

Työpaperi 53/2022

Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennus- materiaalista - aineistokatsaus

Annika Viljamaa, Hanna Leppänen, Kaisa Jalkanen, Anniina Salmela,
Anne Hyvärinen

Kosteusvaurioituneissa rakennuksissa tyypillisesti esiintyvistä mikrobeista, ns. kosteusvaurioindikaattorimikrobeista, julkaistiin ensimmäinen kansainvälisen tutkijaryhmän laatima konsensuslista vuonna 1992 (ns. ”Baarnin lista”). Lista perustui kosteusvaurioituneiden rakennusten sisäilmassa havaittuihin tyypillisiin mikrobeihin. Suomalaiset asiantuntijalaboratoriot ovat täydentäneet ko. listaa tutkimustulostensa sekä kokemuksensa perusteella ja lisänneet listaan myös pinta- ja materiaalinäytteiden indikaattorimikrobeja. Sienten systematiikan tutkimus on kehittynyt jatkuvasti viimeisen 30 vuoden aikana ja näin ollen myös indikaattorilistan mikrobien nimeämissäntöjä on ajan mittaan muutettu. Asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeessa (Valvira 8/2016) on indikaattorimikrobilista, jota käytetään soveltamisohjeen mukaisten menetelmien yhteydessä osoittamaan viite mikrobikasvustosta tilanteissa, joissa näytteen mikrobipitoisuudet ovat koholla, mutta eivät ylitä mikrobikasvuston osoittavaa pitoisuutta.

Muutokset erilaisten rakennusmateriaalien ja rakennustapojen käytössä vuosikymmenien kuluessa, samoin kuin ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset ympäristöolosuhteisiin ovat nostaneet esiin tarpeen tarkastella kosteusvaurioindikaattorimikrobilistan toimivuutta osana rakennusmateriaalinäytteen analysointia nykypäivänä.

Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennusmateriaalista (KIMI) -hankkeessa tarkasteltiin rakennusmateriaalinäytteiden tulosten tulkinnan tukena käytettävän asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen kosteusvaurioindikaattorilistan mikrobien esiintymistä viljelyaineistossa. Aineisto koostui Työterveyslaitoksen ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisesti laimennossarjamenetelmällä analysoiduista rakennusmateriaalinäytteistä vuosilta 2013–2020. Lisäksi käytiin läpi tieteellisiä vertaisarvioituja artikkeleita aiheesta. Hankkeen tulokset tukevat toimintatapaa, jossa mikrobikasvuston esiintymistä

arvioitaessa tulisi ensisijaisesti tarkastella näytteen sienien kokonaispitoisuutta ja tarvittaessa myös näytteessä esiintyvää mikrobistoa, kuten asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa ohjeistetaan.

Tämä aineistokatsaus tukee Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelmaa. Ohjelman tavoitteena on edistää terveyttä ja hyvinvointia vähentämällä sisäympäristöön liittyviä haittoja Suomessa. Ohjelmaa koordinoi Terveyden ja hyvinvoinnin laitos ja työhön osallistuvat aktiivisesti Työterveyslaitos, Filha ry, Hengityслиitto, Allergia-, Iho- ja Astmaliitto sekä Sisäilmayhdistys ry. Ohjelma toteuttaa hallituksen Terveet tilat 2028 -ohjelman terveyden ja hyvinvoinnin edistämistä koskevia toimenpiteitä.

Lukijalle

Rakennusmateriaalinäytteitä asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisella menetelmällä analysoitaessa näytteessä esiintyvän mikrobilajiston tarkastelu voi olla tarpeen mikrobikasvuston osoittamiseksi, jos näytteen mikrobipitoisuudet eivät suoraan viittaa mikrobikasvustoon. Rakennuksen mikrobiperäisten epäpuhtauksien haitallisuutta ei kuitenkaan voi päätellä yksittäisten mikrobisukujen esiintymisen perusteella.

Tämä aineistokatsaus pyrkii selvittämään asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista kosteusvaurioindikaattorimikrobilistan toimivuutta osana rakennusmateriaalinäytteen tuloksen tulkintaa nykypäivänä.

Katsauksessa tarkastellaan kosteusvaurioindikaattorimikrobien esiintymistä Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) sekä Työterveyslaitoksen analysoimissa rakennusmateriaalinäytteissä vuosilta 2013–2020. Lisäksi tieteellisiä vertaisarvioituja tutkimusartikkeleita verrataan nykyiseen indikaattorilistaukseen.

Hankkeen tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että pelkkien indikaattorimikrobien havaitseminen rakennusmateriaalinäytteessä ei anna tarkkaa kokonaiskuvaa rakennusmateriaalin mikrobikasvustosta. Yksittäisten indikaattorimikrobien esiintymisen sijaan on tarkasteltava rakennusmateriaalinäytettä kokonaisuutena ja arvioida ensisijaisesti näytteen kokonaispitoisuutta ja vain tarvittaessa näytteessä esiintyvää mikrobistoa.

Kiitämme sosiaali- ja terveystieteiden ministeriötä hankkeen rahoittamisesta. Kiitokset Työterveyslaitokselle data-aineistosta sekä Maija Kirsille ja Sirpa Rautialalle katsauksen kommentoinnista. Kiitokset myös Asko Vepsäläiselle (THL) tuesta tilastollisissa analyyseissä. Kirjallisuuskatsaus tukee Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelmaa. Ohjelmaan voi tutustua [ohjelman internetsivulla](#).

Tiivistelmä

Annika Viljamaa, Hanna Leppänen, Kaisa Jalkanen, Anniina Salmela, Anne Hyvärinen. Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennusmateriaalista – aineistokatsaus. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpaperi 53/2022. 33 sivua. Helsinki 2022. ISBN 978-952-343-987-0 (verkkojulkaisu)

Tämä aineistokatsaus pyrkii selvittämään asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista kosteusvaurioindikaattorimikrobilistan toimivuutta osana rakennusmateriaalinäytteen tuloksen tulkintaa nykypäivänä. Hankkeen aineisto koostui Työterveyslaitoksen ja Terveysten ja hyvinvoinnin laitoksen asumisterveysasetuksen mukaisesti laimennossarjamenetelmällä analysoiduista rakennusmateriaalinäytteistä vuosilta 2013–2020. Aineistoista on selkeästi havaittavissa, että tunnistettujen mikrobisukujen ja -ryhmien esiintyvyys kasvaa näytteen kokonaismikrobipitoisuuden kasvaessa. Useita listauksen mukaisia indikaattorimikrobeja ei havaittu aineistoissa ollenkaan tai esiintyvyys oli erittäin vähäistä. Tulokset tukevat toimintatapaa, jossa mikrobikasvuston esiintymistä arvioitaessa tulisi ensisijaisesti tarkastella näytteen sienien kokonaispitoisuutta ja tarvittaessa myös näytteessä esiintyvää mikrobistoa, kuten asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa ohjeistetaan. Katsauksessa tarkastellaan asetuksen soveltamisohjeen mukaista kosteusvaurioindikaattorilistausta ja tieteellistä vertaisarvioitua tutkimustietoa verrataan kyseiseen listaukseen.

Avainsanat: mikrobikasvu, mikrobikasvusto, indikaattorimikrobi, rakennusmateriaalinäyte, kosteusvaurio

Sisällys

| | |
|--|----|
| Lukijalle..... | 3 |
| Tiivistelmä..... | 4 |
| Sisällys..... | 5 |
| Kosteusvaurioilla ja mikrobikasvulla on selvä yhteys | 6 |
| Sisäympäristöjen normaalit mikrobilähteet | 6 |
| Kosteusvaurio mahdollistaa mikrobikasvun rakennuksessa | 6 |
| Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaiset indikaattorimikrobit | 7 |
| Indikaattorimikrobilistaukset vertaisarvioituissa tutkimuksissa | 9 |
| Tyypilliset mikrobit kosteusvaurioituneissa rakennuksissa..... | 10 |
| Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisesti määritetyissä rakennusmateriaalinäytteissä esiintyvät indikaattorimikrobit..... | 10 |
| Rakennusmateriaalityypin vaikutus mikrobien esiintymiseen | 10 |
| Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen sekä Työterveyslaitoksen rakennusmateriaalinäyteaineistoissa esiintyvät indikaattorimikrobit | 13 |
| Aineisto ja menetelmät | 13 |
| Tulokset | 13 |
| Mikrobien esiintyminen pitoisuusluokittain | 13 |
| Yleisimmät mikrobit aineistoissa..... | 15 |
| Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaiset indikaattorimikrobit | 23 |
| Erot aineistojen välillä..... | 23 |
| Indikaattorimikrobien esiintyvyys sienten kokonaispitoisuuden kasvaessa..... | 23 |
| Indikaattorimikrobien esiintyvyys eri pitoisuusluokissa | 25 |
| Aktinomyketit ja sienet kasvavat yleensä yhdessä | 26 |
| Tulosten tarkastelu | 27 |
| Johtopäätökset | 29 |
| Lähteet | 30 |

Kosteusvaurioilla ja mikrobikasvulla on selvä yhteys

Sisäympäristöjen normaalit mikrobilähteet

Sisäympäristöjen mikrobistoon vaikuttavat useat eri lähteet ja tekijät. Tässä katsauksessa mikrobistolla tarkoitetaan erilaisia mikro-organismeja yhteisesti, erityisesti sieniä, hiivoja ja bakteereita. Maaperän ja kasvilisuuden mikrobisto vaikuttaa ulkoilman mikrobipitoisuuksiin (Institute of Medicine 2004). Ulkoilman mikrobit kulkeutuvat sisätiloihin esimerkiksi avointen ikkunoiden välityksellä sekä kantautuen ihmisten ja lemmikkieläinten mukana (Samson 2011). Tämän vuoksi ulkoilman mikrobit muodostavat yhden keskeisimmistä sisäympäristöjen mikrobilähteistä. Sisäilman mikrobikirjo heijastaakin ulkoilman mikrobistoa myös lajistoltaan (Adams ym. 2013, Meadow 2014, Miletto ja Lindow 2015, Park ym. 2021, Shelton ym. 2002, Rintala ym. 2012, Yamamoto ym. 2015). Rakennuksen ilmanvaihto, erityisesti tuloilma, vaikuttaa sisätilojen mikrobistoon. Rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto ja tuloilma on suodatettu, ulkoilman epäpuhtaudet ml. mikrobit eivät pääse tuloilman mukana sisäilmaan. Siksi ulkoilmasta peräisin olevia mikrobeja on vähemmän rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto, kuin rakennuksissa, joissa ilmanvaihto perustuu painovoimaiseen ilmanvaihtoon ja tuuletukseen (Burge ym. 2000, Dekoster ja Thorne 1995, Reponen ym. 1992). Vaikka sisätilojen bakteeristo heijastaa ulkoilman bakteeristoa, on normaalin mikrobiston keskeisin bakteerien lähde rakennusta käyttävät ihmiset (Burge ym. 1999, Meadow ym. 2014, Täubel ym. 2009).

