun menettelyn avulla. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan tarkemmin erilaisia testattavia kohteita.

4 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

4.1 Tutkittavat kohteet

Tutkimus jakautuu kahteen päälinjaan, taloteknisiin ratkaisuihin ja kalusteisiin ja kohdistuu kosketuspintoihin sekä, ilmastointi- ja vesijärjestelmiin. Kosketuspinnat voivat olla mitä tahansa pintoja, joita normaalikäytössä kosketellaan. Yleisimmin pinnat ovat tukikahvoja tai ovipainikkeita. Pinnoiksi lasketaan kuitenkin kaikki pinnat huonetiloissa. Pintoja löytyy myös ilmastointijärjestelmistä ja vesijärjestelmistä. Ilmastointi- ja vesijärjestelmien mikrobiologiaa voidaan tutkia muullakin tavalla, ei vain pinnoilta. Tällöin tutkitaan järjestelmien kanssa kosketuksissa olevia aineita eli sisäilmaa tai talousvettä. Kehitettävän hyväksymismenettelyn on tarkoitus olla soveltuva kaikille antimikrobisille ratkaisuille riippumatta niiden materiaaleista tai siitä onko kyse pinnoituksesta vai kokonaan kyseisestä materiaalista valmistusta tuotteesta.

4.2 Tutkittavat tuotteet ja ratkaisut

Projektissa tutkittavat tuotteet ja käytetyt ratkaisut valittiin projektia rahoittavien yritysten valikoimasta. Tuotteiden valinnassa otettiin huomioon myös tutkimukselliset näkökohdat. Yritykset toimivat pääosin Satakunnan alueella. Yritykset osallistuvat projektiin tarjoten joko osaamistaan tai tuotannossaan olevia tuotteitaan, usein kuitenkin pilottimittakaavaisesti valmistettuja. Osa yrityksistä oli mukana vain suorana rahoittajana. Tutkimuksessa on erilaisista materiaaleista valmistettuja sekä eri sovelluksiin tarkoitettuja tuotteita. Tuotteet ja ratkaisut ovat joko vesijärjestelmiin, ilmastointijärjestelmiin tai kosketuspintoihin liittyviä.

Satakunnan alueella on vahvaa kupariteollisuutta. Erilaisia kuparin kanssa työskenteleviä yrityksiä on projektissa mukana aina kuparin jalostuksesta kuparisen lopputuotteen myyntiin asti. Cupori Oy on Pohjoismaiden johtava LV-asennusputkien valmistaja ja yksi suurimmista teollisuusputkien toimittajista Euroopassa valmistuen kuparisia vesijohtoputkia ja ilmanvaihtokanavia. Projektissa tutkittavina tuotteina on Cupori Oy:n toimittamia kaiteita ja vesijohtoputkia. Boliden Oy on kuparin jalostaja, jonka päätuotteita ovat kuparikatodi, kulta ja hopea. Boliden Harjavalta Oy luovutti projektin käyttöön kuparin tuotantoon liittyvää osaamistaan ja rahoitusta. Abloy Oy on lukkojen, lukitusjärjestelmien ja rakennushelosten valmistaja. Se valmisti projektin käyttöön kuparisia, messinkisiä ja *Active*-pinnoitettuja ovipainikkeita. Porissa sijaitseva Aurubis Finland Oy

valmistaa kuparilevyjä, kuparikaistaletta kelassa (*strip in coil*) ja monia eri kuparilaatua teollisiin sovelluksiin. Aurubis Finland Oy osallistuu projektiin valmistamalla antimikrobisia levyypintoja sekä luovuttamalla sen käyttöön vahvaa osaamista kuparin antimikrobisuudesta. Mukana on myös Scandinavian Copper Development Association (SCDA). Se vastaa kuparituotteiden markkinoinnista ja luovutti alan osaamista projektiin. Oras Oy:n toimialaa on pääasiassa keittiö- ja kylpyhuonehanojen valmistus, toimitus ja markkinointi. Oras Oy toimittaa pilottikohteisiin kosketusvapaita hanoja ja vesijärjestelmien osia. XerChem Oy on yritys, joka tarjoaa kokonaisvaltaisia ratkaisuja vesiprosessien mikrobiologian hallintaan. XerChem Oy toimittaa projektille desinfiointijärjestelmiä. Bauer Watertechnology valmistaa vedenkäsittelylaitteita ja osallistuu projektiin toimittamalla laitteita testattavaksi. Fläkt Woods Oy on ilmankäsittelyalan asiantuntija. Se toimittaa projektille ilmastoinnin päätelaitteita ja ilmastointijärjestelmän komponentteja.

4.3 Pilottikohteet

Pilottikohteilla oli tärkeä rooli koko hankkeen ajan. Pilottikohteissa suoritetaan tuotteiden testausta oikean elämän tilanteissa ottaen huomioon käyttäjien tarpeet ja toiveet. Pilottikohteissa tutkimukset toteutettiin Living Lab -teeman mukaisesti. Tämä tarkoittaa tutkimusta ja kehitystyötä ihmisten kanssa välittömässä vuorovaikutuksessa. Tuotteiden ja rakenteiden testausta varten tarvittaviksi pilottikohteiksi oli valittu Satakunnassa sijaitsevia kiinteistöjä. Raumalla kohteena oli Teknologiatalo Sytytin, jossa sijaitsee yritysten toimistotiloja. Porissa kohteina toimivat yli 80-vuotiaille tarkoitettu vuokra-asuinkerrostalo, koulu ja sairaala. Eurajoella kohteena oli omakotitalo ja Kankaanpäässä päiväkotit. Pilottikohteissa tutkittiin rakennusteknisiä ratkaisumalleja ja tuotteita sekä kehitettiin kiinteistöjen hygieenisen laadun mittaustekniikkaa ja mittauksista syntyvän datan hallintaa ja käsittelyä.

4.3.1 Teknologiatalo Sytytin

SAMKin Vesi-Instituutti WANDER sijaitsee Raumalla Teknologiatalo Sytyttimen tiloissa, jossa toimii eri yritysten toimistotiloja. Kohteessa otettiin käyttöön huhtikuussa 2011 täyden mittakaavan veden tutkimusverkosto. Vesijohtoverkoston asennettiin tutkimuskokonaisuus, johon kuuluu putkikeräimiä, näytteenottohanoja ja jatkuvatoimisia, etäluettavia vesimittareita. Tutkimusverkosto on jaettu kahteen osaan, joissa käyttövesi tulee joko kupariputkea tai ristosilloitetusta polyeteenistä valmistettua PEX-putkea pitkin. Lisäksi kellarikerrokseen on asennettu kylmän veden monikerroksellinen komposiittiputkilinja. Tutkimusverkostosta otetuista vesinäytteistä tutkittiin veden kemiallisia, fysikaalisia ja mikrobiologisia ominaisuuksia. Lisäksi tutkittiin putkimateriaalien vaikutusta veteen. Tavoitteena oli selvittää liukeneeko putkimateriaaleista aineita tai yhdisteitä veden joukkoon ja niiden yhdisteiden terveysvaikutuksia ihmisille.

HYGTECH-projektien kannalta tärkein kohde on Vesi-Insituutti WANDERin laboratoriotilassa sijaitseva kiinteistön talousvesiverkostoa simuloiva pilottimittakaavan koeverkosto. Pilottiverkostossa yritysten on mahdollista testata laitteitaan ja materiaalejaan veden käyttäjille turvallisesti niin, ettei vesi päädy kuluttajien verkostoon. Koeverkosto on täysin erillään Teknologitalo Sytyttimen talousvesiverkostosta, joten siinä voidaan muuttaa veden laatua ja tehdä esimerkiksi saastutuskokeita. Pilottimittakaavan koeverkosto otettiin käyttöön keväällä 2012. Verkostossa on neljä kahdeksan metrin mittaista kupari- ja neljä PEX-putkijärjestelmää. Verkostossa voidaan testata muun muassa erilaisia veden desinfiointilaitteita kuormittamalla vesi ensin mikrobeilla.

Teknologiatalo Sytyttimessä on Vesi-Instituutti WANDERin tiloihin sijoitettu antimikrobisia tuotteita. WC-tiloihin on sijoitettu kosketusvapaa hana, kuparinen ovipainike, kuparinen valokatkaisija ja kuparinen wc-istuimen huuhtelupainike. Viereinen wc-tila valittiin verrokkitilaksi. WANDERin muihin tiloihin sijoitettiin kolmenlaisia ovenpainikkeita; kuparisia, messinkisiä ja *Active*-pinnoitettuja. Ulko-oven vedin vaihdettiin messinkiseksi. Tilaan asennettiin myös semielektroninen hana, jolla saadaan vettä kosketusvapaasti ja manuaalisesti. Verrokkina toimivat muiden tilojen kromatut tuotteet.

4.3.2 DiaVilla

Yli 80-vuotiaille rakennettu vuokrakerrostalo DiaVilla on laajin kokonaisuus, jossa testattiin tuotteita ja ratkaisuja. Jo kerrostalon rakennus- ja suunnitteluvaiheessa otettiin huomioon tuleva testaus käyttäjien ja hygieenisten ratkaisujen kannalta. Osaan kerrostalon asunnoista on asennettu testattavia tuotteita ja vertailun vuoksi tutkittiin myös samassa kerrostalossa sijaitsevia verrokkihuoneistoja, joissa on perinteisistä materiaaleista valmistettuja tuotteita. Huoneistoihin on sijoitettu muun muassa puolielektronisia hanoja, kuparisia, messinkisiä ja *Active*-pinnoitettuja ovipainikkeita ja kuparisia lattiakaivon kansia. Kerrostalon yhteisiin tiloihin oli asennettu myös testattavia tuotteita ja verrokkituotteita, kuten tukikahvoja. Testattavana oli 10 huoneistoa sekä ne rakennuksen käytävä- ja saunatilat, joissa oli HYGTECH-tuotteet. Vastaavanlaiset 10 huoneistoa, käytävätilat ja saunatilat toimivat verrokkitiloina.

4.3.3 Satakunnan ammattikorkeakoulu

Satakunnan ammattikorkeakoulun Porin toimipisteen liiketalouden siivessä tutkittiin ilmastointijärjestelmän pintahygieniaa vaihtoehtoisilla materiaaleilla ja tuotteilla. Muutamien eniten käytössä olevien luokahuoneiden ilmastointijärjestelmään vaihdettiin perinteisten jäähdytyspalkkien tilalle antimikrobisella pinnoitteella päällystettyjä palkkeja ja näiden välisiä eroja perinteisiin palkkeihin tarkkailtiin mitta-anturein. Käytössä

oli kaksi erilaista palkkia; hopeaa sisältävällä *Avalon*-pinnoitteella pinnoitettu palkki ja verrokkipalkki.

4.3.4 Satakunnan keskussairaala

Satakunnan keskussairaalassa tutkimuskohteena oli lastentautien osasto. Osaston neljään potilashuoneeseen oli sijoitettu tutkittavia tuotteita ja verrokkeina toimivat samantyyppiset neljä huonetta perinteisin tuottein varustettuna. Huoneiden wc-tiloihin asennettiin puoliautomaattiset hanat, *Active*-pinnoitetut ovipainikkeet, kupariset wc-istuimen vetonupit ja kupariset tukikahvat. Tähän pilottikohteeseen tullaan asentamaan myös Tampereen teknillisen yliopiston kehittämä anturijärjestelmä. Anturijärjestelmän tarkoituksena on kerätä mittatuloksia langattomalla järjestelmällä jatkuvatoimisesti sekä mahdollistaa tiedon käsittely ja mallintaminen. Anturit mittaavat muun muassa sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja pölyn määrää sekä huonetilassa tapahtuvaa liikettä.

4.3.5 Omakotitalo

Omakotitalo oli pilottikohteena HYGTECH1-projektissa. Talossa asuu myös pieniä lapsia ja se on lähes suljettu yhteisö. Omakotitalosta tutkittiin tilannetta ilman antimikrobisia tuotteita. Näytteitä otettiin, jotta saatiin vertailukohteita muiden pilottikohteiden näytteille ja hygienian tasolle.

4.3.6 Päiväkoti Petäjäinen

Päiväkoti Petäjäinen sijaitsee Kankaanpäässä. Päiväkodissa oli kaksi ryhmää, joilla oli käytössä HYGTECH-tuotteet ja kolme verrokkiryhmää. Päiväkotiin asennettiin kuparisia kaapinovien avauspintoja, tukikahvoja, valokatkaisimia (kuparista ja messingistä), lattiakaivon kansia, ulko-oven vetimiä ja elektronisia hanoja. Näistä tuotteista otettiin pintanäytteitä mikrobimäärän määrittämiseksi. Vesi- ja materiaalinäytteitä otettiin myös esimerkiksi hanojen poresuuttimista. Tutkittiin myös yleisiä ilmanvaihtoon ja ilmastointiin liittyviä asioita, kuten järjestelmän tiivyyttä ja ilman mikrobiologisia muuttujia. Ilmastointilaitteita, kuten tuloilman päätelaitteita vaihdettiin antimikrobisella pinnoitteella ja likaa hylkivällä *ClieVent*-pinnoitteella päällystettyihin laitteisiin. Näiden laitteiden ja pinnoitteiden vaikutusta hygieniaan tutkittiin pintanäytteillä. Kehitettiin myös vaihtoehtoja ilmanvaihdon parempaan hygieniaan.

5 TESTAUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN JA HYVÄKSYMISMENETTELY

5.1 Yleistä hyväksynnästä

Kosketuspinnat, ilmastointijärjestelmät ja vesijärjestelmät eroavat toisistaan huomattavasti. Yhteistä yleispätevää hyväksymismenettelyä on siis mahdotonta kehittää. Eri kohteet käsitelläänkin erikseen ja niiden käsittelytavat eroavat toisistaan. Kosketuspinoille on kohtalaisen paljon vertailukelpoisia testausmenetelmiä ja niiden perusteella voidaan kehittää HYGTECH-sovelluksiin sopiva hyväksymismenettely. Ilmastointijärjestelmä eroaa huomattavasti kosketuspinoista. Ilmastointijärjestelmän hyväksyntä jätetäänkin hyvin perustasolle. Tutkimuksessa mietitään eri järjestelmän osien hygieniää ja huomiioon otettavia seikkoja, kun halutaan kokonaan hygieeninen ilmastointijärjestelmä. Vesijärjestelmissä lähestymistapa on hyvin samanlainen kuin ilmastointijärjestelmissä. Vesijärjestelmiä koskeva lainsäädäntö ja ohjeistus eroavat erilaisissa järjestelmissä ja se tuo haasteita yhtenäisen hyväksynnän luomiseen. Seuraavassa käsitellään kunkin testausmenetelmän luomista erikseen arvioiden samalla mahdollisuutta kyseisen hyväksymismenettelyn toteuttamiseksi.

5.2 Kosketuspintojen testaus

Kosketuspintojen hyväksymismenettelyn luomisessa käytetään hyväksi olemassa olevia, kohdemateriaalien hyväksymiseen olevia testausmenetelmiä. Koska menetelmät ovat pääosin standardoituja ja edellä kuvattuja, ei niitä käydä tässä täsmällisesti läpi vaan kuvaillaan valittu menetelmä, joka saattaa olla useamman edellä kuvatun menetelmän yhdistelmä. Joiltakin osin tutkimus luo vaihtoehtoja, joista voidaan käyttökohteen mukaan valita soveltuva.

5.2.1 Kosketuspintojen näytteet

Kosketuspinoissa käytettävälle kuparille ja kupariseoksille on käytössä EPA:n materiaalitestausten menetelmä. Menetelmä testaa kuparin tehon viittä eri bakteeria vastaan. HYGTECH-tuotteeksi hyväksytään kuparimateriaalituote, jos se on EPA:n hyväksymien materiaalien listalla. Valmistajan tulee kuitenkin todentaa, että materiaali on koostumukseltaan sitä mitä luvataan. Jos tuotteelta vaaditaan kuitenkin testausta bakteereilla tai mikrobeilla, jotka eivät kuulu EPA:n testaukseen, hyväksyntä ei ole automaattinen.

Tällöin tuote pitää testata niillä mikrobeilla, jotka eivät kuulu EPA:n testaukseen. Muille kuin kuparista valmistetuille tuotteille testaus on aina pakollinen. Tehtävät testaukset pitää toteuttaa mahdollisimman samanlaisissa olosuhteissa, kuin tuotteen käyttöolosuhteet. Tällä varmistetaan tuotteen toimivuus sen käyttöolosuhteissa. Jos tuotetta käytetään normaaleissa huoneen olosuhteissa, sen testauslämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 45 %. Jos käyttöolosuhteita on monia erilaisia, testaus suoritetaan niissä kaikissa.

Tässä työssä kehitetty testausmenettely on muunnelma EPA:n kolmannen osan menettelystä ja japanilaisesta testausstandardista. Menetelmässä on otettu huomioon myös Suomessa yleisimmin sairaaloissa ja julkisissa rakennuksissa sekä kotitalouksissa esiintyvät bakteerit ja testauksen sopivuus HYGTECH-konseptiin.

5.2.2 Käytettävät bakteerit ja niiden esivalmistelut

Kosketuspinoilta on tärkeää tutkia niiltä leviäviä bakteereita, jotta voidaan varmistaa antimikrobinen toimivuus juuri näitä bakteereita vastaan. EPA:n testauksessa käytetään viittä eri bakteeria, mutta kaksi tai kolmekin riittää yleisissä tiloissa sijaitsevien tuotteiden HYGTECH-testaukseen. Viittä bakteeria käyttävä testaus on tarpeen sairaaloissa, joissa on korkea riski sairastumiselle ja usein ihmisten vastustuskyky on alentunut huomattavasti. Seuraavassa on esitelty tärkeimpiä bakteereita ja niiden ominaisuuksia. Näistä valitaan testaukseen käytettävät bakteerit.

Tässä työssä kehitetyssä menettelyssä testaus voi tapahtua muille kuin sairaalatuotteille kolmella bakteerilla ja sairaalatuotteilla viidellä bakteerilla. Kaikkia edelle koottuja bakteereita on mahdollista käyttää testauksessa. Kaikille tuotteille voidaan bakteereina käyttää esimerkiksi *S.aureusta*, *P.aeruginosaa* ja *E.colia*. *S.aureus* on yleisesti tämän kaltaisissa testauksissa käytetty bakteeri ja se on mukana myös EPA:n testauksessa. Testaukseen ehdotetaan *P.aeruginosaa* ja *E.colia* siksi, että ne sairastuttavat myös terveitä ihmisiä ja ovat hyvin leviäviä bakteereita. *E.coli* on myös hyvä indikaattoribakteeri. *E.colia* voidaan käyttää testaukseen myös jonakin tietynä kantana. Esimerkiksi *E.coli* O157:H7 on hyvin vaarallinen kanta, joka voi johtaa kuolemaan. Myös toisen viimeiseksi mainituista voi korvata esimerkiksi *E.aerogeneksellä*, jota käytetään myös EPA:n testissä. Sairaalatuotteiden testaukseen valitaan edellä mainittujen bakteerien lisäksi vielä kaksi. Näihin voi kuulua esimerkiksi MRSA ja *C.difficile*. Toisen näistä voi korvata myös VRE:llä. Nämä kaikki kolme bakteeria esiintyvät laajalti sairaalaympäristöissä ja aiheuttavat suurimman osan sairaalaympäristössä saaduista infektioista ja kuolemista. EPA käyttää testauksessaan MRSA:ta. Valitut bakteerit on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Testaukseen valittuja bakteereita.

<i>Sairaalassa käytettävät tuotteet</i>	<i>Muut tuotteet</i>
<i>S.aureus</i>	<i>S.aureus</i>
<i>E.coli</i>	<i>E.coli</i>
<i>P.aeruginosa</i> tai <i>E. aerogenes</i>	<i>P.aeruginosa</i> tai <i>E. Aerogenes</i>
MRSA tai VRE	
<i>C. difficile</i> tai VRE	

Bakteerien valintaan voidaan ottaa esimerkkiä valmiiksi suunnitelluista testeistä. Tässä tutkimuksessa esiteltyihin testauksiin ovat ammattilaiset valinneet testattavat mikrobit. Ina Nieminen Hjelt-instituutista kertoo eri testauksissa käytettävien mikrobien valitun niin, että ne edustavat sekä grampositiivisia, gramnegatiivisia, vesiperäisiä bakteereita että MRSA:ta. Mikrobeista valitaan hyvin pinnoilla säilyviä ja haastavia tuhota. (Nieminen 2014)

Bakteerien konsentraatio halutaan tuntea ennen inokulointia, jolloin lopullisen tuloksen määrittäminen on huomattavasti helpompaa. Bakteereita sisältävä kantaliuos tilataan toimittajalta, minkä jälkeen sitä muokataan hieman. Liuosta laimennetaan niin, siinä on $2,5-10 \times 10^5$ solua millilitrassa liuosta. Tämä voi vaatia usean laimennoksen. Solumäärän määrittäminen voi tapahtua esimerkiksi mikroskoopilla tai muulla siihen sopivalla menetelmällä.

5.2.3 Pintojen esivalmistelut

Pintoina testissä käytetään 3 cm x 3 cm kappaleita. Testiin valittiin tuotetta pienemmät kappaleet, koska testauksen vertailun kannalta se on helpompaa. On myös yksinkertaisempaa vertailla pesäkkeiden määrää samankokoisilta erillisiltä kappaleilta. Testin tuotteet ovat myös hyvin erimallisia. Tuotteen koko ja muoto aiheuttavat ongelmia muun muassa sonikoinnissa ja petrimaljojen käytössä. Jos testattaisiin erilaisia valmiita tuotteita, niiden testaus edellyttäisi tarkan koon ja testauskohdan määrittämisen. Testattavan kappaleen tulee olla täsmälleen samaa materiaalia ja koostumusta kuin tuotteessa oleva pinta. Jos tuote on pinnoitettu, pitää testikappaleen pinnoituksen olla paksuudeltaan samansuuruinen kuin vastaavan tuotteen. Testauskappaleita ei saa puhdistaa ennen testausta pesuaineilla eikä niitä saa pinnoittaa muulla kuin testattavalla pinnoitteella. Testissä käytetään yhteensä 25 testauspintaa, viisi viiden ryhmää. Viidelle testauskappaleelle tehdään aina samat toimenpiteet, jolloin rinnakkaisia tuloksia saadaan riittävän monta lopputuloksen luotettavuuden varmistamiseksi. Verrokkipintoina käytetään viittä kolmen ryhmää ruostumattomasta teräksestä valmistettuja kappaleita. Ruostumaton teräs on yleisin verrokkipintana käytetty materiaali. Sillä ei ole havaittu antimikrobista aktiivi-

visuutta. Verrokkipintojen avulla määritetään testattavan materiaalin antimikrobinen teho.