Myös rakennuksen maantieteellisellä sijainnilla sekä ilmastolla on merkitystä sisätilojen mikrobipitoisuuksiin ja mikrobiston monimuotoisuuteen (Adams ym. 2013, Amend ym. 2010, Holst ym. 2015, Jacobs ym. 2014, Li ja Kuo 1994, Shelton ym. 2002, Yamamoto ym. 2015). Talvisin lauhkealla vyöhykkeellä, kuten Suomessa, ulkoilman mikrobipitoisuus on pienempi kuin kesällä (Abraham ym. 2005, Koch ym. 2000, Reponen ym. 1992). Subtropiikissa puolestaan sienten kasvulle on otolliset olosuhteet ympärivuotisesti (Li ja Kuo 1994, Wu ym. 2007) ja näin ollen siellä ei ole havaittavissa vastaavaa vuodenaikaisvaihtelua. Joissakin tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että sisätilojen mikrobipitoisuus voi olla suurempi syksyllä tai talvella (Baxi ym. 2013, Mentese ym. 2012, Park ym. 2004).

Maatila- ja sisätilaympäristön on havaittu olevan merkittävä lähde sisäilman mikrobeille (Ege ym. 2011, Hyvärinen ym. 2006a, Kärkkäinen ym. 2010, Leppänen ym. 2014 a, b, Moniruzzaman ym. 2012, von Mutius ym. 2000, Schram ym. 2005, van Strien ym. 2004, Waser ym. 2004). Maatiloille tyypilliset seikat, kuten lietteen levitys, avokomposti, karjaeläimet ja etäisyys viljelysmaihin vaikuttavat sisäilman mikrobipitoisuuksiin (Hyvärinen ym. 2006a, Kaarakainen ym. 2011, Leppänen ym. 2014a, b, Tager ym. 2010). Mikrobit kulkeutuvat sisään muun muassa vaatteiden ja kenkien välityksellä, joita on käytetty esimerkiksi navetassa tai tallilla (Korthals ym. 2008, Krop ym. 2014, Normand ym. 2011, Pasanen ym. 1989, Rintala ym. 2012). Huonepöly- ja ilmanäytteiden mikrobipitoisuuksien ajallinen vaihtelu on suurta, ja näin ollen ne voivat vaihdella enemmän kodin sisällä kuin eri kotien välillä (Hyvärinen ym. 2006b, Leppänen ym. 2014 a, b, Leppänen ym. 2018, Kaarakainen ym. 2009). Mikrobilajisto voi vaihdella myös saman rakennuksen sisällä huoneittain (Baxi ym. 2013, Park ym. 2004). Ihmisen toiminta, kuten polttopuiden tuonti sisään, biojäteastioiden tyhjentäminen ja multaisten perunoiden kuoriminen, nostaa mikrobipitoisuuksia hetkellisesti (DeKoster & Thorne 1995, Gehring ym. 2001, Lehtonen ym. 1993, Wouters 2000).

Kosteusvaurio mahdollistaa mikrobikasvun rakennuksessa

Mikrobit vaativat kosteutta muodostaakseen aktiivisen kasvuston rakennuksen pinnoille tai rakenteisiin. Riittävä kosteus onkin yleensä ainoa rajoittava tekijä sieni- ja bakteerikasvuston synnylle sisätiloissa, sillä usein sekä ravintoa että lämpöä on sopivasti saatavilla (Adan ym. 2011, Institute of Medicine 2004, WHO 2009). Park ym. (2021) mukaan pienet ympäristön muutokset, esimerkiksi ihmisten mukana kulkeutuvat bakteerit, eivät vaikuta merkittävästi sisätilojen mikrobistoon. On näyttöä siitä, että tyypillisesti rakennuksen

bakteerilajistoa hallitsee gram-positiiviset bakteerit (Rintala ym. 2008; 2012, Täubel ym. 2009), mutta koska gram-negatiiviset bakteerit vaativat usein korkeamman kosteuspitoisuuden elinympäristöltään, on ne yhdistetty kosteusvauriorakennuksiin (Park ym. 2021, Rintala ym. 2012, Samson ym. 1994). Kuitenkin tuoreessa Park ym. (2021) tutkimuksessa gram-negatiivisten bakteerien havaittiin hallitsevan sisätilojen mikrobistoa. Sen sijaan suurella ympäristön muutoksella, kuten vesivahingolla, voi olla vaikutusta laajemmin sisätilojen mikrobilajistoon. Rakenteiden ja rakennusmateriaalien pinnoilla esiintyy aina mikrobeja, jotka ovat pääasiassa peräisin sisä- ja ulkoilmasta. Kostuneen rakenteen mikrobikasvusto voi kehittyä näistä mikrobeista. Myös Adams ym. (2020) esittävät, että kosteusvaurion vaikutuksesta havaitaan muutoksia vaurioituneen rakennuksen mikrobistossa, mutta yhteydet kosteusvaurioiden ja mikrobikasvuston välillä eivät ole yksiselitteisiä, ja vaikutukset eroavat esimerkiksi eri näytetyyppien ja mikrobiryhmien välillä.

Eri mikrobimääritysmenetelmillä rakennusmateriaalinäytteistä havaitut sieni- ja bakteeripitoisuudet ovat useissa tutkimuksissa olleet suurempia kosteusvaurioituneissa rakennuksissa kuin vertailurakennuksissa (Douwes ym. 1999, Jayaprakash ym. 2017, Park ym. 2021, Pasanen ym. 2000, Pitkäranta ym. 2011, Shcäfer ym. 2010). Tieteelliset vertaisarvioidut artikkelit, joissa on käytetty asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukaista menetelmää elinkykyisten mikrobien määrittämiseksi rakennusmateriaalinäytteistä laimennossarjaviljelymenetelmällä, vahvistavat tätä havaintoa (Haverinen ym. 1999, Hyvärinen ym. 2002, Järvi ym. 2018, Lappalainen ym. 2001; 2008, Pasanen ym. 2000, Salonen ym. 2007). Kyseistä menetelmää käyttämällä on havaittu kohonneita mikrobipitoisuuksia kosteusvauriorakennuksista otetuissa rakennusmateriaalinäytteissä niin aktinomykeettien eli sädesienten, muiden bakteerien kuin sienienkin osalta.

Kuten todettu aiemmin, kosteusvaurioindikaattorimikrobeilla tarkoitetaan mikrobeja, jotka esiintyvät kosteusvaurioituneissa rakennuksissa useimmin ja suurempina pitoisuuksina kuin tyypillisesti rakennuksissa (Samson ym. 1994). Rakennuksissa esiintyvien lajien perusteella kohonneiden pitoisuuksien lisäksi saadaan viitteitä rakennuksen kunnosta (Samson 2011), mutta ei kosteusvaurion vakavuudesta tai terveydellisestä merkityksestä (Hurass ym. 2017, Käypä hoito 2017).

Asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukaan, mikrobikasvusto voidaan todeta rakennusmateriaalinäytteestä, kun näytteen home- ja hiivasienten pitoisuus on vähintään 10 000 pmy = pesäkettä muodostavaa yksikköä/g tai aktinomykeettien pitoisuus on vähintään 3 000 pmy/g laimennossarjamenetelmällä määritettynä. Lisäksi, mikäli sienipitoisuus jää alle 10 000 pmy/g, mutta näytteessä havaitaan mikrobivaurioon viittaavia kosteusvaurioindikaattorimikrobeja tai havaittu sienisuvusto on epätavallisen yksipuolinen (1–2 lajia tai sukua) ja pitoisuus on kohonnut eli yli 5 000 pmy/g, voi löydös kuitenkin viitata mikrobikasvustoon näytteessä. Tällöin tulee tulosten tulkinnessa ottaa huomioon muut tekijät, jotka voivat vaikuttaa mikrobipitoisuuksiin tai mikrobien esiintymiseen. Tällaisia voivat olla esimerkiksi näytteenottokohdan läheisyydessä oleva mikrobikasvusto, josta on kulkeutunut mikrobeja näytteeseen tai jo kuivahtanut tai alkava mikrobikasvusto (Pessi ja Jalkanen 2018).

Yhteenvedon voidaan todeta, että rakennusten mikrobisto on rakennuskohtaista ja siihen vaikuttavat sekä ulkoilman mikrobisto että myös sisäympäristön mikrobilähteet. Kosteusvaurio voi mahdollistaa poikkeavan mikrobikasvun pinnoilla tai rakenteissa. Myös ns. indikaattorimikrobilöydökset voivat tietyissä tilanteissa viitata poikkeavaan mikrobikasvuun, koska ko. mikrobeja esiintyy tyypillisesti kosteissa olosuhteissa. Huomattavaa on, että indikaattorimikrobeja voi esiintyä myös rakennuksessa, jossa ei ole kosteusvauriota. Vasta mikrobipitoisuuden ollessa vähintään kohonnut ja samanaikaisesti mikrobilajistossa esiintyy indikaattorimikrobeja, voidaan epäillä mahdollista kosteusvauriosta johtuvaa mikrobikasvustoa.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaiset indikaattorimikrobit

Ensimmäinen kansainvälisen tutkijaryhmän laatima konsensuslista indikaattorimikrobeista (ns. Baarnin lista) julkaistiin vuonna 1992. Suomalaiset tutkijaryhmät ovat täydentäneet listaa Työterveyslaitoksen ja Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen sisäilman mikrobitutkimusten avulla. Lista on lisätty myös mikrobeja, joiden on tutkimusten mukaan katsottu indikoivan kosteusvauriota pinta- ja materiaalinäytteissä (Hyvärinen ym. 2001a, Reiman 2000). Nykyisin käytössä oleva asumisterveysasetuksen (545/2015)

soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) kosteusvaurioindikaattorimikrobilista on esitetty taulukossa 1. Muutokset nimistössä johtuvat sienisystematiikan tarkennuksista eli mikrobin tunnistaminen indikaattorimikrobiksi ei ole muuttanut.