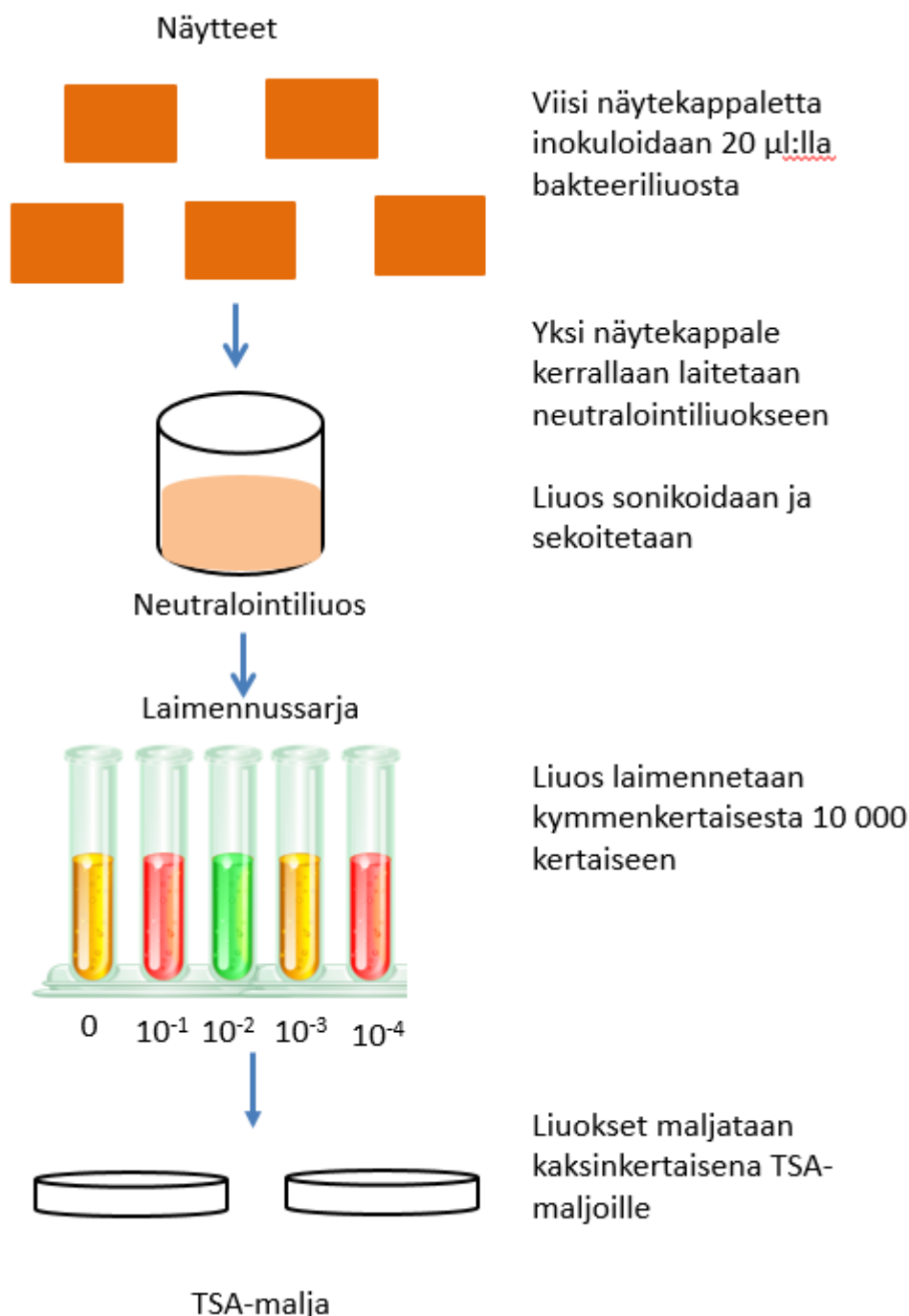
5.2.4 Testaus

Testauskappale laitetaan astiaan, esimerkiksi petrimaljaan, siten ettei se koske astian reunoihin. Pinta inokuloidaan 20 µl:lla bakteeriliuosta. Liuoksen tulee peittää kokonaan testikappale, mutta se ei saa valua sen päältä pois. Testauspintojen kuivuttua ne uudelleeninokuloidaan. Uudelleeninokuloinnit tehdään 20 µl:lla bakteeriliuosta 3, 6, 9, 12, 15, 18 ja 21 tunnin kohdalla kaikille testauskappaleille. Ajan lasku alkaa ensimmäisestä inokuloinnista. Testauskappaleryhmä (5 kpl) otetaan pois uudelleeninokulointisyklistä 2, 6, 12, 18 ja 24 tunnin kohdalla, jolloin vain yksi ryhmä on inokulointuna koko testausajan eli 24 tuntia. Ensimmäinen näyte otetaan siis lisätutkimuksiin kahden tunnin jälkeen. Viisi testauskappaleryhmää inokuloidaan siis 1, 2, 4, 6 ja 8 kertaa. Taulukossa 4 on esitetty kaaviona testauskappaleryhmien inokulointi, uudelleeninokulointi ja poisto testistä lisätutkimuksiin.

Taulukko 4. Testikappaleryhmien inokulointi ajat.

	Ryhmä 1 (5näytettä)	Ryhmä 2 (5näytettä)	Ryhmä 3 (5näytettä)	Ryhmä 4 (5näytettä)	Ryhmä 5 (5 näytettä)
inokulointi 0 h	x	x	x	X	X
uudelleeninokulointi 3 h		x	x	X	X
6 h			x	X	X
9 h			x	X	X
12 h				X	X
15 h				x	X
18 h					X
21 h					X
kokonaisinkubointiaika	2h	6h	12h	18h	24h

Kuvassa 9 on esitetty kehitetty menetelmä kaaviona. Kuvassa on yhdelle näytekappaleelle tehdyt toimenpiteet.



Kuva 9. Kaavio kosketuspintojen testausmenetelmästä

Kun testauspinta on poistettu uudelleeninokulointisyklistä, se poistetaan petrimaljasta ja laitetaan 20 ml:aan neutralointiliuosta. Neutralointiliuos pysäyttää pinnan antimikrobisen tehon. Neutralointiliuoksen pitää olla sellaisessa astiassa, että testauskappale mahtuu kokonaan pinnan alle. Liuosta sonikoidaan viiden minuutin ajan ja sekoitetaan. Näin eloonjääneet bakteerit siirtyvät testauskappaleelta liuokseen ja muodostavat suspension. Astiasta poistetaan alkuperäinen testauskappale. Suspensiosta tehdään viisiosainen laimennussarja, joista ensimmäinen on syntynyt suspensio ja neljä muuta osaa laimennettuna siitä (10^{-1} - 10^{-4}). Laimennussarjan avulla varmistetaan myös testin luotettavuus. Jokainen laimennos maljataan TSA-maljalle. TSA-malja on yleisesti käytetty malja bak-

teerien havaitsemiseen ja sopiva monille eri bakteereille. Kaikki laimennokset maljataan rinnakkaismaljoihin. Maljoja inkuboidaan 35 °C:ssa 48 tunnin ajan.

5.2.5 Tulosten raportointi

Maljoista lasketaan pesäkkeitä muodostavat yksiköt maljaa kohden. Tulokset ilmoitetaan bakteerien vähenemisenä logaritmisena lukuna tai prosentteina. Jos joku yksittäinen tulos poikkeaa huomattavasti muista tuloksista, voidaan se poistaa tulosten joukosta. Koska jokaisen näytteen pinta-ala on sama, voidaan eloonjääneiden bakteerien määrittämiseen käyttää kappaleessa 4.2.1 esiteltyjä yhtälöitä 1, 2, 3 ja 4. Näillä yhtälöillä laskettu tulos ilmoittaa bakteerien vähenemisen prosentteina. Raja-arvona on 90 %:nen bakteerien väheneminen pinnoilta. Kun tuote saavuttaa raja-arvon, saa se HYGTECH-tuotteen arvon.

5.2.6 Kelpoisuus käyttökohteeseen

Testausmenetelmä pinnoille on suunniteltu todistamaan pinnan teho vain tiettyjä bakteereita vastaan. Bakteerit on kuitenkin valittu tarkastelemalla Suomessa eniten esiintyviä bakteereita, jolloin saavutetaan mahdollisimman todenmukainen tilanne. Mallina käytettiin myös vastaavia olemassa olevia testauksia. Varmemman tuloksen tuotteen toimivuudesta antimikrobisena pintana saa, jos useampia bakteereita testataan.

Testausmenetelmä edellyttää myös tuotteen valmistajalta riittävien tietojen luovuttamista sekä tuotteen materiaalista että sen valmistamisesta. Jos testauskappale ei vastaa varsinaista tuotetta, testin tulos ei ole todenmukainen tuotteen käyttökohteessa. Testaukseen valittiin vain pienen palan käyttö eikä koko tuotetta. Tämä testausmenettely toimii hyvin sellaisille tuotteille, joilla on paljon pinta-alaa ja hyvin yksinkertainen muoto kuten pöytäpinnalla. Kuitenkin hankaluutta voivat aiheuttaa tuotteet, joiden rakenteessa esiintyy kulmia, joihin bakteerit voivat kertyä. Tällaisesta tuotteesta esimerkkinä wc istuimen vetonuppi, jossa on paljon kulmia ja vähän pinta-alaa.

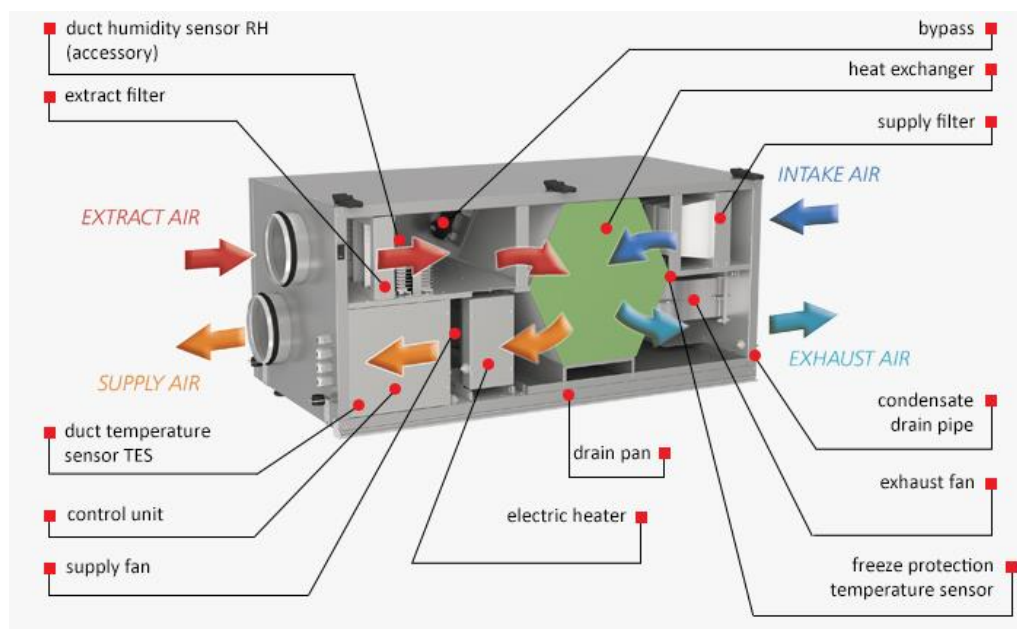
Olosuhteiden valinta on erittäin tärkeää testauksen luotettavuuden kannalta. Tuotteen antimikrobinen teho pitää voida todistaa sen käyttöolosuhteissa. Esimerkiksi hopean teho perustuu pitkälti sen kosteuteen. Usein hopean tehoa mitataankin korkeassa kosteudessa ja lämpötilassa. Tällainen testaus ei tuo todellista kuvaa hopeaa sisältävän tuotteen tehosta esimerkiksi huoneen lämpötilassa ja kosteudessa. (Kleemola 2013)

5.3 Ilmastointijärjestelmä ja sen hygienia

Ilmastointijärjestelmät koostuvat ilmanvaihtoon ja ilmastointiin liittyvistä komponenteista, jotka valitaan käyttökohteen mukaan järjestelmää asennettaessa. Järjestelmät voivat siis olla kovinkin erilaisia. Sairaala on olosuhteiltaan ja vaatimustasoltaan selvästi tavallisesti kodista poikkeava. Kuitenkin kummassakin ihmisen on pystyttävä toimimaan turvallisesti. Tässä luvussa käsitellään tavallista järjestelmää, joka edustaa valtaosaa järjestelmien käyttökohteisiin asennettavista laitteista. Ilmastointijärjestelmä on kokonaisuus, joka alkaa ulkoilma tulosta rakennukseen ja loppuu käytetyn ilman ulos puhalluksesta. Ilmastointijärjestelmä voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan, ilmastointikoneeseen ja kanavistoon. Ilmastoinnissa on myös ilman viilennyksen mahdollisuus, mutta ilmanvaihto vain vaihtaa ilman uuteen.

5.3.1 Ilmastointijärjestelmän rakenne

Tavallinen ilmastointijärjestelmä koostuu monista osista. IV-kone on kuvattu kuvassa 10. Tummansinisellä nuolella on merkitty ulkoa tuleva kylmä ja puhdas ilma ja vaaleamman sinisellä ulostuleva käytetty ilma. Oranssilla nuolella merkitty on huoneeseen menevä lämmin ja puhdas ilma ja punaisella huoneesta poistuva lämmin ja likainen ilma.



Kuva 10. Ilmastointikone. (Vents 2013)

Kun ilma tulee rakennukseen, se menee suodattimen läpi, jolloin siitä puhdistetaan ulkoilman epäpuhtauksia pois. Ilma kulkee lämmön talteenoton kautta, jolloin kylmä ulkoilma kohtaa huoneesta tulevan lämpimän ilman. Ulkoilman lämpötila nousee, kun

ilmavirrat kulkevat limittäin. Ilmavirrat eivät kuitenkaan joudu kosketuksiin toistensa kanssa. Ulkoilma johdetaan vielä lämmittimen läpi, jolloin sen lämpötila saadaan halutuksi. Ilma kulkee tuulettimen kautta, joka puhaltaa sen kanaviston kautta huoneeseen. Huoneesta poistuva käytetty ilma ohjataan lämmön talteenoton kautta ulkoilmaan.

Perusrakenteeltaan ilmastointikone on samanlainen kiinteistöstä riippumatta. Kuitenkin sairaaloihin on suunniteltu kone, jossa otetaan hygieeniset vaatimukset paremmin huomioon. Sairaalan ilmastointi on erittäin tarkasti kontrolloitua puhdistiloissa kuten leikkaussalissa, mutta myös muissa tiloissa se on hygienialtaan parempaa kuin normaalin talouden ilmastointi. Fläkt Woods Oy on esimerkiksi kehittänyt sairaalakäyttöön oman ilmastointilaitteensa, jossa on erityisesti otettu huomioon laitteen helppo puhdistaminen ja sen hygieenisuus. Ilmastointikoneessa on muutamia erityisiä asioita, jotka tekevät siitä hygieenisemmän. Koneen ovien salvat ovat integroitu ovirakenteisiin, koneessa on käytetty vain mikrobiologisesti passiivisia materiaaleja, paneelien saumat ovat tiivistetty sisäpuolisesti sienikasvua estävällä tiivisteaineella, sisäpuoliset pinnat ovat erittäin sileitä ja patterit on varustettu ulosvedettävällä altaalla. (Fläkt Woods Oy 2014) Tälle laitteelle ei kuitenkaan ole hankittuyleistä hygieniatestausta tai hyväksyntämerkintää.

5.3.2 Ilmastointijärjestelmän puhtaus

Ilmastointijärjestelmän HYGTECH-tuotehyväksyntää ei voida toteuttaa samalla tavalla kuin kosketuspintojen menettely. Ilmastointijärjestelmä on hyvin laaja käsite ja se pitää sisällään monia komponentteja kuten kuvassa 9 on nähtävissä. Ilmastointijärjestelmä voi olla erilainen eri rakennuksissa. Tässä osiossa esitetään muutamia ilmastointijärjestelmän mikrobiologisesti kriittisiä kohtia. Pohditaan mitä voidaan muuttaa tai mitä pitää ottaa huomioon, kun halutaan ilmastoinnista HYGTECH-tuote. Kosketuspintojen testausmenetelmää voidaan käyttää jossain määrin hyväksi myös ilmastointijärjestelmän puhtauden arvioinnissa. Ilmastointijärjestelmä pintoja voidaan testata edellä kehitetyllä menetelmällä. Tarpeen mukaan bakteereita voidaan vaihtaa sopivampiin ja käyttökohteesta löydettyihin bakteereihin.

Ilmastointijärjestelmän puhtaus voidaan jakaa kahteen osaan, asennuksen puhtauteen ja käytönaikaiseen likaantumiseen. Asennuksen puhtaudesta on monia asetuksia ja ohjeita. Tätä aihetta on tutkittu ja testattu paljon. Asennuksesta voi jäädä paljon epäpuhtauksia laitteistoon ja ilmastointiputkiin, minkä vuoksi tähän on kiinnitetty paljon huomiota. Toinen puhtauteen vaikuttava asia on käytöstä tulevat epäpuhtaudet. Näitä ei ole tutkittu kovinkaan paljon. Tässä luvussa käsitelläänkin juuri käytöstä tulleita epäpuhtauksia ja niiden kriittisiä kohtia ilmastointijärjestelmässä. Koska HYGTECH-tutkimus keskittyy mikrobiologian tutkimiseen, otetaan tähänkin osioon painotukseksi bakteerien esiintyminen ja leviäminen järjestelmään. Tarkasteltavaksi ovat valikoituneet asiantuntijoiden mielestä kriittisimmät kohdat koko ilmastointijärjestelmässä. Luvussa pohditaan, minkä

vuoksi kohdat ovat mikrobiologisesti kriittisiä ja mitä voitaisiin tehdä toisin mikrobiologian parantamiseksi järjestelmässä.

Ilmastointijärjestelmiä ja sisäilman puhtautta koskevat useat määräykset ja ohjeet. Paljon keskustelua on herättänyt kysymys kannattaako ilmastointijärjestelmiä puhdistaa käyttöönnoton jälkeen. Aiheesta on saatu ristiriitaisia tuloksia, joissa osassa pölyn määrä vähenee selvästi järjestelmää puhdistettaessa ja toisissa siivouksella ei ole ollut suurta vaikutusta. Mikrobipitoisuuksien on kuitenkin tutkimuksissa todettu pienentyvän puhdistuksessa. Monet tutkimukset ovat myös osoittaneet hiukkaspitoisuuksien nousun huoneilmassa puhdistuksen jälkeen. Hiukkaspitoisuudet ovat voineet pysyä jopa kuu-kauden ajan korkeammalla kuin tavallista. Kuitenkin yleisesti puhdistusta säännöllisin aikaväleillä pidetään suositeltavana. (Zuraimi 2010; Kolari 2003)

5.3.3 Puhtausluokat

Ilmastointijärjestelmän ja sisäilman puhtautta koskevista ohjeista ja säädöksistä, jvas-taavat ympäristöministeriö ja sisäilmastoyhdistys. Määräyksiä ja ohjeita ovat muun muassa sisäilmastoluokitus, Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, puhtausluokat järjestelmälle ja laitteille.

Käytettävissä olevat ilmastointijärjestelmien puhtausluokat ovat:

- Sisäilmastoluokka S1, S2, S3
- Rakennustöiden puhtausluokka P1, P2
- Ilmanvaihtojärjestelmän puhtausluokka P1, P2
- Rakennusmateriaalien päästöluokka M1, M2
- Ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokka M1

Kolmesta sisäilmastoluokasta yleisin on S2, joka on käytössä monissa toimistorakennuksissa. Ilmanvaihtotuotteilta vaaditaan puhtaudeltaan M1-luokan tuotteita. Puhtausluokat eivät määrää järjestelmän tai sen osien mikrobiologista puhtautta. Luokat määrittelevät puhtauden asentamisesta tulleiden ja käytössä kehittyneen pölyn määrän kautta. (Uusitalo 2014, Vanhapiha 2013)

Eurooppalaisessa standardissa EN-13779:2007 on luokiteltu sisäilma neljään luokkaan.

- IDA1 Hyvä sisäilman laatu
- IDA2 Keskinertainen sisäilman laatu
- IDA3 Kohtalainen sisäilman laatu
- IDA4 Huono sisäilman laatu

Ilmastoinnin asentamisen ja puhtauden ohjeita on tehnyt REHVA (Federation of European Heating and Air-conditioning Associations), joka on Eurooppalaisista ammattilaisista koostuva organisaatio. Organisaatioissa on mukana myös suomalaisia asiantuntijoita. REHVAn oppaat perustuvat saksalaiseen standardiin VDI 6022. REHVAn oppaassa numero 9 on esitetty ohjeistusta ilmanvaihdon ja ilmastoinnin hygieniaan. Oppaassa ohjeistetaan suunnittelua, asennusta ja käyttöä. Oppaan mukaan materiaalit, jotka ovat kosketuksissa korkeaan kosteuteen tai suuriin vesimääriin, eivät saa luovuttaa ravintoaineita mikro-organismien lisääntymiseen. Tärkeitä tekijöitä tuloilman laadulle ovat ulkoilmansäleikön sijoitus, järjestelmän tiiveys, kosteuden ehkäisy ja sopivien materiaalien valinta. (REHVA 2007)

5.3.4 Puhtauden tarkastaminen ja arviointi

REHVA on julkaissut oppaan ilmastoinnin ja ilmanvaihdon hygieniavaatimuksista. Kun ilmastointijärjestelmä otetaan käyttöön, sen puhtaus tarkastetaan ja tarvittaessa asennuksesta aiheutunut lika poistetaan. Puhtaus voidaan tarkistaa käytön muissakin vaiheissa. Puhtauden arviointi voi tapahtua kahdella eri tavalla, visuaalisesti tai mikrobiologisella testauksella. REHVAn oppaan mukaan hygienia pitää tarkistaa ilmastoinnista ja ilmanvaihdosta kolmen vuoden välein. Tämä koskee järjestelmiä, joissa ei ole kosteutusta. Järjestelmissä, joissa on kosteus, hygienia pitää tarkistaa kahden vuoden välein. Ilmanvaihtotuotteiden puhtauden testaamiseen on tehty myös erillinen ohjeistus, joka on Rakennustietosäätiön julkaisema. Sisäasiainministeriö on myös tehnyt asetuksen 802/2001, jonka mukaan käytössä olevat ilmastointijärjestelmät tulisi puhdistaa. (REHVA 2007; Vanhapiha 2013; Holopainen 2008)

Ilmastointijärjestelmien huolto-ohjeet ovat määritelty P1-puhtausluokan mukaisesti Vanhapihan työssä (2013). Jokaisen komponentin huolto on erilainen ja huoltovälit voivat myös vaihdella. Huollolla tarkoitetaan monien komponenttien osalla puhdistusta tai suodattimien vaihtoa.

5.3.5 Ilmastointijärjestelmien mikrobiologisesti kriittiset paikat

Ilmastointijärjestelmien mikrobiologisesti kriittisissä paikoissa mikrobit voivat lisääntyä helposti ja voivat levitä huoneilmaan. Kerääntyvä pöly luo mikrobeille hyvän kasvu-alustan. Ilmastointijärjestelmistä voidaan löytää samanlaisia mikrobeita kuin kosketuspinnoiltaakin. Yleisimpiä mikrobeita ovat *Legionella* (REHVA 2007), *P. aerigenes*, *S. aurius*, *E. coli* ja *Aspergillus niger* sekä joitain homeita (Salmela et al. 2013).

Kanavisto

Kanavat johtavat ilmavirran ilmastointikoneesta huoneisiin. Kanavat ovat kriittisiä niiden suuren pinta-alan vuoksi. Kanavistoon kertyy pölyä ja muita epäpuhtauksia. Paljon tutkimuksia on tehty kanaviston puhdistamisesta ja siitä milloin se pitäisi puhdistaa, jos ollenkaan. Vanhapihan mukaan kanaviston puhdistus pitäisi suorittaa viiden vuoden välein. Tällöin kanavisto puhdistetaan pölystä, kosteudesta ja mikrobeista. Puhdistustarvetta voidaan myös arvioida silmämääräisesti tai mittaamalla pölypitoisuutta suodatintmenetelmällä. Ilmastointikanavassa pitää olla tarpeeksi puhdistusluukkuja, jotta puhdistaminen on mahdollista. (Harju 2008; Vanhapiha 2013)

Sisäilmastoluokitus 2000:n mukaan tuloilmakanavien keskimääräinen pölykertymä suodatinkeräysmenetelmällä määritettynä ei saa ylittää 2 g/m^2 puhtausluokassa P1. (Holopainen et al. 2008) Ilmastointikanavat voivat olla muodoltaan pyöreitä tai nelikulmaisia. Pöly kertyy painovoiman vuoksi kanavien pohjalle ja voi muodostaa paksunkin kerroksen. Kanavissa käytetään materiaalina sinkitettyä teräslevyä tai ruostumatonta terästä. Pölyn kertymistä voidaan vähentää käyttämällä kanavistossa pinnoitteita tai tehdä koko kanavisto eri materiaalista. Nanopinnoitteiden hienojakoinen rakenne estää likaa tarttumasta siihen. (Harju 2008)

Jäähdytys- ja lämmityspatterit

Lämmitys- ja jäähdytyspattereita käytetään ilman lämmittämiseen, jäähdyttämiseen ja lämmön talteenottoon. Jäähdytys- ja lämmityspatterit ovat kriittisiä mikrobiologian kannalta, koska niissä on lämpötilan vaihteluita ja siksi myös kosteutta. Patterit ovat usein pinnoitettuja putki- ja lamellirakenteita. Lamellien avulla putkissa sisällä virtaava neste siirtää lämmön ilmaan. Pinnoituksen avulla lamelleihin saadaan parempi korroosion ja kosteuden kesto. Pinnoituksella voidaan mahdollistaa myös sileämpi pinta, jolloin lika ei tartu siihen. (Vanhapiha 2013) Pinnoituksen materiaalivalinnoilla on suuri vaikutus patterin kestävyteen ja puhtauteen.