Taulukko 1. Asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) kosteusvaurioindikaattorimikrobit sekä sienisystematiikasta johtuvat muutokset ja tarkennukset. Suku- / lajiryhmätarkkuus noudattaa mikroskooppisesti toteutettavissa olevaa tunnistustarkkuutta viljelyistä pesäkkeistä.

| Kosteusvaurioindikaattorimikrobi/ -mikrobiryhmä | Ryhmään kuuluvia sukuja/lajeja | Aiemmin käytetty nimitys |
|--|---|---|
| Aktinomykeetit | mm. <i>Streptomyces</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Pseudonocardia</i> , <i>Nocardioopsis</i> | aktinomykeetit |
| <i>Acremonium</i> -sukuryhmä | mm. <i>Sarocladium</i> , <i>Gliocladium</i> , <i>Acremonium</i> ; aiemmat <i>Acremonium</i> -lajit | <i>Acremonium</i> |
| <i>Aspergillus fumigatus</i> -lajiryhmä | <i>A. fumigatus</i> ja lähilajit | <i>Aspergillus fumigatus</i> |
| <i>Aspergillus ochraceus</i> -lajiryhmä | mm. <i>A. ochraceus</i> , <i>A. westerdijkiae</i> ja lähilajit | <i>Aspergillus ochraceus</i> |
| <i>Aspergillus restricti</i> -lajiryhmä | <i>Aspergillus</i> sektio <i>restricti</i> mm. <i>A. penicillioides</i> , <i>A. restrictus</i> ja lähilajit | <i>Aspergillus penicillioides</i> / <i>Aspergillus restrictus</i> |
| <i>Aspergillus versicolores</i> -lajiryhmä | mm. <i>A. jensenii</i> , <i>A. puulaauensis</i> , <i>A. sydowii</i> , <i>A. versicolor</i> ja lähilajit | <i>Aspergillus sydowii</i> , <i>Aspergillus versicolor</i> |
| <i>Aspergillus terreus</i> -lajiryhmä | <i>A. terreus</i> ja lähilajit | <i>Aspergillus terreus</i> |
| <i>Aspergillus usti</i> -lajiryhmä | <i>A.</i> sektio <i>usti</i> mm. <i>A. ustus</i> , <i>A. puniceus</i> | <i>Aspergillus ustus</i> |
| <i>Aspergillus</i> , <i>Eurotium</i> -lajiryhmä | <i>Aspergillus</i> sektio <i>Aspergillus</i> , aiempi <i>Eurotium</i> -suku | <i>Eurotium</i> |
| <i>Engyodontium</i> -sukuryhmä | <i>Engyodontium</i> ja <i>Parengyodontium</i> | <i>Engyodontium</i> |
| <i>Chaetomium</i> -sukuryhmä | <i>Chaetomium</i> -tyyppiset homeet; <i>Chaetomiaceae</i> ; mm. <i>Chaetomium</i> , <i>Botryotrium</i> ja <i>Humicola</i> | <i>Chaetomium</i> |
| <i>Exophiala</i> -sukuryhmä | <i>Exophiala</i> -tyyppiset homeet; mm. <i>Exophiala</i> , <i>Phaeococcomyces</i> , <i>Rhinochadiella</i> , <i>Ramichloridium</i> | <i>Exophiala</i> |
| <i>Fusarium</i> -sukuryhmä | <i>Fusarium</i> ja <i>Neocosmospora</i> | <i>Fusarium</i> |
| <i>Geomyces</i> -sukuryhmä | <i>Pseudogymnoascus</i> ja <i>Geomyces</i> | <i>Geomyces</i> |
| <i>Oidiodendron</i> | <i>Oidiodendron</i> | <i>Oidiodendron</i> |
| <i>Paecilomyces</i> , <i>Purpureocillium</i> | <i>Paecilomyces</i> ja suvusta erotettu <i>Purpureocillium</i> | <i>Paecilomyces</i> |
| <i>Phialophora</i> -sukuryhmä | mm. <i>Phialophora</i> , <i>Cadophora</i> ja <i>Coniochaeta</i> | <i>Phialophora sensu lato</i> |
| <i>Scopulariopsis</i> -sukuryhmä | <i>Scopulariopsis</i> ja <i>Microascus</i> | <i>Scopulariopsis</i> |
| <i>Sporobolomyces</i> | | <i>Sporobolomyces</i> |
| <i>Coelomyces</i> -sukuryhmä | mm. <i>Didymella</i> ja <i>Phoma</i> | <i>Sphaeropsidales</i> |
| <i>Stachybotrys</i> , <i>Memnoniella</i> | <i>Stachybotrys</i> ja <i>Memnoniella</i> | <i>Stachybotrys</i> |
| <i>Trichoderma</i> | | <i>Trichoderma</i> |
| <i>Tritirachium</i> | | <i>Tritirachium</i> |
| <i>Alternaria</i> , <i>Ulocladium</i> -lajiryhmä | <i>Alternaria</i> sektiot <i>Ulocladioides</i> , <i>Ulocladium</i> ja <i>Pseudoulocladium</i> ; aiempi <i>Ulocladium</i> -suku | <i>Ulocladium</i> |
| <i>Wallemia</i> | <i>Wallemia</i> | <i>Wallemia</i> |

Indikaattorimikrobilistaukset vertaisarvioituissa tutkimuksissa

Asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) kosteusvaurioindikaattorimikrobilistauksen (taulukko 1) lisäksi on olemassa myös muita indikaattorimikrobilistauksia. Esimerkiksi Maailman terveysjärjestöllä (WHO) on oma ohjeistus koskien kosteusvauriorakennuksia (WHO 2009). Indikaattorimikrobien luokittelussa voidaan myös hyödyntää materiaalin kosteuspitoisuutta kuvaavaa a_w -arvoa (Samson ym. 1994). Lukuarvolla a_w (engl. water activity) voidaan kuvata kasvualustan kosteusolosuhteita, jotka tarvitaan mikrobikasvuston muodostukseen. Luku a_w tarkoittaa kohdemateriaalin kosteuspitoisuuden suhdetta samaan materiaalin, joka on täysin märkä (Institute of Medicine 2004). Tällaiseen luokitteluun on kuitenkin suhtauduttava varauksella, koska se on määritetty laboratorio-olosuhteissa eikä se täysin vastaa luonnollista rakennuksen ympäristöä (Adan ym. 2011).

Sienet voidaan jaotella kserofiilisiin eli kuivissa olosuhteissa viihtyviin ja hydrofiilisiin eli korkeassa kosteuspitoisuudessa viihtyviin lajeihin. Hydrofiiliset lajit viihtyvät vain olosuhteissa, joissa a_w on yli 0,9. Kserofiiliset lajit puolestaan vaativat ympäristön a_w -arvoksi alle 0,9 (Lacey ym. 1980). Samson ym. (1994) ovat luokitelleet indikaattorimikrobit korkeaa ($a_w > 0,90-0,95$), kohtalaista ($0,90 > a_w > 0,85$) ja vähäistä ($a_w \leq 0,85$) kosteuspitoisuutta vaativiin mikrobeihin (taulukko 2). Samsonin ym. (1994) määrittämien indikaattorimikrobien on havaittu esiintyvän ilma- ja pintanäytteissä, ja suurin osa niistä esiintyy myös asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen indikaattorilistauksessa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta (hiivat, *Penicillium*, gram-negatiiviset bakteerit). Lisäksi Samson ym. (1994) mukaan *Stachybotrys* -sienen havaitseminen viittaa aina vakavaan kosteusvaurioon. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen ja myös esimerkiksi WHO:n ohjeistuksessa koskien asuinrakennusten kosteutta ja hometta (2009) esitettävä kosteusvaurioindikaattorimikrobilistaus pohjautuu Samson ym. (1994) teokseen.

Taulukko 2. Kosteusvauriorakennusten indikaattorimikrobit Samson ym. (1994) mukaan.

| Kosteusvaatimus | Indikaattorimikrobi |
|--|---|
| Runsasta kosteutta vaativat ($a_w > 0,90-0,95$) | <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Exophiala</i> <i>Phialophora</i> <i>Trichoderma</i> <i>Stachybotrys</i> <i>Fusarium</i> <i>Ulocladium</i> <i>Streptomyces</i> (aktinomykeetit eli sädesienet) Hiivat* (esim. <i>Rhodotorula</i>) Gram-negatiiviset bakteerit* (esim. <i>Pseudomonas</i>) |
| Kohtalaista kosteutta vaativat ($0,90 > a_w > 0,85$) | <i>Aspergillus versicolor</i> |
| Vähäiseen kosteuteen tyytyvät ($a_w \leq 0,85$) | <i>Aspergillus versicolor</i> <i>Eurotium</i> <i>Penicillium</i> * (esim. <i>P. chrysogenum</i> , <i>P. aurantiogriseum</i> *) <i>Wallemia</i> |

* Ei asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen indikaattorimikrobilistauksessa

Tyypilliset mikrobit kosteusvaurioituneissa rakennuksissa

Kosteusvaurioiden on havaittu olevan yhteydessä ilmanäytteiden *A. versicolor*, *Acremonium*, *Aureobasidium*, *Botryosporium*, *Eurotium*, *Oedocephalum*, *Phialophora*, *Stachybotrys*, *Trichoderma viride* sekä aktinomykeettien -pitoisuuksiin (Haverinen ym. 1999, Hodgson ym. 1998, Hyvärinen ym. 1993, Jarvis & Mory 2001, Meklin ym. 2002, Nevalainen ym. 1991, Rautiala ym. 1996, Salonen ym. 2007). Tyypillisimmät aktinomykeettisuvut kosteusvauriokohteista otetuissa rakennusmateriaalinäytteissä ovat olleet *Streptomyces* ja *Pseudonocardia* (Schäfer ym. 2010). Myös rakennuksen tavanomaiseen mikrobistoon kuuluvien sienisukujen pitoisuuksien on havaittu olevan suurempia kosteusvauriorakennuksissa. Esimerkiksi *Penicillium* on yleinen löydös sekä kosteusvauriorakennuksissa että ei-vaurioituneissa rakennuksissa, mutta kosteusvauriorakennuksissa *Penicillium*-suvun homeita esiintyy suurempina pitoisuuksina rakennusmateriaali- ja ilmanäytteissä (DeKoster & Thorne 1995, Garret ym. 1998, Hyvärinen ym. 1993; 2001b; 2002, Lappalainen ym. 2001; 2008, Pitkäranta ym. 2011, Salonen ym. 2007). Muita rakennuksissa tavanomaisesti esiintyviä mikrobeja ovat mm. *Cladosporium*-suvun homeet ja hiivat. Myös näiden lajien pitoisuuksien on havaittu olevan suurempia kosteusvauriorakennuksissa kuin vaurioitumattomien rakennusten ilma- ja rakennusmateriaalinäytteissä (DeKoster & Thorne 1995, Garret ym. 1998, Lappalainen ym. 2001, Pasanen ym. 1992 a, b, Salonen ym. 2007).

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisesti määritetyissä rakennusmateriaalinäytteissä esiintyvät indikaattorimicrobit

Asumisterveysasetuksen mukaan mikrobikasvuston toteamiseksi tulisi käyttää ensisijaisesti rakennusmateriaalinäytteen laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmää. Seuraavissa vertaisarvioituissa tutkimuksissa rakennusmateriaalinäytteen mikrobipitoisuus on määritetty asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) esittämällä tavalla laimennossarjamenetelmää käyttäen, ja lajien tunnistaminen on perustunut morfologiseen tarkasteluun mikroskopoimalla. Tutkimuksissa on havaittu, että kosteusvauriokohteiden rakennusmateriaalinäytteissä esiintyvä mikrobisto on lajistoltaan monimuotoinen. Esimerkiksi *Aureobasidium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, ja *Tritirachium* -suvut, *Sphaeropsidales* -ryhmä (nykyään *Coelomycetes* -sukuryhmä), aktinomykeetit, hiivat, mykobakteerit, sekä muun muassa *Acremonium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Exophiala*, *Fusarium*, *Phialophora*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys*, *Trichoderma* ja *Ulocladium* -suvut ovat olleet tyypillisiä löydöksiä (Hyvärinen ym. 2002, Lappalainen ym. 2001; 2008, Pitkäranta ym. 2011, Salonen ym. 2007, Torvinen ym. 2006). Myös erilaiset lahottajasienet voivat toimia kosteusvaurioindikaattoreina, koska niitä esiintyy tyypillisesti kosteissa olosuhteissa (Haverinen ym. 1999). Lahovaurio on jo kuitenkin selvä visuaalisesti havaittava merkki pitkälle edenneestä kosteusvauriosta, eikä lahottajasienten tunnistaminen ole yleensä tarpeellista mikrobikasvuston osoittamiseksi.