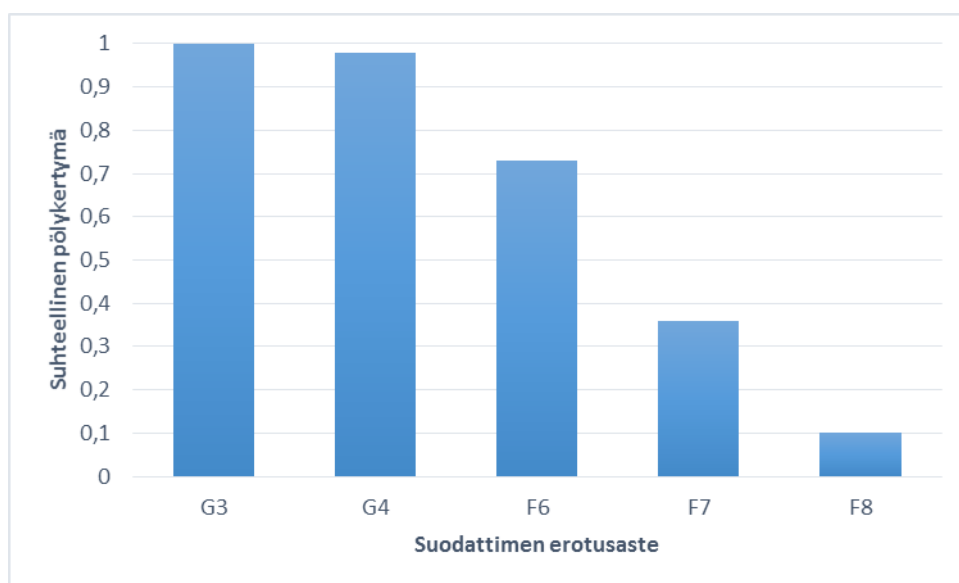
Suurin hygieniaongelma voi syntyä jäähdytyspatterin pinnalle. Jäähdytyspatterilla voidaan jäähdyttää ulkoilmaa haluttuun lämpötilaan. Kun jäähdytyspatterin ulkopinnan lämpötila laskee alle ulkoilman kastepisteen, ilman sisältämä vesi kondensoituu patterin pinnalle. Kondenssivedessä on hyvä kasvualusta sieni- ja bakteerikasvustoille. Kasvusto voi ilman mukana levitä myös huoneilmaan. (Vanhapiha 2013)

Pattereiden pinnoitukseen voisi käyttää antimikrobisia pinnoitteita vähentämään bakteerien määrää. Nanopinnoitteet ja kupari voivat olla vaihtoehtoja, kuten myös hopeaa sisältävät pinnoitteet. Hopeaa sisältävät pinnoitteet vaativat toimiakseen korkeamman kosteuden kuin huoneenkosteus. Patterin ulkopuolelle kertyvän kondenssiveden ansiosta

tämä vaatimus täyttyy. Antimikrobisten pinnoitteiden ansioista bakteerit patterin pinnalta kuolevat ennen kuin pääsevät huoneilmaan. (Vanhapiha 2013)

Suodattimet

Suodattimen tarkoitus on puhdistaa tuloilmaa epäpuhtauksilta. Suodattimia on eritasoisia ja ne suodattavat erikokoisia hiukkasia ilmasta. Suodattimen teho riippuu sen ohivirtauksesta ja hiukkaserotusasteesta. Suodattimia on yhteensä 17 eri luokkaa. Karkeasti suodattimet voidaan jakaa neljään eri ryhmään: karkeaan, hienoon korkeaan ja erittäin korkeaan erotusasteeseen. Karkeasuodattimien luokat ovat G1-G4, hienosuodattimia ovat F5-F9, korkean erotusasteen hiukkassuodattimiin kuuluu H10-H14 ja erittäin korkean erotusasteen hiukkassuodattimiin U15-U17. Suodattimien tehon vaikutusta kanaviston likaantumiseen on jonkin verran tutkittu. Holopainen ryhmineen on kirjoittanut ilmastointijärjestelmän puhdistuksesta kirjan, jossa on kuvattu myös suodattimien erotusasteen vaikutusta kanaviston likaantumiseen. Kuvassa 11 on esitetty Holopaisen kirjasta viiden eriluokan suodattimien suhteellinen pölykertymä. (Holopainen et al. 2008)



Kuva 11. Suodattimen erotusasteen vaikutus kanavan likaantumiseen eri erotusasteen suodattimilla. (Holopainen et al. 2008)

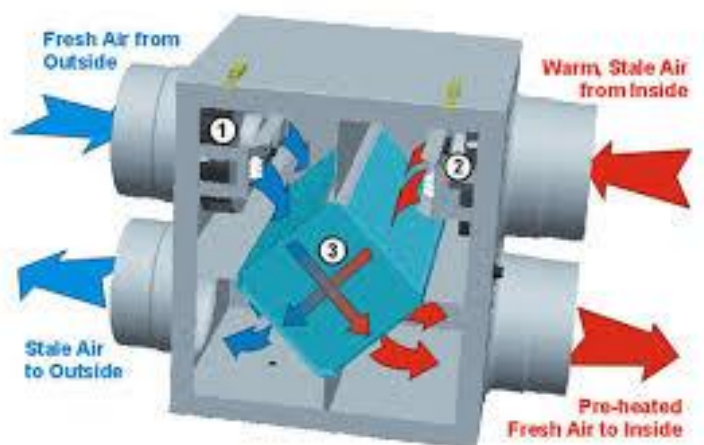
Kirjassa määritetään kanavan likaantumisen kautta järjestelmän puhdistusvälit. F8-suodattimilla puhdistusväli tulisi olla huomattavasti pidempi kuin G3-suodattimilla. (Holopainen et al. 2008)

P1-luokassa määritellään suodattimien vaihtovälit. Esisuodatin tulisi vaihtaa 3-6 kk välein ja kaksiportaisessa suodatuksessa hienosuodatin tulisi vaihtaa 6-12 kk välein. Suodattimet tulisi myös vaihtaa, jos suodatin on ollut märkä 2 viikkoa. Suodattimen kosteus

heikentää sen toimintakykyä ja voi tukkia suodattimen kokonaan. Suodattimien vaihdon yhteydessä kammiot imuroidaan ja tiivisteet tarkastetaan. (Vanhapiha 2013)

Lämmön talteenotto

Lämmön talteenotossa tuloilma ja poistoilma johdetaan saman komponentin läpi. Osien tiiveys on ratkaisevan tärkeä. Poistoilma sisältää huoneilmasta poistuvia epäpuhtauksia. Se on lämpimämpää kuin tuloilma. Energian kulutuksen kannalta on edullista, varsinkin kylmillä säillä, lämmittää tuloilmaa poistoilman avulla. Tämä kuitenkin aiheuttaa puhautauden kannalta ongelmia. Jos osien tiiveys on puutteellinen, voi epäpuhtauksia siirtyä poistoilman puolelta tuloilman puolelle. Kuvasta 12 näkee miten lämmön talteenotossa ilmavirrat menevät toistensa lomitse. Kuva ei kuitenkaan esitä, miten lämmin ja kylmä ilmavirta on erotettu toisistaan. Yleensä tämä on ratkaistu lamellirakenteella.



Kuva 12. Lämmön talteenotto. (Be green 2014)

Lämmönsiirtimien ongelmat ovat hyvin samankaltaisia kuin lämmitys- ja jäähdytyspatereilla. Myös ongelman ratkaisut voivat olla hyvin samankaltaisia. Lämmönsiirtimien pinnalle tiivistyvä vesi valuu alapuolella olevaan tilaan. Tämä tila on hyvin altis mikrobin kasvustoille. (Vanhapiha 2013)

Päätelaitteet

Päätelaitteita on monenlaisia. Niiden kaikkien käsitteleminen tässä yhteydessä on tarpeeton. Tähän työhön on valittu yleisimmät mallit ja tarkastellaan niiden hygieniaa. HYGTECH-tutkimuksessa on otettu pintanäytteitä erilaisista päätelaitteista. Päätelaitteet on pinnoitettu erilaisilla antimikrobisilla pinnoitteilla ja niiden vaikutusta hygieniaan ja sisäilmaan yritetään kartoittaa. Hankkeessa on huomattu, että vaikka itse päätelaitteen hygieniaa voidaan tutkia, niin ei ole saatu varmuutta vaikuttavatko päätelaitteen hygieeniset ratkaisut vastaavasti huoneilmaan.

Antimikrobisten pinnoitteiden valmistajat lupaavat tuotteilleen tietynlaisen tehon, mutta niiden todellista tehoa on vaikea osoittaa. Monet pinnoitteista perustuvat joko antimikrobiseen eli bakteereita tappavaan toimintaan tai siihen, että pinta on niin hienojakoinen, ettei siihen jää kiinni likaa tai pölyä. Hienojakoinen rakenne saadaan yleensä aikaan nanopinnoituksella. Antimikrobisessa pinnoitteessa aktiivinen aine voi olla esimerkiksi kupari, hopea tai titaanidioksidi. Muitakin vaihtoehtoja on olemassa. Pinnoitusta myyvän yrityksen mukaan pinnoitetun päätelaitteen likaantuminen on selvästi vähäisempää kuin tavallisen päätelaitteen. Varsinaisia riippumattoman testauslaitoksen tekemien testien tuloksia aiheesta ei kuitenkaan ole. On siis mahdotonta sanoa toimivatko pinnoitteet oikeasti parantaen huoneen ilmanlaatua.

Tässä otetaan esille nyt kaksi erilaista päätelaitetyyppiä. Ensimmäisenä käsitellään jäähdytyspalkki. Esimerkki jäähdytyspalkista on esitetty kuvassa 13. Kuvan palkki on Fläkt Woods Oy:n jäähdytyspalkki. Jäähdytyspalkista antimikrobisella pinnoitteella on pinnoitettu yleensä jäähdytyspatteri, koska se on todettu kriittiseksi kohdaksi laitteessa. Tähän osaan laitteesta voi kertyä kosteutta lämpötilavaihteluiden vuoksi. Kosteus ja pöly tekevät mikrobeille hyvän kasvualustan ja kiertävän ilman mukana mikrobit siirtyvät hengitysilmaan. (Vanhapiha 2013)



Kuva 13. Jäähdytyspalkki Fläkt Woods Oy (Fläkt Woods Oy 2014)

HYGTECH2-projektissa Satakunnan ammattikorkeakoulun tietokoneluokkaan asennettiin antimikrobisella pinnoitteella pinnoitettuja jäähdytyspalkkeja. Mikrobiologisten näyttöiden avulla yritettiin selvittää, onko pinnoituksesta apua huoneilman mikrobipitoisuuteen.

Toinen esimerkki päätelaitteista ovat ilmanvaihtoventtiilit. Esimerkit näistä venttiileistä löytyvät kuvista 14 ja 15, jotka ovat myös Fläkt Woods Oy:n valmistamia.



Kuva 14. Poistoilmanventtiili (Fläkt Woods Oy 2014) Kuva 15. Tuloilmaventtiili (Fläkt Woods Oy 2014)

Ilmanvaihtoventtiileihin kertyy helposti pölyä ja bakteereita, jotka ilmavirran mukana kulkeutuvat huoneilmaan. Varsinkin tuloilmaventtiilin puhtaus on huoneilman laadun kannalta tärkeä.

Edellä kuvatun ilmastointijärjestelmän moninaisuus asettaa antimikrobiselle hyväksyntämenettelylle vaatimukset, joita kaikkia ei tässä vaiheessa pystytä täyttämään. Järjestelmän osien suhteen tilanne on yksinkertaisempi ja pinnoille soveltuvat hyväksyntämenettelyt voidaan tehdä.

5.4 Vesijärjestelmä ja sen hygienia

Vesijärjestelmän käsittelyssä ovat samat ongelmat kuin ilmastointijärjestelmässä. Tuotehyväksyntää ei pystytä suunnittelemaan kokonaiselle järjestelmälle, vaan tyydytään pohtimaan sen mikrobiologista turvallisuutta ja koko järjestelmän vaikutusta ihmisen terveyteen tästä näkökulmasta. Esimerkkejä vesijärjestelmään soveltuvasta hyväksynnästä ei ole löydetty, vaikka testausmenetelmiä eri aineille putkissa ja vesissä onkin monia. Koska vesijärjestelmä jakautuu kahteen vastuualueeseen, järjestelmän valvominen hankaloituu. Vesilaitokselta on helpompaa edellyttää tiettyjä toimenpiteitä, mutta jos kiinteistön omistajalta ei edellytetä samoja, voi kiinteistön järjestelmä olla hyvinkin huonossa kunnossa.

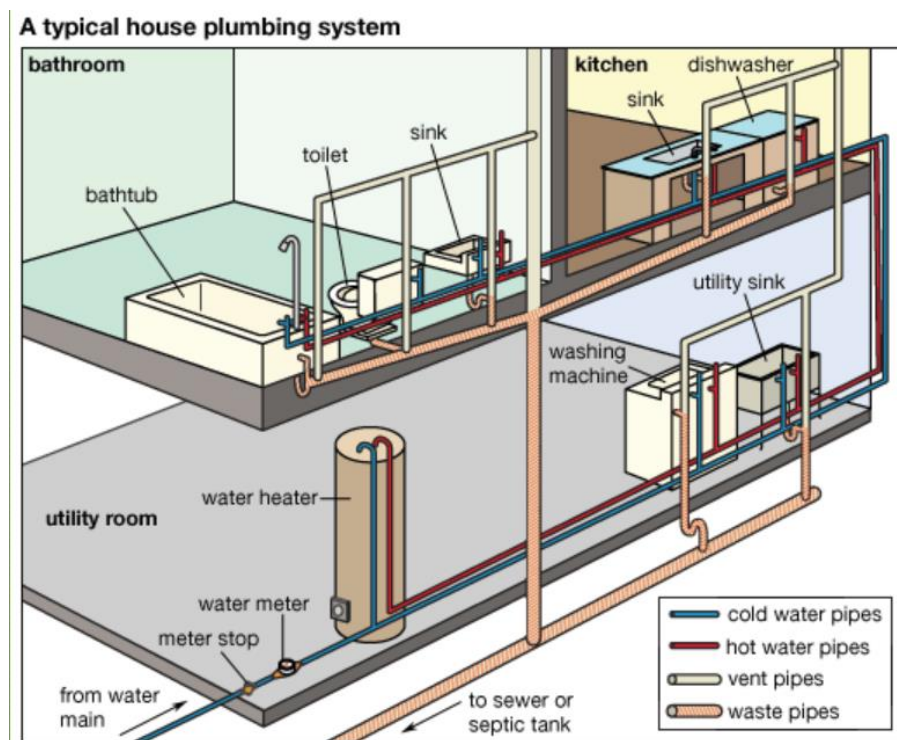
Kiinteistöjen vesijärjestelmien on olemassa tyyppihyväksyntä niille tuotteille, joille on olemassa tyyppihyväksyntäasetus. Rakennustuotteena vesijärjestelmän osat voivat saada CE-merkinnän, mutta kaikille tuotteille ei ole tällä hetkellä olemassa harmonisoitua tuotestandardia. Lisäksi juomavesikäyttöön hyväksyvä CE-merkintä ei ole mahdollinen, vaikka eurooppalainen juomavesihyväksyntä on ollut tekeillä jo vuosia.

WHO (World Health Organization) on tekemässä Water Safety Plan -ohjeistusta (WSP), joka keskittyy koko vesiketjun riskien hallintaan. Sen tarkoituksena on keskittyä ehkäiseviin toimintoihin mukaan lukien sairaudet. WSP on ajateltu ihmisen terveyden näkökulmasta. Vesijärjestelmiin liittyviä ohjeita ja hyväksyntäkäytäntöjä käsitellään enemmän luvussa 5.4.2.

5.4.1 Vesijärjestelmän rakenne

Vesijärjestelmä käsittää erilaisia osia ja niiden omistukset jakaantuvat kiinteistön omistajan ja vesilaitoksen välillä. Vesilaitoksen vastuu loppuu viimeistään vesimittariin, joka on vielä vesilaitoksen omistuksessa. Vesijärjestelmän osat ovat melko samanlaisia kiinteistön koosta tai mallista riippumatta. Julkisten ja suuria ihmisjoukkoja palvelevien rakennusten vesijärjestelmät ovat isompia järjestelmiä. Tässä työssä keskitytään pääasiassa kotitalouksien vesijärjestelmiin. Kuitenkin monet ongelmat järjestelmissä ovat samanlaisia riippumatta kiinteistön koosta tai haltijasta.

Kuvassa 16 on esitetty kiinteistön vesijärjestelmä. Kuvassa on esitetty kiinteistön putkisto, jossa on eriteltynä kuuma- ja kylmävesiputket punaisella ja sinisellä. Kuvasta näkyy myös likaisen veden kulku pois kiinteistöstä. Jätevesiputkisto on kuvassa kuvattu raidallisella putkella.



Kuva 16. Vesijärjestelmä kiinteistössä. (Britannica kids 2007)

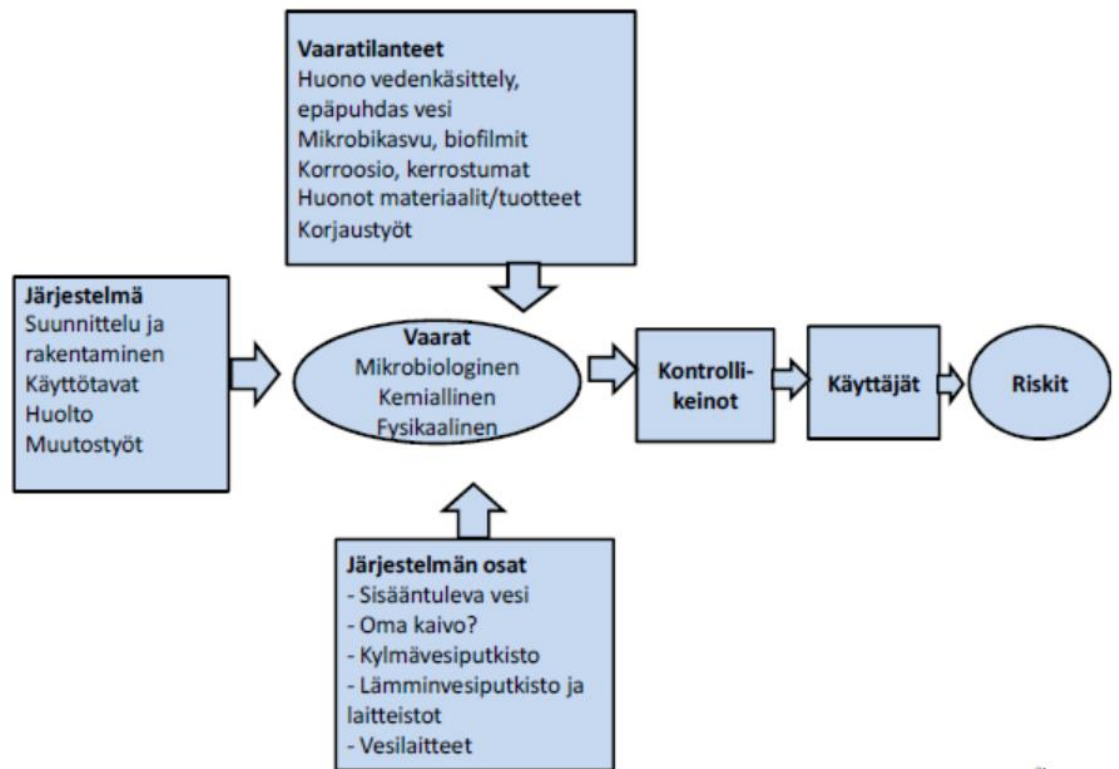
Vesimittari mittaa putkien kiinteistöön tuovan veden määrän. Osa kylmästä vedestä lämmitetään lämminvesivaraajassa lämpimäksi käyttövedeksi. Kylmä ja lämmin vesi kulkevat putkia pitkin käyttökohteisiin, kuten pyykinpesukoneeseen ja wc-tiloihin. Käyttökohteista käytetty vesi johdetaan jätevesiputkia pois kiinteistöstä.

5.4.2 Juomavesiverkoston liittyvät ohjeistukset ja määräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelma D1 on ympäristöministeriön asetus kiinteistön vesi- ja viemäri-laitteistosta. Asetus on tehty vuonna 2007 ja siinä on koottuna määräyksiä ja ohjeita vesi- ja viemäri-laitteistosta. Asetuksessa on ohjeena annettu, että vesiverkoston materiaalien pitää olla tyyppihyväksytyjä, CE-merkittyjä tai muulla luotettavalla tavalla testattuja. Asetuksessa on paljon yleisiä määräyksiä ja ohjeita vesijärjestelmän oikeasta suunnittelusta, asennuksesta ja käytöstä. Asetuksessa on ohjeita myös vesijärjestelmän mikrobiologisesta hygieniasta. (D1)

Tyyppihyväksyntä on vapaaehtoinen hyväksymismenettely, joka perustuu ympäristöministeriön asetuksiin. Ympäristöministeriö myönsi tyyppihyväksynät vuosina 2003-2008 ja sen jälkeen hyväksynnöistä on vastannut VTT Expert Services Oy. Tyyppihyväksyntä on voimassa viisi vuotta, minkä jälkeen se tulee uusiksi. Tyyppihyväksyntä on puutteellinen, koska kaikille tuotteille tai tuoteryhmille ei ole olemassa tyyppihyväksyntäasetusta, jolloin hyväksyntää ei voida antaa. Nykyinen asetuksiin perustuva tyyppihyväksyntä on kuitenkin käytössä niin kauan kunnes kehitetään yhdenmukaiset tuotestandardit tai kattava CE-merkintä. Rakennustuotteita koskeva CE-merkintä koskee myös vesilaitteistoa. CE-merkintä juomavesikäyttöön ei ole vielä mahdollinen. (Kaunisto 2013)

Water Safety Plan on WHO:n suunnittelema riskienhallintajärjestelmä. WSP:n ajatuksena on arvioida mitkä seikat aiheuttavat riskejä ihmisille ja kuinka vaarallisia ne riskit ovat. Suomessa otetaan käyttöön WSP:n pohjalta tehty veden turvallisuussuunnitelma. Suunnitelmat laaditaan erikseen vesilaitokselle, kiinteistölle ja jäteveden käsittelylle.



Kuva 17. Water Safety Plan (Kaunisto 2013)

Kuva 17 esittää kaaviona WSP:n idean ja toiminnan. Keskelle on koottu kolme erilaista riskitekijää eli vaaraa, mikrobiologinen, kemiallinen ja fysikaalinen. Näitä riskejä aiheuttavat tilanteet on koottu kaaviossa näiden yläpuolella. Vaaroihin vaikuttaa myös vasemmalle kootut järjestelmän asiat ja alhaalta löytyvät järjestelmän osat. Järjestelmä ottaa huomioon kaiken mikä voi vaikuttaa veden laatuun ja lopputuloksena saadaan arvio veteen kohdistuvista riskeistä.

5.4.3 Vedestä löytyvät mikrobit

Veden puhtauteen vaikuttavat mikrobiologiset, kemialliset ja fysikaaliset tekijät. Tämän työn tarkoituksena on keskittyä veden mikrobiologiseen puhtauteen ja siihen vaikuttaviin aisoihin. Suurimmat mikrobiologiset ongelmat vesijärjestelmissä ovat yleensä biofilmit ja veden seisominen putkistoissa.

Veteen voi kerääntyä erilaisia mikrobeita monista lähteistä. Vedestä voi löytyä ihmisen suolistosairauksia aiheuttavia bakteereita ja viruksia. Tällaisia mikrobeita veden sekaan voi siirtyä jäteveden huonolla eristämällä puhtaasta vedestä. Vedestä voi ihmiselle siirtyä myös ympäristöpatogeneja. Tällaisia organismeja voi kasvaa putkistossa ja vedenjakelujärjestelmissä. Mikrobita ovat muun muassa *Legionella* spp., *Listeria* ja *Pseudomonas aeruginosa*. Sairaalaympäristöstä on löydetty myös bakteereita ja sieniä

kuten *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp., *Burkholderia cepacia* ja *Aspergillus*. Suurin huolenaihe ja sairauksia aiheuttava bakteeri ympäri maailman on *Legionella* spp. (WHO 2011, Kaunisto 2013)

Legionella on maailman laajuisesti suurin ongelma ja sen ehkäisyyn on kehitetty erilaisia standardeja ja ohjeistuksia. (Kaunisto 2013) *Legionella* -bakteereita esiintyy pieniä määriä luonnon vesissä ja maaperässä. Se voi lisääntyä vesijärjestelmissä ja aerosolien mukana siirtyä hengitysilmaan esimerkiksi suihkussa tai suihkulähteistä. *Legionella* -bakteeri aiheuttaa ihmisellä keuhkokuumetta. Sairaus on vakava, koska asianmukaisesta hoidosta huolimatta se johtaa 20 %:lla sairastuneista kuolemaan. Bakteeri tarvitsee lisääntyäkseen 20-45 °C:een lämpötilan ja ravinteita, joita se saa vedessä esiintyviltä muilta bakteereilta. *Legionella* -tartunnat on ilmoitettava tartuntatautirekisteriin ja tartuntojen määrää seurataan. (Kanerva et al. 2003, THL 2013)

Mikrobit saavat kasvuun tarvittavat ravinteet vedessä olevista kemikaaleista. Suomessa on asetettu raja-arvot monille näistä kemikaaleista. Tällaisia ravinteita mikrobeille ovat useat typen, hiilen, fosforin, metallien ja rikin yhdisteet. Useat kemikaaliyhdisteet ovat myös vaarallisia ihmiselle. Suomessa fosforin muodostama fosfaatti on rajoittava tekijä biofilmien muodostuksessa ja mikrobien kasvussa. (Mäkinen 2008)