Rakennusmateriaalityypin vaikutus mikrobien esiintymiseen

Eri mikrobit suosivat erilaisia rakennusmateriaaleja kasvualustanaan, koska ne voivat käyttää eri materiaaleja ravinnon lähteenään (Institute of Medicine 2004). Hyvärinen ym. (2002) tutkimuksessa havaittiin suurimmat sienien pitoisuudet kosteusvaurioituneissa puu- ja paperimateriaaleissa. Sienipitoisuudet olivat puolestaan pienimmät mineraalivilloissa, keraamisissa materiaaleissa sekä maaleissa ja liimoissa. Aktinomykeettipitoisuudet olivat suurimmat keraamisissa materiaaleissa. Hiivoja esiintyi suurimpina pitoisuuksina puisissa rakennusmateriaaleissa, kun taas *Cladosporium*-pitoisuudet olivat suurimmat paperi- (esim. tapetit) ja mineraalivillamateriaaleissa. Suurimmat *A. versicolor* ja *Acremonium* -pitoisuudet havaittiin maaleissa ja liimoissa sekä keraamisissa materiaaleissa. *Stachybotrys*-pitoisuus oli suurin kipsilevyissä. Taulukkoon 3 on koottu yhteenveto mikrobeista sekä kosteusvaurioituneista rakennusmateriaaleista, joissa näitä mikrobeja on havaittu esiintyvän suurimpina pitoisuuksina Hyvärinen ym. (2002) mukaan.

Taulukko 3. Mikrobisukujen esiintyminen rakennusmateriaaleissa asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukaista laimennossarjatiljelymenetelmää käyttäen määritettynä (Hyvärinen ym. 2002).

| Mikrobisuku | Rakennusmateriaali |
|---|---|
| Hiivat, <i>Penicillium</i> sekä vaihtelevasti muita sienisukuja, mm. <i>Aureobasidium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Acremonium</i> [*] , <i>Sphaerosidales</i> ^{^*} | puu |
| <i>Cladosporium</i> , <i>Stachybotrys</i> [*] | paperi, mineraalivilla |
| <i>A. versicolor</i> ^{^^} , <i>Acremonium</i> [*] , <i>aktinomykeetit</i> [*] | maali, liima, keraamiset materiaalit, puu |
| <i>Stachybotrys</i> [*] | kipsilevyt, paperi |
| <i>Aktinomykeetit</i> [*] | erityisesti keraamiset materiaalit, mutta esiintyy myös muilla materiaaleilla |

* Esiintyy asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) indikaattorilistauksessa

^ Nykyinen *Coelomyces* -sukuryhmä

^^Nykyinen *A. versicolores* -lajiryhmä

Joitakin lajeja on havaittu esiintyvän usein myös yhdessä. Esimerkiksi Hyvärinen ym. (2002) tutkimuksessa hiivojen ja *Sphaerosidales*-ryhmän (nykyään *Coelomyces* -sukuryhmä) sienten havaittiin esiintyvän useissa eri materiaaleissa yhdessä. Paperipohjaisissa rakennusmateriaaleissa niitä ei sen sijaan havaittu. *A. versicolores* -lajiryhmän sieniä sekä *Acremonium* ja *Tritirachium* -sukuja havaittiin puupohjaisissa materiaaleissa yhdessä. Paperipohjaisissa rakennusmateriaaleissa ja eristevillassa havaittiin myös *Acremonium* ja *Stachybotrys* -sieniä. Taulukkoon 4 on koottu Hyvärisen ym. (2002) mukaan usein yhdessä havaitut mikrobit kosteusvauriorakennusmateriaaleissa.

Taulukko 4. Mikrobisuvut, jotka esiintyvät usein yhdessä rakennusmateriaaleissa asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukaista laimennossarjaviiljelymenetelmää käyttäen määritettynä (Hyvärinen ym. 2002).

| Yhdessä esiintyvät mikrobisuvut | Rakennusmateriaali |
|---|--|
| Hiivat, <i>Sphaeropsidales</i> ^{^*} | Puu, gyproclevyt, keraamiset rakenteet, mineraalivilla, maali, liima, muovi |
| <i>A. versicolor</i> ^{^^} , <i>Acremonium</i> [*] , <i>Tritirachium</i> [*] (pieninä pitoisuuksina) | Keraamiset rakenteet, maali, liima, puu |
| <i>Acremonium</i> [*] , <i>Stachybotrys</i> [*] | Paperi, mineraalivilla |
| <i>Stachybotrys</i> [*] , <i>Penicillium</i> | Mineraalivilla |
| <i>Aktinomykeetit</i> [*] , <i>Acremonium</i> [*] , <i>A. versicolor</i> ^{^^} , <i>Aspergillus spp.</i> , <i>Penicillium</i> | Erityisesti keraamiset materiaalit, myös muut materiaalit yleisesti, esim. puu |

* Esiintyy asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) indikaattorilistauksessa

[^] Nykyinen *Coelomycetes* -sukuryhmä

^{^^} Nykyinen *A. versicolores* -lajiryhmä

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen sekä Työterveyslaitoksen rakennusmateriaalinäyteaineistoissa esiintyvät indikaattorimikrobit

Muutokset erilaisten rakennusmateriaalien ja rakennustapojen käytössä vuosikymmenien kuluessa, samoin kuin ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset ympäristöolosuhteisiin ovat nostaneet esiin tarpeen tarkastella kosteusvaurioindikaattorilistan toimivuutta osana rakennusmateriaalinäytteen analysointia nykypäivänä. Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennusmateriaalista (KIMI) -hankkeessa tarkasteltiin rakennusmateriaalinäytteiden tulosten tulkinnan tukena käytettävän kosteusvaurioindikaattorilistan mikrobien esiintymistä viljelyaineistossa. Aineisto koostui Työterveyslaitoksen ja Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisesti laimennossarjamenetelmällä analysoiduista rakennusmateriaalinäytteistä vuosilta 2013–2020.

Aineisto ja menetelmät

Työterveyslaitoksen ja THL:n aineistot koostuivat asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukaisesti analysoiduista rakennusmateriaalinäytteistä vuosilta 2013–2020. Mikrobimääritykset oli tehty käyttäen laimennossarjaviljelymenetelmää. THL:n aineistossa elinkykyisten sienien määrittämiseen oli käytetty asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisesti dikloranglyseroli- (DG18) ja 2-% mallasuute- (M2) alustoja. Työterveyslaitoksen aineistossa M2-alustan sijaan oli käytetty pääsääntöisesti Rose Bengal mallasuute (Hagem) -alustaa. Elinkykyisten bakteerien määrittämiseen oli käytetty tryptoniivi-uuteglukoosi (THG) -alustaa. Mikrobien tunnistaminen perustui pesäkkeiden morfologiseen tarkasteluun mikroskopioimalla. Aineistot ovat pääosin vertailukelpoisia keskenään seuraavia eroavaisuuksia lukuun ottamatta. Aineistot poikkesivat toisistaan näytemääriltään siten, että näytemäärä Työterveyslaitoksen aineistossa oli 7 414 ja THL:n aineistossa 722 näytettä. Lisäksi eroavaisuuksia oli määritettyjen mikrobisukujen lukumäärässä siten, että niitä oli Työterveyslaitoksen aineistossa enemmän (ks. taulukot 7 ja 8). Työterveyslaitoksen aineistossa oli käytetty Hagem-kasvatusalustaa M2-alustan sijaan suurimmassa osassa näytteitä. Työterveyslaitoksen aineistossa menetelmän havaintorajana käytettiin 100 tai 1000 pmy/g ja THL:n aineistossa vastaavasti 45 tai 450 pmy/g. Molemmista aineistosta analyysin ulkopuolelle jätettiin näytteet, jotka eivät esitietojen mukaan olleet rakennusmateriaalia tai ne oli otettu vertailunäytteiksi. Oletuksena oli, että näytteet oli otettu mikrobikasvuston osoittamiseksi rakennusmateriaalissa. Menetelmien mittaausepävarmuutta ei ole otettu huomioon aineiston näytteitä pitoisuusluokkiin jaettaessa.

Aineistojen muokkaaminen ja esikäsittely tehtiin käyttäen R-ohjelmiston versiota 4.0.4 (2021-02-15) -- "Lost Library Book" ja Microsoft® Excel® for Office 365 -ohjelman versiota 2002. Tilastolliset analyysit suoritettiin IBM®SPSS® Statistics -ohjelman versiolla 27. Aineistojen jakauman normaalisuuden tarkastelun perusteella todettiin, että molempien aineistojen muuttujat olivat pääosin jakaumaltaan oikealle vinoja. Normaalisuustarkasteluihin käytettiin Kolmogorov-Smirnovin ja Shapiro-Wilkin testejä. Lisäksi muuttujien jakaumaa tarkasteltiin visuaalisesti kvantiilikuvioiden ja histogrammien avulla. Koska mikrobipitoisuudet eivät olleet normaalisti jakautuneita, tunnuslukuina käytettiin minimiä, maksimia ja mediaania.

Tulokset

Mikrobien esiintyminen pitoisuusluokittain

Molemmista osa-aineistoista tarkasteltiin mikrobien kokonaispitoisuuksien jakaumia. Kokonaispitoisuuksien jakauman perusteella päädyttiin lisäämään asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen tulkinnan

mukaisiin pitoisuusluokkiin analyysyjä varten vielä yksi isompi luokka. Analyyseissä käytetyt pitoisuusluokat olivat molemmille aineistolle nolla (0, alle havaintorajan), alle 5 000 (1–4 999), 5 000–10 000 (5 000–9 999), 10 000–100 000 (10 000–99 999) ja yli 100 000 (100 000–maksimikokonaispitoisuus) pmy/g. Pitoisuusluokan jälkeen sulkeissa on esitetty näytteiden sienien kokonaispitoisuus, jonka mukaan näyte on luokiteltu kyseiseen luokkaan. Sienien esiintymistä pitoisuusluokissa tarkasteltiin kasvatusalustakohtaisesti (Hagem/M2, DG18) sekä näytteittäin (taulukko 5).

Tuloksia analysoitaessa yhdistettiin näytteen eri sienisukujen esiintyvyydet molempien sienikasvatusalustojen (DG18 ja Hagem/M2) osalta, jotta saataisiin muodostettua parempi kokonaiskuva näytteessä esiintyvistä sienisuvuista. DG18-kasvatusalusta suosii kserofiilisiä sieniä, joten sillä voidaan havaita kuivemmassa olosuhteissa viihtyvät sienet. M2- ja Hagem -alustat sen sijaan ovat hyviä yleiskasvatusalustoja. Näytteet on jaettu pitoisuusluokkiin (esimerkiksi taulukon 5 ”Yhdistetty”-sarakeessa) sen mukaan, kummalla sienialustalla (Hagem/M2 tai DG18) on ollut korkeampi kokonaispitoisuus.

Lisäksi tarkasteltiin aktinomykeettien esiintymistä THG-kasvatusalustalla molemmissa aineistossa pitoisuusluokissa nolla (0, alle havaintorajan), alle 3 000 (1–2 999) ja yli 3 000 (3 000–maksimikokonaispitoisuus) pmy/g (taulukko 6).