5.4.4 Putkiston rakenteen aiheuttamat mikrobiologiset ongelmat

Putkiston rakenteella on suuri vaikutus biofilmien syntyyn ja veden laatuun. Myös putkiston materiaaleilla on vaikutusta veden laatuun. Biofilmit syntyvät ja *legionella* -bakteerit lisääntyvät usein putkissa, joissa veden virtaus on pientä tai olematonta. Rakenteeltaan tällaiset paikat voivat olla mutkien ulkosyrjien kuolleet kulmat, pitkät putkilinjat, paljon haaraputkia ja monimutkaisissa rakenteita sisältävät putkistot sekä vanhoissa järjestelmissä olevat huonosti hoidetut putket. Putkiston epäsäännöllinen käyttö voi aiheuttaa myös veden seisomista ja siten bakteerien lisääntymistä putkistoissa. Biofilmejä syntyy kaikkiin putkistoihin, mutta kun ne leviävät koko putkistoon ja kehittyvät runsaiksi, ne alkavat aiheuttaa ongelmia. Ongelmat syntyvät usein, kun biofilmeistä irronneet mikrobit kulkeutuvat veden mukana käyttöveteen. Suurin määrä mikrobeita irtoaa biofilmeistä, kun veden virtaukseen tulee paineen vaihteluita. Biofilmien poistaminen putkistoista ja muista järjestelmän osista on erittäin vaikeaa. (Kaunisto 2013)

Putkistoista voi liueta materiaaleja, jotka ovat hyviä ravintoaineita mikrobeille. Erityisesti silloin putkistomateriaaleja voi liueta, jos putkistoissa kulkeva vesi on syövyttävää. Vesijärjestelmiin hyväksytyjä materiaaleja on muun muassa teräs, kupari, messinki ja polyeteeni. Mikrobiologinen korroosio on mikrobien aiheuttamaa materiaalien vaurioitumista. Materiaalien vaurioituminen kiihdyttää mikrobien kasvamista vaurioituneissa

kohdissa. Mikrobiologinen korroosio on isompi ongelma metalleilla, mutta sitä on havaittu myös muilla materiaaleilla, kuten muovimateriaaleilla. (Kaunisto 2013)

5.4.5 Mittalaitteita ja veden puhdistimia

Erilaisia on-line-mittalaitteistoja on kokeiltu seuraamaan veden puhtautta jatkuvatoimisesti. Yksi tällainen laitteisto on NWater -yrityksen laitteisto, joka oli testikäytössä Hygtech1 -projektissa. Jatkuvatoiminen mittauslaitteisto mittaa sensorien avulla partikkelien ja mikrobien määrää. Jatkuvatoiminen mittaus mahdollistaa nopean reagoinnin, kun veden laatu huononee. (NWater 2014)

Veden puhdistukseen on maailmanlaajuisesti monenlaisia laitteistoja. Vesilaitoksissa käytettävien laitteiden lisäksi on myös pienemmän mittakaavan laitteistoja, joilla voidaan puhdistaa yksittäisen kiinteistön tai sen osan vettä. HYGTECH -projektissa mukana olevan Xerchemin vedenpuhdistuslaite muodostaa elektrokemiallisesti oksidantteja suolaliuoksesta. Laite muodostaa 50 – 4 000 g oksidantteja tunnissa. Ne estävät bakteerien, sienien ja virusten kasvun. Tämän laitteen luvataan tuhoavan *legionella* -bakteereja ja parasittejä sekä estävän ja tuhoavan myös biofilmejä. (Xerchem 2013)

Veden puhdistuslaitteisto voi toimia myös ultravioletivalon avulla. UV-valo desinfioi vedestä bakteerit ja mikrobit. UV-valo on silmin näkymätöntä valoa ja sen aallonpituus 10 - 400 nm. UV-desinfiointilaitteella pyritään tuottamaan 254 nm valoa, joka on aallonpituudeltaan lyhyempiä siten energisempää kuin auringosta tuleva 315 - 400 nm valo. Valo tuotetaan kaasunpurkauslamppuissa. Voimakas UV-valo tunkeutuu taudinaiheuttajan eli bakteerin tai viruksen soluseinämän läpi ja aiheuttaa sen DNA:ssa jakaantumisen sekaannuksen. Bakteeri tai virus ei voi enää monistua ja lisääntyä, jolloin se ei voi enää vahingoittaa ihmistä. Oikein mitoitettuna UV-desinfiointilaitteen luvataan tappavan jopa 99,9 % bakteereista. (Watman 2014)

5.4.6 Ratkaisuja havaittuihin ongelmiin

Vettä voidaan käsitellä erilaisilla vedenkäsittelylaitteilla. Käsittelyyn sopivia paikkoja on monia ja niillä voidaan vaikuttaa eri kohdissa syntyviin ongelmiin vedessä. Puhdistusta voidaan tehdä eri menetelmillä kuten suodattamalla tai desinfioimalla. Putkistolle voidaan suorittaa myös mekaanista puhdistusta. Puhdistaminen voi olla hankalaa, varsinkin laajoille putkistoille. Putkien mekaaninen puhdistaminen ei takaa, että biofilmit saadaan täydellisesti pois. (WHO 2011)

Legionella -bakteerin torjumiselle tärkeintä on veden lämpötilan säätäminen niin että kylmä vesi on alle 20 °C:ta ja lämmin vesi yli 50 °C:ta. (THL 2013, D1) Tällöin lämpötila ei ole kummassakaan putkistossa suotuisa bakteerin lisääntymiselle. Lämmin vesi ei

kuitenkaan saa olla yli 65 °C, jotta voidaan välttyä tapaturmilta. (Kaunisto 2013, D1) Muille bakteereille on tärkeää hyvä lämpötilojen kontrollointi järjestelmässä. Veden desinfioinnilla voidaan vaikuttaa myös bakteerien esiintymiseen putkistoissa. (THL 2013) Biofilmien määrän vähenemiseen ei ole löydetty ratkaisuja. Paljon on testattu kuparin antimikrobista vaikutusta biofilmeihin ja bakteereihin vedessä. Vaikka kuparilla on todistettu vaikutus bakteereihin kosketuspinoilla, sen vaikutusta veden laatuun ja vedessä eläviin bakteereihin ei ole todettu. (Inkinen et al. 2013, Lehtola et al. 2006) On kuitenkin todettu, että metallisille pinnoille kertyy vähemmän biofilmejä kuin orgaanisille pinnoille. (Kekki et al. 2007)

Veden juoksuttaminen tasaisin väliajoin estää putkistossa seisomisesta aiheutuvaa mikrobikasvuston syntymistä. Loma-aikoina tai pitkän poissaolon sattuessa voi automaattijuoksutus olla hyvä ratkaisu kiinteistön putkistoille. Automaattijuoksutuksessa hana mittaa käyttöiheyttä ja, kun se on ollut tarpeeksi kauan käyttämättä, automaattisesti juokuttaa vettä tietyn aikaa. Näin putkistoissa ei pääse vesi seisomaan liian kauan.

Mahdollisimman hyvän mikrobiologisen puhtauden takaamiseksi olisi hyvä jo LVI-asentajien ja suunnittelijoiden olla tietoisia riskikohdista ja seikoista, jotka veden laatuun vaikuttavat. Putkiston rakenteen hyvä suunnittelu voisi ennaltaehkäistä ongelmia.

Kuten voidaan huomata, on veden ja vesijärjestelmien antimikrobisten ominaisuuksien hallinta monen osatekijän summa ja vaatii laajaa tarkastelua hallita koko järjestelmän puhtautta.

5.5 Hyväksyjä ja testauksen suorittaja

Hyväksymismenettelyissä hyväksyjällä on tärkeä rooli. Tällaiseen toimintaan on monia erikoistuneita yrityksiä, kuten Suomessa esimerkiksi Inspecta. Sopiva hyväksyjä löydetään usein, kun mietitään tuleeko hyväksyntämenettelystä vain Suomen laajuinen vai halutaanko heti Euroopan tai maailman laajuinen hyväksyntä eli onko tuotteita tarkoitus markkinoida laajemmin. Tämän tutkimuksen ensisijainen malli tehdään Suomen alueelle, mutta myöhemmin mahdollisesti sovellettavaksi myös ulkomailla. Hyväksynnän myöntävä taho voi periaatteessa olla mikä tahansa, mutta jo valmiiksi maineikas ja asiantunteva taho tuo hyväksynnälle luotettavuutta. Vaihtoehtoisiksi nousevat lähinnä Inspecta tai projektissa mukana ollut SAMKin Vesi-Instituutti WANDER. Inspectan puolesta puhuu sen asema Suomessa. Sillä on kokemusta hyväksynnän myöntämisestä muilla tuotteilla ja se voidaan kokea luotettavaksi tahoksi. Inspecta pystyy toteuttamaan testauksen itse ja siltä löytyy resursseja jo valmiiksi. Vesi-Instituutti WANDER on ollut projektissa mukana alusta asti ja sieltä löytyy tästä asiasta vankkaa osaamista. Kuitenkin

Vesi-Instituutti on tuntematon monille ja se voi herättää epäluotettavuutta. Hyväksynnän myöntäjiksi voisi ajatella myös Valviraa tai ympäristöministeriötä.

Hyväksynnän myöntäjän ei tarvitse olla sama kuin testauksen suorittajan. Mahdollista on myös järjestää vaikka niin, että Vesi-Instituutti myöntää itse hyväksynnän ja määrittää testaukselle sopivat tahot, joissa testauksen voi tehdä. Ennalta määrätyillä testauslaitoksilla on mahdollisuudet tehdä tarvittavat määritykset vaaditulla tavalla. Testauksen tekevältä laitokselta edellytetään laajaa mikrobiologian osaamista ja resursseja toteuttaa testausta. Suomessa tällaisia laitoksia ei ole kovin montaa. Yhtenä varteen otettavana vaihtoehtona on Helsingin yliopiston Hjelt-instituutti kosketuspintojen osalta, jolla on jo valtuudet suorittaa EN-standardeihin perustuvia antimikrobisuuden osoittavia testejä.

6 TUTKIMUKSEN ARVIOINTI

6.1 Hyväksymismenettelyn kehittäminen

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää hyväksymismenettely hygieniää parantaville tuotteille lähinnä kiinteistöihin liittyen. Nämä tuotteet jaettiin kolmeen eri osaluueeseen: kosketuspintoihin, ilmastointijärjestelmiin ja vesijärjestelmiin. Osa-alueet käsiteltiin erikseen ja niitä lähestyttiin hieman eri tavoin. Tutkimuksen edetessä huomattiin, että yhden hyväksymismenettelyn luominen kaikille tuotteille oli mahdotonta. Hyväksymismenettelyn perusrakenteeseen ja hyväksynnän myöntäjään otettiin kantaa ja tehtiin ehdotus, miten menettely voitaisiin toteuttaa.

Kosketuspinoille kehitettiin testausmenetelmä, jonka avulla kosketuspintatuotteita voidaan hyväksyä HYGTECH-tuotteiksi. Testaukseen käytettävät bakteerit ovat valittavissa käyttökohteen mukaan, mutta tutkimuksessa on annettu ehdotuksena yleisimmät testauksissa käytettävät bakteerit. Kosketuspinoille kehitettyä testausmenetelmää voidaan tarpeen mukaan soveltaa kaikille pinnoille, myös vesi- ja ilmastointijärjestelmissä käytettäville pinnoille. Hyväksymismenettelyssä on luonnollisesti otettava huomioon testausmenetelmän lisäksi testaajan ja hyväksyjän valinta sekä laadittava suunnitelma siitä miten hyväksyntää ylläpidetään. Testaajasta ja hyväksyjästä on esitetty ehdotus.

Sekä ilmastointijärjestelmien että vesijärjestelmien tarkastelussa todettiin, että järjestelmät ovat niin monimutkaisia ja käsittävät niin monenlaisia osia, että niiden tarkastelu tavoitteena luoda kattava hyväksymismenettely ei ollut tämän työn aikataulun puitteissa mahdollista. Vaikeaksi tavoitteen toteuttamisen tekee järjestelmien laajuus sekä osaaminen, jota tarkasteluun tarvittaisiin. Järjestelmien syvälinen tarkastelu edellyttäisi rakennusteknistä ja LVI-alan osaamista. Työssä kuitenkin tarkasteltiin näiden järjestelmien osalta kriittisiä kohtia ja niissä esiintyviä ongelmia. Joihinkin mikrobiologisiin ongelmiin ehdotettiin ratkaisuja.