Taulukko 5. Rakennusmateriaalinäytteiden esiintyminen (n) ja prosentuaalinen osuus (%) pitoisuusluokittain (pmy/g) sienien kokonaispitoisuuden mukaan erikseen ja yhdistettynä DG18- ja Hagem/M2-kasvatusalustoilla A. Työterveyslaitoksen aineistosta (n = 7 414) ja B. THL:n aineistosta (n = 722). Yhdistetty -sarake kuvaa rakennusmateriaalinäytteiden asettumista pitoisuusluokkiin sienien kokonaispitoisuuden mukaan siten, että näyte on luokiteltu pitoisuusluokkaan sen kasvatusalustan perusteella, jonka kokonaispitoisuus on ollut suurempi.

| A. Työterveyslaitoksen rakennusmateriaalinäyteaineisto (n = 7414) | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| Pitoisuusluokka (pmy/g) | Hagem/M2 | DG18 | Yhdistetty |
| | n (%) | n (%) | n (%) |
| Alle havaintorajan | 3 567 (48,1) | 3 002 (40,5) | 2 678 (36,1) |
| < 5 000 | 1 772 (23,9) | 1 770 (23,9) | 2 020 (27,3) |
| 5 000–10 000 | 325 (4,4) | 400 (5,4) | 401 (5,4) |
| 10 000–100 000 | 872 (11,8) | 1 188 (16,0) | 1 188 (16,0) |
| ≥ 100 000 | 878 (11,8) | 1 054 (14,2) | 1 127 (15,2) |
| Yhteensä | 7 414 (100,0) | 7 414 (100,0) | 7 414 (100,0) |
| B. THL:n rakennusmateriaalinäyteaineisto (n = 722) | | | |
| Pitoisuusluokka (pmy/g) | M2 | DG18 | Yhdistetty |
| | n (%) | n (%) | n (%) |
| Alle havaintorajan | 270 (37,4) | 224 (31,0) | 199 (27,6) |
| < 5 000 | 177 (24,5) | 168 (23,3) | 184 (25,5) |
| 5 000–10 000 | 35 (4,8) | 32 (4,4) | 33 (4,6) |
| 10 000–100 000 | 83 (11,5) | 114 (15,8) | 110 (15,2) |
| ≥ 100 000 | 157 (21,8) | 184 (25,5) | 196 (27,1) |
| Yhteensä | 722 (100,0) | 722 (100,0) | 722 (100,0) |

DG18 dikloranglyseroli M2 2-% mallasuute Hagem Rose Bengal mallasuute

Taulukko 6. Aktinomykeettien esiintyvyys (n) ja prosentuaalinen osuus (%) pitoisuusluokittain (pmy/g) aktinomykeettien kokonaispitoisuuden mukaan rakennusmateriaalinäytteissä THG-kasvatusalustalla A. Työterveyslaitoksen aineistosta (n = 7414) ja B. THL:n aineistosta (n = 722).

| A. Työterveyslaitoksen rakennusmateriaaliaineisto (n = 7 414) | |
|---|-------------------------------|
| Pitoisuusluokka (pmy/g) | Aktinomykeetit (THG) n (%) |
| 0, alle havaintorajan | 5 652 (76,2) |
| < 3 000 | 687 (9,3) |
| ≥ 3 000 | 1 075 (14,5) |
| Yhteensä | 7414 (100,0) |
| B. THL:n rakennusmateriaaliaineisto (n = 722) | |
| Pitoisuusluokka (pmy/g) | Aktinomykeetit (THG) n (%) |
| 0, alle havaintorajan | 563 (78,0) |
| < 3 000 | 62 (8,6) |
| ≥ 3 000 | 97 (13,4) |
| Yhteensä | 722 (100,0) |

THG tryptonihivauuteglukoosi-agar

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan hiiva- ja homesienten pitoisuuden on oltava vähintään 10 000 pmy/g, jotta näytteessä voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa. Tarkasteltaessa rakennusmateriaalinäytteiden mikrobipitoisuuksia yhdistettynä molemmilta kasvatusalustoilta (taulukko 5) voidaan havaita, että Työterveyslaitoksen aineistossa 31,2 %:ssa (n = 2 315) rakennusmateriaalinäytteistä ja THL:n aineistossa 42,3 %:ssa (n = 306) rakennusmateriaalinäytteistä asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukainen tulkinta näytteestä oli mikrobikasvusto. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan, mikäli rakennusmateriaalinäytteistä on esiintynyt soveltamisohjeen mukaisia indikaattorimikrobeja, voidaan jo 5 000–10 000 pmy/g pitoisuuden katsoa viittaavan mikrobikasvustoon näytteessä. Tähän pitoisuusluokkaan Työterveyslaitoksen aineiston näytteistä sijoittui 5,4 % (n = 401) ja THL:n aineiston näytteistä 4,6 % (n = 33) mikrobien kokonaispitoisuuden perusteella. Kolme indikaattoriryhmää tai enemmän esiintyi samanaikaisesti 17,3 %:ssa Työterveyslaitoksen näytteistä (0,9 % kokonaisnäytemäärästä) ja 18,2 %:ssa THL:n näytteistä (0,8 % kokonaisnäytemäärästä) pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g. Aktinomykeettien osalta Työterveyslaitoksen aineistossa 14,5 % (n = 1 705) ja THL:n aineistossa 13,4 % (n = 97) asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukainen tulkinta näytteistä oli aktinomykeettikasvu (vähintään 3 000 pmy/g) (taulukko 6). Valtaosalla näistä näytteistä tulkinta oli jommankumman sienialustan kokonaispitoisuuden perusteella mikrobikasvusto. Työterveyslaitoksen aineistossa 36,1 % (n = 2678) ja THL:n aineistossa 27,6 % (n = 199) näytteiden tuloksista jäi alle menetelmän havaintorajan Hagem/M2 ja DG18 -alustan suhteen eli toisin sanoen näytteissä ei kasvanut yhtään sieniä (taulukko 5). Suuressa osassa (Työterveyslaitos: 76,2 %, n = 5 652 ja THL: 78,0 %, n = 563) rakennusmateriaalinäytteitä ei havaittu lainkaan aktinomykeettejä (taulukko 6).

Yleisimmät mikrobit aineistoissa

Mikrobien esiintyminen eri pitoisuusluokissa on esitetty Työterveyslaitoksen aineistosta taulukossa 7 ja THL:n aineistosta taulukossa 8. Tulokset on esitetty pitoisuusluokittain sekä koko aineistosta. Pitoisuusluokkaan sijoittuminen on tehty näytteen sienien maksimipitoisuuden mukaan joko maljalta M2/Hagem tai DG18.

Työterveyslaitoksen ja THL:n aineistojen eniten esiintyvät mikrobit ovat pääsääntöisesti samoja: *Penicillium*, aktinomykeetit, *A. restricti* -lajiryhmä, *A. versicolores* -lajiryhmä, *Cladosporium*, steriili

sienirihmasto ja vaaleat hiivat esiintyvät jokaisessa pitoisuusluokassa kymmenen eniten esiintyvän mikrobin joukossa molemmissa aineistoissa.

Työterveyslaitoksen aineistossa kymmenen eniten esiintyvän mikrobiryhmän joukkoon kaikissa pitoisuusluokissa (lihavoitu taulukossa 7) kuuluivat *Penicillium*, aktinomykeetit, *Aspergillus versicolores* ja *Aspergillus restricti* -lajiryhmät, vaaleat hiivat, *Cladosporium*, steriili sienirihmasto ja *Acremonium*-sukuryhmä. Mikrobit on lueteltu esiintymisen mukaan suuruusjärjestyksessä (yleisin ensin). Pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g kymmenen eniten esiintyvän mikrobiryhmän joukossa aineistossa havaittiin myös *Aspergillus Eurotium* -lajiryhmän sieniä sekä *Paecilomyces* -sieniä. Vastaavasti pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g havaittiin *Aspergillus Eurotium* -lajiryhmän ja *Engyodontium* -sukuryhmän sieniä ja pitoisuusluokassa 10 000–100 000 pmy/g *Coelomycetes* -sukuryhmää ja *Wallemia*-sienisukua. Suurimmassa pitoisuusluokassa ($\geq 100\ 000$ pmy/g) kymmeneen eniten esiintyvään mikrobiryhmään kuului myös *Aureobasidium*.

Kaikissa THL:n aineiston pitoisuusluokissa kymmenen eniten esiintyvän mikrobiryhmän (lihavoitu taulukossa 8) joukossa olivat *Penicillium*, steriili sienirihmasto, aktinomykeetit, *A. versicolores*- ja *A. restricti* -lajiryhmät, vaaleat hiivat, *Aspergillus*, tunnistamattomat suvustot sekä *Cladosporium*. Pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g kymmenen eniten esiintyvän mikrobiryhmän joukossa havaittiin myös *Acremonium*-sukuryhmää. Vastaavasti pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g havaittiin *Aureobasidium* -sienisukua, pitoisuusluokassa 10 000–100 000 pmy/g *Wallemia* -sienisukua ja suurimmassa pitoisuusluokassa *Acremonium* -sukuryhmää.

Taulukko 7. Työterveyslaitoksen rakennusmateriaalinäytteistä (n = 7 414) havaittujen mikrobien esiintyminen (n) ja prosentuaalinen osuus (%) pitoisuusluokissa sekä pitoisuusluokassa esiintyvien mikrobien prosentuaalinen osuus (%) kaikista näytteistä sienten kokonaispitoisuuden (pmy/g) mukaan yhdistettynä kaikilta kasvatusalustoilta. Havaintorajana käytettiin 100 pmy/g tai 1000 pmy/g ja 2 678 näytteissä ei ollut havaittavaa sienien esiintymistä. Jokaisessa pitoisuusluokassa kymmenen eniten esiintyvän mikrobin nimi ja arvot on lihavoitu. Osuus koko aineistosta -sarake kuvaa luokassa olevaa mikrobin esiintymistä verrattuna koko aineiston näytemäärään.

| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 | | 5 000–10 000 | | 10 000–100 000 | | ≥ 100 000 | | Koko aineisto |
|--|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|
| Indikaattori | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) |
| Näytemäärä | 2020 (100,0) | 27,2 | 401 (100,0) | 5,4 | 1188 (100,0) | 16,0 | 1127 (100,0) | 15,2 | 7414 (100,0) |
| <i>Penicillium</i> | 1136 (56,2) | 15,3 | 263 (65,6) | 3,5 | 894 (75,3) | 12,1 | 997 (88,5) | 13,4 | 3290 (44,4) |
| aktinomykeetit* | 437 (21,6) | 5,9 | 137 (34,2) | 1,8 | 437 (36,8) | 5,9 | 603 (53,5) | 8,1 | 1614 (21,8) |
| <i>A. versicolores</i> -lajiryhmä* | 371 (18,4) | 5,0 | 129 (32,2) | 1,7 | 459 (38,6) | 6,2 | 551 (48,9) | 7,4 | 1510 (20,4) |
| Vaaleat hiivat | 209 (10,3) | 2,8 | 57 (14,2) | 0,8 | 238 (20,0) | 3,2 | 386 (34,3) | 5,2 | 890 (12,0) |
| <i>Cladosporium</i> | 363 (18,0) | 4,9 | 107 (26,7) | 1,4 | 347 (29,2) | 4,7 | 342 (30,3) | 4,6 | 1159 (15,6) |
| <i>A. restricti</i> -lajiryhmä* | 375 (18,6) | 5,1 | 148 (36,9) | 2,0 | 540 (45,5) | 7,3 | 306 (27,2) | 4,1 | 1369 (18,5) |
| Steriili sienirihmasto | 289 (14,3) | 3,9 | 65 (16,2) | 0,9 | 225 (18,9) | 3,0 | 267 (23,7) | 3,6 | 846 (11,4) |
| <i>Acremonium</i> -sukuryhmä* | 68 (3,4) | 0,9 | 33 (8,2) | 0,4 | 165 (13,9) | 2,2 | 229 (20,3) | 3,1 | 495 (6,7) |
| <i>Aureobasidium</i> | 58 (2,9) | 0,8 | 16 (4,0) | 0,2 | 66 (5,6) | 0,9 | 189 (16,8) | 2,5 | 329 (4,4) |
| <i>Coelomycetes</i> -sukuryhmä* | 54 (2,7) | 0,7 | 14 (3,5) | 0,2 | 88 (7,4) | 1,2 | 157 (13,9) | 2,1 | 313 (4,2) |
| <i>Scopulariopsis</i> -sukuryhmä* | 32 (1,6) | 0,4 | 11 (2,7) | 0,1 | 69 (5,8) | 0,9 | 147 (13,0) | 2,0 | 259 (3,5) |
| <i>Aspergillus</i>, <i>Eurotium</i> -lajiryhmä* | 83 (4,1) | 1,1 | 16 (4,0) | 0,2 | 80 (6,7) | 1,1 | 126 (11,2) | 1,7 | 305 (4,1) |
| <i>Monocillium</i> | 25 (1,2) | 0,3 | 9 (2,2) | 0,1 | 70 (5,9) | 0,9 | 114 (10,1) | 1,5 | 218 (2,9) |
| <i>Blastobotrys</i> | 11 (0,5) | 0,1 | 7 (1,7) | 0,1 | 72 (6,1) | 1,0 | 100 (8,9) | 1,3 | 190 (2,6) |
| Punaiset hiivat | 25 (1,2) | 0,3 | 11 (2,7) | 0,1 | 32 (2,7) | 0,4 | 98 (8,7) | 1,3 | 166 (2,2) |
| <i>Oidiodendron</i> * | 13 (0,6) | 0,2 | 4 (1,0) | 0,1 | 50 (4,2) | 0,7 | 90 (8,0) | 1,2 | 157 (2,1) |
| <i>Alternaria Ulocladium</i> -lajiryhmä* | 20 (1,0) | 0,3 | 2 (0,5) | 0,0 | 28 (2,4) | 0,4 | 84 (7,5) | 1,1 | 134 (1,8) |
| <i>Wallemia</i>* | 29 (1,4) | 0,4 | 11 (2,7) | 0,1 | 99 (8,3) | 1,3 | 78 (6,9) | 1,1 | 217 (2,9) |

| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 | | 5 000–10 000 | | 10 000–100 000 | | ≥ 100 000 | | Koko aineisto |
|--|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|
| | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | |
| <i>Aspergillus</i> | 20 (1,0) | 0,3 | 7 (1,7) | 0,1 | 35 (2,9) | 0,5 | 76 (6,7) | 1,0 | 138 (1,9) |
| <i>Engyodontium</i> -sukuryhmä* | 37 (1,8) | 0,5 | 25 (6,2) | 0,3 | 75 (6,3) | 1,0 | 72 (6,4) | 1,0 | 209 (2,8) |
| <i>Phialophora</i> -sukuryhmä* | 21 (1,0) | 0,3 | 8 (2,0) | 0,1 | 38 (3,2) | 0,5 | 66 (5,9) | 0,9 | 133 (1,8) |
| <i>Paecilomyces</i>* | 61 (3,0) | 0,8 | 6 (1,5) | 0,1 | 31 (2,6) | 0,4 | 64 (5,7) | 0,9 | 162 (2,2) |
| <i>Sporobolomyces</i> * | 12 (0,6) | 0,2 | 2 (0,5) | 0,0 | 23 (1,9) | 0,3 | 59 (5,2) | 0,8 | 96 (1,3) |
| <i>A. usti</i> -lajiryhmä* | 29 (1,4) | 0,4 | 7 (1,7) | 0,1 | 35 (2,9) | 0,5 | 56 (5,0) | 0,8 | 127 (1,7) |
| <i>A. ochraceus</i> -lajiryhmä* | 21 (1,0) | 0,3 | 9 (2,2) | 0,1 | 26 (2,2) | 0,4 | 49 (4,3) | 0,7 | 105 (1,4) |
| <i>Trichoderma</i> * | 20 (1,0) | 0,3 | 1 (0,2) | 0,0 | 8 (0,7) | 0,1 | 47 (4,2) | 0,6 | 76 (1,0) |
| <i>Mucor</i> | 11 (0,5) | 0,1 | 2 (0,5) | 0,0 | 15 (1,3) | 0,2 | 46 (4,2) | 0,6 | 74 (1,0) |
| <i>Exophiala</i> -sukuryhmä* | 9 (0,4) | 0,1 | 2 (0,5) | 0,0 | 22 (1,9) | 0,3 | 43 (3,8) | 0,6 | 76 (1,0) |
| <i>Chaetomium</i> -sukuryhmä* | 47 (2,3) | 0,6 | 8 (2,0) | 0,1 | 21 (1,8) | 0,3 | 40 (3,5) | 0,5 | 116 (1,6) |
| <i>Fusarium</i> -sukuryhmä* | 6 (0,3) | 0,1 | 0 (0,0) | 0,0 | 8 (0,7) | 0,1 | 40 (3,5) | 0,5 | 54 (0,7) |
| <i>Geomyces</i> -sukuryhmä* | 21 (1,0) | 0,3 | 8 (2,0) | 0,1 | 32 (2,7) | 0,4 | 40 (3,5) | 0,5 | 101 (1,4) |
| <i>Tritirachium</i> * | 23 (1,1) | 0,3 | 5 (1,2) | 0,1 | 31 (2,6) | 0,4 | 40 (3,5) | 0,5 | 99 (1,3) |
| <i>Absidia</i> | 2 (0,1) | 0,0 | 1 (0,2) | 0,0 | 12 (1,0) | 0,2 | 33 (2,9) | 0,4 | 48 (0,6) |
| <i>A. nigri</i> -lajiryhmä | 18 (0,9) | 0,2 | 2 (0,5) | 0,0 | 9 (0,8) | 0,1 | 23 (2,0) | 0,3 | 52 (0,7) |
| <i>Simpicillium</i> | 10 (0,5) | 0,1 | 3 (0,7) | 0,0 | 18 (1,5) | 0,2 | 19 (1,7) | 0,3 | 50 (0,7) |
| <i>Acrostalagmus</i> | 2 (0,1) | 0,0 | 1 (0,2) | 0,0 | 5 (0,4) | 0,1 | 14 (1,2) | 0,2 | 22 (0,3) |
| <i>Alternaria</i> | 8 (0,4) | 0,1 | 2 (0,5) | 0,0 | 3 (0,3) | 0,0 | 13 (1,2) | 0,2 | 26 (0,4) |
| <i>Verticicladium</i> | 11 (0,5) | 0,1 | 3 (0,7) | 0,0 | 5 (0,4) | 0,1 | 10 (0,9) | 0,1 | 29 (0,4) |
| <i>A. fumigatus</i> -lajiryhmä* | 24 (1,2) | 0,3 | 3 (0,7) | 0,0 | 10 (0,8) | 0,1 | 9 (0,8) | 0,1 | 46 (0,6) |
| <i>Rhizopus</i> | 4 (0,2) | 0,1 | 1 (0,2) | 0,0 | 9 (0,8) | 0,1 | 9 (0,8) | 0,1 | 23 (0,3) |
| <i>Aphanocladium</i> | 4 (0,2) | 0,1 | 2 (0,5) | 0,0 | 4 (0,3) | 0,1 | 7 (0,6) | 0,1 | 17 (0,2) |
| <i>Beauveria</i> | 2 (0,1) | 0,0 | 2 (0,5) | 0,0 | 7 (0,6) | 0,1 | 6 (0,5) | 0,1 | 17 (0,2) |
| <i>Geotrichum</i> | 16 (0,8) | 0,2 | 4 (1,0) | 0,1 | 9 (0,8) | 0,1 | 5 (0,4) | 0,1 | 34 (0,5) |
| <i>Acrodontium</i> | 3 (0,1) | 0,0 | 1 (0,2) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 4 (0,4) | 0,1 | 10 (0,1) |
| <i>Botrytis</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 4 (0,4) | 0,1 | 6 (0,1) |

| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 | | 5 000–10 000 | | 10 000–100 000 | | ≥ 100 000 | | Koko aineisto |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|
| | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | Osuus koko aineistosta (%) | |
| <i>Polyscytalum</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 3 (0,3) | 0,0 | 6 (0,1) |
| <i>Stachybotrys*</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 3 (0,3) | 0,0 | 4 (0,1) |
| <i>A. terreus</i> -lajiryhmä* | 3 (0,1) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 5 (0,1) |
| <i>Neurospora</i> | 1(0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 3 (0,0) |
| <i>Cunninghamella</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 1 (0,2) | 0,0 | 3 (0,3) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 7 (0,1) |
| <i>Syncephalastrum</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,2) | 0,0 | 3 (0,3) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 6 (0,1) |
| <i>Oedocephalum</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Ostracoderma</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 2 (0,0) |
| <i>Rhodotorula</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Scedosporium</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 2 (0,0) |
| <i>Sporothrix</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 3 (0,0) |
| <i>Stemphylium</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Wardomyces</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 3 (0,0) |
| <i>Arthrinium</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,0) |
| basidiomykeetit | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Emericella</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Monodictys</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Mycotypha</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,0) |
| <i>Thysanophora</i> | 2 (0,1) | 0,0 | 2 (0,5) | 0,0 | 2 (0,2) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 6 (0,1) |
| <i>Trichothecium</i> | 1 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,0) |

*Asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukainen indikaattorimikrobi

Taulukko 8 THL:n rakennusmateriaalinäytteistä (n = 722) havaittujen mikrobien esiintyminen (n) ja prosentuaalinen osuus (%) pitoisuusluokissa sekä pitoisuusluokassa esiintyvien mikrobien prosentuaalinen osuus (%) kaikista näytteistä sienien kokonaispitoisuuden (pmy/g) mukaan yhdistettynä kaikilta kasvatusalustoilta. Havaintoraja oli 45 tai 450 pmy/g ja 199 näytteissä ei esiintynyt sieniä. Jokaisessa pitoisuusluokassa kymmenen eniten esiintyvän mikrobin nimi ja arvot ovat lihavoitu. Osuus koko aineistosta -sarake kuvaa luokassa olevaa mikrobin esiintymistä verrattuna koko aineiston näytemäärään.

| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 | | 5 000–10 000 | | 10 000–100 000 | | ≥ 100 000 | | Koko aineisto |
|------------------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| Indikaattori | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) |
| Näytemäärä | 184 (100,0) | 25,5 | 33 (100,0) | 4,6 | 110 (100,0) | 15,2 | 196 (100,0) | 27,1 | 722 (100,0) |
| <i>Penicillium</i> | 99 (53,8) | 13,7 | 20 (60,6) | 2,8 | 83 (75,5) | 11,5 | 176 (89,8) | 24,4 | 378 (52,4) |
| Steriili sienirihmasto | 86 (46,7) | 11,9 | 18 (54,5) | 2,5 | 69 (62,7) | 9,6 | 130 (66,3) | 18,0 | 303 (42,0) |
| aktinomykeetit* | 20 (10,9) | 2,8 | 12 (36,4) | 1,7 | 28 (25,5) | 3,9 | 94 (48,0) | 13,0 | 154 (21,3) |
| <i>A. versicolores</i> -lajiryhmä* | 27 (14,7) | 3,7 | 8 (24,2) | 1,1 | 49 (44,5) | 6,8 | 89 (45,4) | 12,3 | 173 (24,0) |
| <i>A. restricti</i> -lajiryhmä* | 41 (22,3) | 5,7 | 13 (39,4) | 1,8 | 71 (64,5) | 9,8 | 78 (39,8) | 10,8 | 203 (28,1) |
| Vaaleat hiivat | 25 (13,6) | 3,5 | 7 (21,2) | 1,0 | 20 (18,2) | 2,8 | 76 (38,8) | 10,5 | 128 (17,7) |
| <i>Aspergillus</i> | 35 (19,0) | 4,8 | 7 (21,2) | 1,0 | 37 (33,6) | 5,1 | 69 (35,2) | 9,6 | 148 (20,5) |
| tunnistamaton | 22 (12,0) | 3,0 | 6 (18,2) | 0,8 | 27 (24,5) | 3,7 | 63 (32,1) | 8,7 | 118 (16,3) |
| <i>Cladosporium</i> | 44 (23,9) | 6,1 | 7 (21,2) | 1,0 | 38 (34,5) | 5,3 | 59 (30,1) | 8,2 | 148 (20,5) |
| <i>Acremonium</i> -sukuryhmä* | 12 (6,5) | 1,7 | 1 (3,0) | 0,1 | 17 (15,5) | 2,4 | 48 (24,5) | 6,6 | 78 (10,8) |
| <i>Blastobotrys</i> | 3 (1,6) | 0,4 | 3 (9,1) | 0,4 | 13 (11,8) | 1,8 | 43 (21,9) | 6,0 | 62 (8,6) |
| <i>A. Eurotium</i> -lajiryhmä* | 6 (3,3) | 0,8 | 1 (3,0) | 0,1 | 11 (10,0) | 1,5 | 29 (14,8) | 4,0 | 47 (6,5) |
| <i>Monocillium</i> | 2 (1,1) | 0,3 | 1 (3,0) | 0,1 | 6 (5,5) | 0,8 | 29 (14,8) | 4,0 | 38 (5,3) |
| <i>Exophiala</i> -sukuryhmä* | 2 (1,1) | 0,3 | 1 (3,0) | 0,1 | 2 (1,8) | 0,3 | 28 (14,3) | 3,9 | 33 (4,6) |
| <i>Mucor</i> | 2 (1,1) | 0,3 | 0 (0,0) | 0,0 | 5 (4,5) | 0,7 | 28 (14,3) | 3,9 | 35 (4,8) |
| <i>Aureobasidium</i> | 9 (4,9) | 1,2 | 3 (9,1) | 0,4 | 6 (5,5) | 0,8 | 27 (13,8) | 3,7 | 45 (6,2) |
| <i>Wallemia</i> * | 5 (2,7) | 0,7 | 3 (9,1) | 0,4 | 20 (18,2) | 2,8 | 27 (13,8) | 3,7 | 55 (7,6) |
| Punaiset hiivat | 3 (1,6) | 0,4 | 1 (3,0) | 0,1 | 4 (3,6) | 0,6 | 19 (9,7) | 2,6 | 27 (3,7) |
| <i>Scopulariopsis</i> -sukuryhmä* | 3 (1,6) | 0,4 | 2 (6,1) | 0,3 | 3 (2,7) | 0,4 | 19 (9,7) | 2,6 | 27 (3,7) |

| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 | | 5 000–10 000 | | 10 000–100 000 | | ≥ 100 000 | | Koko aineisto |
|--|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Indikaattori | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) |
| <i>Coelomycetes</i> -sukuryhmä* | 2 (1,1) | 0,3 | 2 (6,1) | 0,3 | 1 (0,9) | 0,1 | 14 (7,1) | 1,9 | 19 (2,6) |
| <i>Paecilomyces</i> * | 9 (4,9) | 1,2 | 1 (3,0) | 0,1 | 4 (3,6) | 0,6 | 14 (7,1) | 1,9 | 28 (3,9) |
| <i>Phialophora</i> -sukuryhmä* | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 5 (4,5) | 0,7 | 14 (7,1) | 1,9 | 19 (2,6) |
| <i>Trichoderma</i> * | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (3,0) | 0,1 | 2 (1,8) | 0,3 | 14 (7,1) | 1,9 | 17 (2,4) |
| <i>Geomyces</i> -sukuryhmä* | 3 (1,6) | 0,4 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,9) | 0,1 | 12 (6,1) | 1,7 | 16 (2,2) |
| <i>Chaetomium</i> -sukuryhmä* | 4 (2,2) | 0,6 | 1 (3,0) | 0,1 | 2 (1,8) | 0,3 | 10 (5,1) | 1,4 | 17 (2,4) |
| <i>Stachybotrys</i> * | 2 (1,1) | 0,3 | 1 (3,0) | 0,1 | 1 (0,9) | 0,1 | 8 (4,1) | 1,1 | 12 (1,7) |
| <i>Alternaria Ulocladium</i> -lajiryhmä* | 2 (1,1) | 0,3 | 0 (0,0) | 0,0 | 4 (3,6) | 0,6 | 7 (3,6) | 1,0 | 13 (1,8) |
| <i>Oidiodendron</i> * | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 3 (2,7) | 0,4 | 7 (3,6) | 1,0 | 10 (1,4) |
| <i>Tritirachium</i> * | 1 (0,5) | 0,1 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (1,8) | 0,3 | 7 (3,6) | 1,0 | 10 (1,4) |
| <i>A. fumigatus</i> -lajiryhmä* | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 3 (2,7) | 0,4 | 6 (3,1) | 0,8 | 9 (1,2) |
| <i>A. ochraceus</i> -lajiryhmä* | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 5 (2,6) | 0,7 | 5 (0,7) |
| <i>Absidia</i> | 1 (0,5) | 0,1 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (1,8) | 0,3 | 5 (2,6) | 0,7 | 8 (1,1) |
| <i>Alternaria</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,9) | 0,1 | 5 (2,6) | 0,7 | 6 (0,8) |
| <i>Fusarium</i> -sukuryhmä* | 1 (0,5) | 0,1 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 5 (2,6) | 0,7 | 6 (0,8) |
| <i>A. nigri</i> -lajiryhmä | 2 (1,1) | 0,3 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,9) | 0,1 | 4 (2,0) | 0,6 | 7 (1,0) |
| <i>Chrysosporium</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,9) | 0,1 | 4 (2,0) | 0,6 | 5 (0,7) |
| <i>Hyalodendron</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 4 (2,0) | 0,6 | 4 (0,6) |
| <i>Rhizopus</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 4 (2,0) | 0,6 | 4 (0,6) |
| <i>Geotrichum</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 2 (1,0) | 0,3 | 2 (0,3) |
| <i>Olpitrichum</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 4 (3,6) | 0,6 | 2 (1,0) | 0,3 | 6 (0,8) |
| <i>Botrytis</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,5) | 0,1 | 1 (0,1) |
| <i>Gliomastix</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,5) | 0,1 | 1 (0,1) |
| <i>Gonatobotrys</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,5) | 0,1 | 1 (0,1) |
| <i>Verticillium</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,5) | 0,1 | 1 (0,1) |

| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 | | 5 000–10 000 | | 10 000–100 000 | | ≥ 100 000 | | Koko aineisto |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Indikaattori | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) | osuus koko aineistosta (%) | Esiintyvyys n (%) |
| <i>Verticillium</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,9) | 0,1 | 1 (0,5) | 0,1 | 2 (0,3) |
| <i>Engyodontium</i> -sukuryhmä* | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,9) | 0,1 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) |
| <i>Trichothecium</i> | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (3,0) | 0,1 | 0 (0,0) | 0,0 | 0 (0,0) | 0,0 | 1 (0,1) |

*Asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) mukainen indikaattorimikrobi

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaiset indikaattorimikrobit

Kymmenestä eniten esiintyvistä mikrobista eri pitoisuusluokissa asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisia indikaattorimikrobeja olivat Työterveyslaitoksen aineistossa aktinomykeetit, *Paecilomyces*, *Wallemia*, *A. restricti*-, *A. versicolores*- ja *A. Eurotium* -lajiryhmät, *Acremonium*-, *Engyodontium* ja *Coelomycetes* -sukuryhmät. Vastaavasti THL:n aineistossa eniten esiintyviä indikaattorimikrobeja olivat *A. restricti*- ja *A. versicolores*-lajiryhmät, *Acremonium* -sukuryhmä, aktinomykeetit ja *Wallemia*. Näistä mikrobeista aktinomykeetit, *A. restricti* ja *A. versicolores*, *Wallemia* ja *Acremonium* esiintyivät molemmissa aineistoissa, mutta *Wallemia* vain pitoisuusluokassa 10 000–100 000 pmy/g. Yhteenvetona aineistoista voidaan todeta, että aktinomykeetit, *A. versicolores* ja *A. restricti* -lajiryhmät ovat selkeästi yleisimpiä indikaattorimikrobeja molemmissa aineistoissa.

Erot aineistojen välillä

Kaikissa pitoisuusluokissa esiintyvien mikrobien osalta eroja aineistojen välillä havaittiin siinä, että THL:n aineistossa oli enemmän lajitasolle tunnistamattomia *Aspergillus*-sieniä ja tunnistamattomia lajeja. Erot selittyvät erilaisilla toimintatavoilla liittyen tunnistamistarkkuuteen sekä eri kasvatusalustojen (Hagem ja M2) käytöllä. *Aspergillus*-sienien esiintyminen ilman tarkempaa lajitason tunnistusta vaihteli THL:n rakennusmateriaalinäytteissä pitoisuusluokissa 19,0–35,2 %:n välillä, kun taas Työterveyslaitoksen aineistossa sitä havaittiin ainoastaan 1,0–6,7 %:ssa rakennusmateriaalinäytteistä. *Aureobasidium* nousi Työterveyslaitoksen aineistossa pitoisuusluokassa yli 100 000 pmy/g kymmenen eniten esiintyvän mikrobin joukkoon ja sitä havaittiin 16,8 %:ssa näytteistä kyseisessä pitoisuusluokassa. THL:n aineistossa samassa pitoisuusluokassa *Aureobasidium*-sienisukua tavattiin 13,8 %:ssa näytteistä. Prosentuaalinen osuus pitoisuusluokissa oli samaa suuruusluokkaa, mutta THL:n aineistossa useat muut mikrobiryhmät olivat *Aureobasidium*-sienisukua yleisempiä. Sen sijaan pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g *Aureobasidium* oli THL:n aineistossa kymmenen yleisimmän esiintyvän mikrobin joukossa esiintyvyydellä 9,1 %, mutta Työterveyslaitoksen aineistossa samassa pitoisuusluokassa sen esiintyvyys oli 5,6 % ja useat muut mikrobit olivat yleisempiä. Eroja havaittiin myös *Acremonium*-sukuryhmän osalta, jota havaittiin THL:n aineistossa pitoisuusluokissa alle 5 000 ja yli 100 000 pmy/g, kun taas Työterveyslaitoksen aineistossa se esiintyi jokaisessa pitoisuusluokassa. Työterveyslaitoksen aineistossa *Acremonium* esiintyi 3,4–20,3 %:ssa rakennusmateriaalinäytteistä kaikissa pitoisuusluokissa. THL:n aineiston rakennusmateriaalinäytteissä sen esiintyvyys vaihteli välillä 1,0–48,0 %.