6.2 Jatkokehitys

Tässä työssä luotiin pohja asian laaja-alaiselle ymmärrykselle, kehitettiin hyväksymismenettelyn teoreettinen malli kosketuspinoille sekä tutkittiin asiaa ilmastointi- ja vesijärjestelmien osalta. Jatkokyöskentelyä kuitenkin tarvitaan, jotta hyväksymismenettely saadaan viimeisteltyä täysin kaupalliseen soveltamiseen tuotteiden markkinointia ajatellen. Hyväksymismenettelyn myöntäjää ei ole valittu eikä menettelyn rakennetta kehitet-

ty lopullisesti. Kosketuspintojen testausmenetelmää ei päästy toteuttamaan käytännössä, joten kokeilemalla sitä laboratorio-olosuhteissa voidaan menetelmä hioa lopulliseen ja toimivaan malliin, ja samalla laatia suunnitelma hyväksynnän ylläpidosta.

Ilmastointijärjestelmät ja vesijärjestelmät vaativat lisätutkimuksia, jotta voidaan kehittää hyväksymismenettelyt myös näille laajoille tuotekokonaisuuksille. Näiden järjestelmien osalta jatkokehitys tarjoaakin hyvän haasteen rakennus- tai LVI-alan opiskelijalle vaikkapa opinnäytetyön aiheeksi.

7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli hyväksymismenettelyn luominen tietyille kiinteistöjen rakennusteknisille ratkaisuille. Hyväksymismenettely tarvitaan, jotta tuotteita voidaan markkinoida määritellyt hygieenisyykskriteerit täyttävinä tuotteina kohteisiin, joissa hygienian merkitys on korostetun suuri. Tarve hyväksymismenettelylle syntyi aiheeseen liittyvässä tutkimushankkeessa ja siksi siitä muodostui opinnäytetyöksi rakennettu tutkimuskokonaisuus.

Tuotteet, joille hyväksymismenettelyä lähdettiin kehittämään, valikoituivat muussa osassa hanketta pilottimittakaavaisessa testauksessa olevien tuotteiden joukosta. Tällaisia tuotteita ovat erilaiset kosketuspinnat kuten ovipainikkeet ja tukikahvat tiloissa, joissa mikrobien leviäminen on poikkeuksellisen suurta. Lisäksi hankkeessa tutkitaan ilmastointi- ja vesijärjestelmiä samankaltaisissa tiloissa. Näin ollen tutkimustehtävä jaettiin kolmeen osaan; kosketuspinnat, vesijärjestelmät ja ilmastointijärjestelmät.

Tutkimuksen edetessä kävi varsin ilmeiseksi, että kosketuspintojen osalta hyväksymismenettelyn vieminen käytännön toteutuksen tasolle on rajattava tämän työn ulkopuolelle, koska mahdollisuus testausmenetelmän laboratoriomittakaavaiseen todentamiseen ei ollut mahdollista hankkeen tässä vaiheessa. Testausmenetelmä oli kuitenkin mahdollista mallintaa teorian pohjalta konkreettisen tekemisen vaiheeseen asti. Sen sijaan ilmastointi- ja vesijärjestelmien tarkastelu antoi kuvan erittäin monimutkaisista ja moniosaisista järjestelmistä, joiden tarkastelu tulisi ulottaa useisiin erilaisiin komponentteihin ja materiaaleihin yhtenäisen ja täydellisen hyväksymismenettelyn luomiseksi. Kyseisten järjestelmien monipuolinen tarkastelu syvensi ymmärrystä niiden mikrobiologisista piirteistä ja ongelmakohdista. Joitakin järjestelmien mikrobiologisia ominaisuuksia parantavia ratkaisuehdotuksia syntyi myös järjestelmiin niiden antimikrobisia ominaisuuksia koskien samalla kun teoriaa peilattiin järjestelmiin. Järjestelmien osalta kosketuspinoille laadittua testausmenetelmää voidaan luonnollisesti soveltaa ilmastointi- ja vesijärjestelmiin silloin kun on kyse vastaavista tuotteista ja materiaaleista.

Yleensä hyväksymismenettely kattaa paitsi todennettavan testausmenetelmän, myös hyväksymisen myöntämisen ja sen hyväksymismerkinnän ylläpidon tarkistusmenettelyineen ja -välinein. Tämä tutkimus etenee vain testausmenetelmän teoreettiseen luomiseen asti. Siitä eteenpäin menettelyn kehittäminen jää yritykselle tai organisaatiolle, joka ottaa menettelyn myöntääkseen.

Vaikka hyväksymismenettelyn luominen jää puutteelliseksi, luo tämä tutkimus hyvän pohjan menettelylle. Se laatii testausmenetelmän kosketuspinnolle ja lisäksi avaa ilmastointi- ja vesijärjestelmiin liittyvää ongelmatiikkaa ja mahdollisia ratkaisuja hygieenisyyden edistämiseksi myös niissä. Hygieenisuus ja erityisesti hygieniää parantaviksi tuotteiksi määritellyt kiinteistörakentamiseen liittyvät ratkaisut ovat vasta tulollaan. Jotta kyseisistä tuotteista voi muodostua kaupallistettuja ratkaisuja, jotka on suunniteltu varsinaisesti hygieenisyyttä korostaviin kohteisiin kuten sairaaloihin, päiväkoteihin kouluihin, hyväksymismenettely varmuudella tarvitaan. Tässä työssä on siihen hyvä alku.

LÄHTEET

Antimicrobial Copper [WWW]. 2012. [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: <http://www.antimicrobialcopper.com/uk/>.

Be green. Heating and cooling with renewable energy [WWW]. 2014. [viitattu 6.5.2014]. Saatavissa: <http://www.begreensystems.co.uk/ventilation.html>.

Britannica kids. [WWW]. 2007. [viitattu 25.5.2014]. Saatavissa: <http://kids.britannica.com>.

Casey, A.L., Adams, D., Karpanen, T.J., Lambert, P.A., Cookson, B.D., Nightingale, P., Miruszenko, L., Shillam, R., Christian, P. & Elliott, T.S.J. 2010. Role of copper in reducing hospital environment contamination. *Journal of Hospital Infection* 74, 1, pp. 72-77.

CDC, Center for disease control and prevention [WWW]. 2014 [viitattu 1.4.2014]. Saatavissa: <http://www.cdc.gov/>.

DI Rakentamismääräyskokoelma [WWW]. 2007. [viitattu 26.5.2014]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf.

Duodecim. Terveyskirjasto [WWW]. 2014. [viitattu 1.4.2014]. Saatavissa: <http://www.terveyskirjasto.fi>.

EPA United States Environmental Protection Agency [WWW]. 2013. [viitattu 5.11.2013]. Saatavissa: <http://www2.epa.gov>.

ERMS/Fimera Oy. Vihreä rakentaminen [WWW]. 2014. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.erms.fi/>.

Fläkt Woods Oy. [WWW]. 2014. [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/>.

Fujishima, A., Zhang, X. and Tryk, D.A., 2008. TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface Science Reports*, **63**(12), pp. 515-582.

Harju, P. 2008. Ilmastointitekniiikan oppikirja 1. 1. painos. Anjalankoski, Solverpalvelut Oy. 173 s.

Holopainen, R., Pasanen, P., Railio, J., Säteri, J., Virranta, P. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus: tavoitteena hyvä energiataloudellinen sisäilmasto. Keuruu, Otavan Kirjapaino Oy. 134 s.

Inkinen, J., Kaunisto, T., Pursiainen, A., Miettinen, I.T., Kusnetsov, J., Riihinen, K. & Keinänen-Toivola, M.M. 2014. Drinking water quality and formation of biofilms in an office building during its first year of operation, a full scale study. *Water research* 49, 0, pp. 83-91.

Inspecta. CE-tuotesertifiointi rakennustuotteille [WWW]. [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: <http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Sertifiointi/Tuotesertifiointi/CE-tuotesertifiointi/#.UoCpbOJQ2P8>.

ISO-22196. Plastics-Measurement of antibacterial activity on plastic surfaces. Switzerland 2007, International standard. 22 s.

JIS Z 2801. Antimicrobial products – Test for antimicrobial activity and efficacy. 2000. Japanese Standards Association. 14 s.

Kanerva, M., Mentula, S., Lyytikäinen, O., Ruutu, P., Kusnetsov, J., Nuorti, P. Legionelloosin seuranta ja torjunta tehostuvat. *Suomen lääkirilehti*. [WWW]. 2003. s. 4915-4919 [viitattu 25.5.2014]. 48/2003 Saatavissa: http://www.thl.fi/attachments/Infektiotaudit/Torjuntaohjeet/legionelloosin_seuranta_ja_torjunta_tehostuvat.pdf.

Kaunisto, T. Kiinteistön vesijärjestelmien riskihallinta. [WWW]. 2013. [viitattu 26.5.2014]. Saatavissa: www.samk.fi/wander.

Kekki, T., Kaunisto, T., Keinänen-Toivola, M., Luntamo, M. Talousveden kanssa kosketuksissa olevat verkostomateriaalit Suomessa. [WWW]. 2007. [viitattu 25.5.2014]. Saatavissa: www.samk.fi/wander.

Kleemola, H. 2013. Antimikrobisten materiaalien toimivuus kiinteistöjen pinnoilla. Kandidaatintyö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Kolari, S. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistuksen vaikutus toimistorakennusten sisäilman laatuun ja työntekijöiden työoloihin. Espoo, VTT Publications 497. 2003.

LEED [WWW]. 2014. [viitattu 17.1.2014]. Saatavissa: <http://www.usgbc.org/>.

Lehtola, M.J., Laxander, M., Miettinen, I.T., Hirvonen, A., Vartiainen, T. & Martikainen, P.J. 2006. The effects of changing water flow velocity on the formation of biofilms and water quality in pilot distribution system consisting of copper or polyethylene pipes. *Water research* 40, 11, pp. 2151-2160.

Mäkinen, R. Drinking water quality and network materials on Finland, summary report. [WWW]. 2008. [viitattu 26.5.2014]. Saatavissa: www.samk.fi/wander.

Nieminen, Iina. 2014. Hjelt-instituutti, Hygienian ja mikrobiologian laboratorio, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 2.5.2014.

Nordic Poly Mark. [WWW]. [viitattu 17.1.2014]. Saatavissa: <http://www.nordicpolymark.com/>.

NWater, [WWW]. 2014. [viitattu 28.5.2014]. Saatavissa: <http://www.n-water.com>.

OECD, OECD Series on principles of good laboratory practice and compliance monitoring, ENV/MC/CHEM(98)17. 1998. [viitattu 15.1.2014] Saatavissa: <http://indiaglp.gov.in/docs/No1.pdf>.

OECD, Guidance document on the evaluation of the efficacy of antimicrobial treated articles with claims for external effects, ENV/JM/MONO(2008)27. [WWW]. 2008. [viitattu 15.1.2014] Saatavissa: www.oecd.org.

Page, K., Wilson, M., Parkin, I., 2009, Antimicrobial surfaces and their potential in reducing the role of the inanimate environment in the incidence of hospital-acquire infections. *Journal of materials chemistry*, **19**(23), 3818-3831.

Rai, M., Yadav, A. and Gade, A., 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, **27**(1), pp. 76-83.

REHVA, Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and -units. 2007. Forssa. 195 s.

Salmela, H., Kulmala, I., Salo, S., Haapalainen, K. 2013. Ilmastointipalkkien ja ilmanvaihtokanavien puhdistaminen ja desinfiointi terveydenhuollossa. In: Säteri, J., Backman, H. Sisäilmastoseminaari 2013. Jyväskylä, SIY Sisäilmätieto Oy. s. 225-230
THL Terveyden ja hyvinvoinninlaitos. [WWW]. 2014. [viitattu 26.5.2014]. Saatavissa <http://www.thl.fi>.

SFS-EN 13697. Kemialliset deinfektioaineet ja antiseptiset aineet. Helsinki 2001, Suomen standardoimisliitto. 33 s.

Uusitalo, J. Sisäilmaluokitus [WWW]. 2014. [viitattu 7.4.2014]. Saatavissa: <http://talotekniikka.wikispaces.com/sisailmaluokitus>.

Vanhapiha, R. ilmastointilaitoksen puhtaus ja hygienia. 2013. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Vents. [WWW]. 2013. [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: <http://www.ventilation-system.com/>.

Watman, UV-desinfiointi. [WWW]. 2014. [viitattu 28.5.2014]. Saatavissa: <http://www.watman.fi/pdf/UV-laite.pdf>.

WHO, Water safety in buildings. 2011. [viitattu 15.5.2014]. Saatavissa: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548106_eng.pdf.

Xerchem [WWW]. 2013. [viitattu 28.5.2014]. Saatavissa: <http://www.xerchem.com>.

Ympäristöministeriö. CE-merkintä [WWW]. 2013. [viitattu 11.11.2013]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/fi-FI>.

Zuraimi, M.S. 2010. Is ventilation duct cleaning useful? A review of the scientific evidence. *Indoor air* 20, 6, pp. 445-457.