Indikaattorimikrobien esiintyvyys sienten kokonaispitoisuuden kasvaessa

Vaikka aineiston yleisimpiä indikaattorimikrobeja (aktinomykeetit, *A. versicolores* ja *A. restricti* -lajiryhmät) havaittiin kaikissa pitoisuusluokissa, asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisessa tulkinnessa mikrobikasvustosta ($\geq 10\ 000$ pmy/g) niiden esiintyvyys oli huomattavasti runsaampaa. Aineistoista on selkeästi havaittavissa, että pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g harvoin esiintyvien mikrobisukujen esiintyvyys kasvoi suurimmassa pitoisuusluokassa ($> 100\ 000$ pmy/g). Suurimmassa pitoisuusluokassa mikrobilajisto oli siis monimuotoisempaa. Tarkasteltaessa molempia aineistoja niin, että eri indikaattorimikrobien esiintymistä katsottiin yhdessä (esim. 0, 1, 2, 3 jne. indikaattorimikrobia yhdessä) havaittiin molemmista aineistoista (taulukot 9 ja 10), että mitä enemmän eri indikaattoreita esiintyi samanaikaisesti, sitä suurempaan pitoisuusluokkaan näytteet kuuluivat. Esimerkiksi, kun Työterveyslaitoksen aineistossa eri indikaattorimikrobeja oli enemmän kuin 4, oli näytteiden pitoisuus useimmiten yli 100 000 pmy/g. Kun indikaattorimikrobeja esiintyi 1–3, oli näytteiden pitoisuudet vastaavasti useimmiten pitoisuusluokissa 5 000–10 000 pmy/g tai 10 000–100 000 pmy/g (taulukko 9).

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan, vaikka näytteen mikrobipitoisuus jää alle 10 000 pmy/g voivat löydökset viitata mikrobikasvustoon silloin, kun näytteessä havaitaan soveltamisohjeen listauksen mukaisia, kosteus- ja homevaurioon viittaavia indikaattorimikrobeja. Pitoisuusluokkaan 5 000–10 000 pmy/g kuului Työterveyslaitoksen aineistossa ainoastaan 5,4 % näytteistä ja THL:n aineistossa vastaavasti 4,6 % näytteistä. Aineistojen perusteella asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisia

indikaattorimikrobeja esiintyi 1–2 lajiryhmää pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g Työterveyslaitoksen aineistossa: 63 %:ssa näytteistä eli 3,4 % kokonaisnäytemäärästä ja THL:n aineistossa: 57 %:ssa näytteissä, mikä vastasi puolestaan 2,6 % kokonaisnäytemäärästä. Kolme indikaattoriryhmää tai enemmän esiintyi samanaikaisesti 17,3 %:ssa Työterveyslaitoksen näytteistä (0,9 % kokonaisnäytemäärästä) ja 18,2 %:ssa THL:n näytteistä (0,8 % kokonaisnäytemäärästä) pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g (taulukot 9 ja 10). Tarkastelun perusteella suurella osalla pitoisuusluokan 5000–10 000 pmy/g näytteistä kummassakin aineistossa ei tulkinnan perusteella ollut viitettä mikrobikasvustosta, mikäli kriteerinä pidettiin 3 tai useamman indikaattorin esiintymistä näytteessä.

Taulukko 9. Työterveyslaitoksen aineisto pitoisuusluokittain eri mikrobiryhmien yhtäaikaisen esiintymisen mukaisesti. Taulukossa esitetty n = näytteiden lukumäärä ja prosenttiosuudet.

| Kuinka monta eri indikaattorimikrobia? | alle havaintorajan | <5000 | 5000-10000 | 10000-100000 | >100000 | Yhteensä |
|--|--------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| 0 | n = 2530 95 % | n = 859 43 % | n = 79 20 % | n = 135 11 % | n = 86 8 % | n = 3689 50 % |
| 1 | n = 148 6 % | n = 742 37 % | n = 153 38 % | n = 358 30 % | n = 217 19 % | n = 1618 22 % |
| 2 | n = 0 0 % | n = 261 13 % | n = 100 25 % | n = 314 26 % | n = 271 24 % | n = 946 13 % |
| 3 | n = 0 0 % | n = 95 5 % | n = 44 11 % | n = 218 18 % | n = 208 19 % | n = 565 8 % |
| 4 | n = 0 0 % | n = 50 3 % | n = 22 6 % | n = 100 8 % | n = 191 17 % | n = 363 5 % |
| 5 | n = 0 0 % | n = 10 < 1 % | n = 2 < 1 % | n = 45 4 % | n = 94 8 % | n = 151 2 % |
| 6 | n = 0 0 % | n = 3 < 1 % | n = 1 < 1 % | n = 16 1 % | n = 42 4 % | n = 62 < 1 % |
| 7 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 2 < 1 % | n = 14 1 % | n = 16 < 1 % |
| 8 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 2 < 1 % | n = 2 < 1 % |
| 9 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 2 < 1 % | n = 2 < 1 % |
| Yhteensä | n = 2678 36 % | n = 2020 27 % | n = 401 6 % | n = 1188 16 % | n = 1127 15 % | n = 7414 100 % |

Taulukko 10. THL:n aineisto pitoisuusluokittain eri mikrobiryhmien yhtäaikaisen esiintymisen mukaisesti. Taulukossa esitetty n = näytteiden lukumäärä ja prosenttiosuudet.

| Kuinka monta eri indikaattorimikrobia? | alle havaintorajan | <5000 | 5000-10000 | 10000-100000 | >100000 | Yhteensä |
|--|--------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 0 | n = 194 27 % | n = 89 12 % | n = 8 1 % | n = 8 1 % | n = 17 3 % | n = 316 44 % |
| 1 | n = 5 < 1 % | n = 62 9 % | n = 11 2 % | n = 34 5 % | n = 30 4 % | n = 142 20 % |
| 2 | n = 0 0 % | n = 23 3 % | n = 8 1 % | n = 33 5 % | n = 48 7 % | n = 112 16 % |
| 3 | n = 0 0 % | n = 9 1 % | n = 4 < 1 % | n = 18 3 % | n = 41 6 % | n = 72 10 % |
| 4 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 2 < 1 % | n = 12 2 % | n = 35 5 % | n = 49 7 % |
| 5 | n = 0 0 % | n = 1 < 1 % | n = 0 0 % | n = 4 < 1 % | n = 12 2 % | n = 17 2 % |
| 6 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 8 1 % | n = 8 1 % |
| 7 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 3 < 1 % | n = 3 < 1 % |
| 8 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 1 < 1 % | n = 1 < 1 % | n = 2 < 1 % |
| 9 | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 0 0 % | n = 1 < 1 % | n = 1 < 1 % |
| Yhteensä | n = 199 28 % | n = 184 26 % | n = 33 5 % | n = 110 15 % | n = 196 27 % | n = 722 100 % |

Indikaattorimikrobien esiintyvyys eri pitoisuusluokissa

Mikrobilöydösten katsotaan voivan viitata mikrobikasvustoon pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g niiden näytteiden osalta, joissa on havaittu asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisia kosteusvaurioindikaattorimikrobeja. Tässä pitoisuusluokassa, jossa indikaattorimikrobien esiintymisellä on merkitystä, ei havaittu mitään yksittäistä mikrobia, joka olisi ollut muita mikrobeja yleisempi. Aineistossa eniten esiintyvien indikaattorimikrobien *A. versicolores* ja *A. restricti* -lajiryhmien sekä aktinomykeettien esiintyvyys pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g molemmissa aineistoissa oli suurempi kuin pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen indikaattorimikrobien osuus rakennusmateriaalinäytteissä kasvoi myös muissa pitoisuusluokissa kokonaismikrobipitoisuuden kasvaessa. Tästä hyvä esimerkki ovat aktinomykeetit ja *A. versicolores* -lajiryhmä, joita esiintyi alle viidesosassa rakennusmateriaalinäytteitä luokassa alle 5 000 pmy/g ja luokassa yli 100 000 pmy/g niitä havaittiin jo noin puolessa näytteistä molemmissa aineistoissa. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista *Wallemia* -indikaattorimikrobia havaittiin molemmissa aineistoissa kymmenen yleisimmän esiintyvän mikrobin joukossa ainoastaan pitoisuusluokassa 10 000–100 000 pmy/g, 8,3 %:ssa näytteistä Työterveyslaitoksen aineistossa ja 18,2 %:ssa THL:n aineistossa. Koska asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan rakennusmateriaalinäytteessä voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa, kun näytteen home- ja hiivasienten pitoisuus on vähintään 10 000 pmy/g, ei indikaattorien esiintyminen tässä pitoisuusluokassa vaikuta tulkintaan. Löydös kuitenkin vahvistaa *Wallemian* käyttöä kosteusvauriota indikoivana mikrobina.

Useita asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisia indikaattorimikrobeja ei havaittu aineistoissa ollenkaan tai esiintyvyys oli erittäin vähäistä. Esimerkiksi laji- ja sukuryhmiä *A. terreus* ja *Stachybotrys*

tavattiin vain 0,1 %:ssa näytteistä koko Työterveyslaitoksen aineistossa. THL:n aineistossa *A. terreus* -lajiryhmää ei havaittu lainkaan ja *Engyodontium* -sukuryhmää esiintyi vain 0,1 %:ssa näytteistä koko aineistossa. *Stachybotrys*-sienisukua esiintyi 1,7 %:ssa näytteistä koko aineistossa. Vastaavia esimerkkejä on molemmissa aineistoissa useita. Sen sijaan kosteusvaurioindikaattorilistauksesta puuttuva *Aureobasidium*-sienisuku oli yksi kymmenen eniten esiintyvän mikrobin joukossa pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g 9,1 %:ssa näytteistä THL:n aineistossa ja muissa pitoisuusluokissa sen esiintyminen vaihteli välillä 4,9–13,8 %. Työterveyslaitoksen aineistossa esiintyminen ei kuitenkaan ollut samankaltaista, vaan *Aureobasidium* nousi kymmenen yleisimmän mikrobin joukkoon ainoastaan pitoisuusluokassa yli 100 000 pmy/g (16,8 %, n = 189) ja esiintyminen pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g oli suhteellisen vähäistä (4,0 %, n = 16), jolloin se ei indikaattorina toisi lisäarvoa asetuksen mukaiseen tulkintaan näin suuressa kokonaispitoisuudessa. Muissa pitoisuusluokissa sen esiintyminen vaihteli 2,9 %:sta 5,6 %:iin näytteistä.

Aktinomykeetit ja sienet kasvavat yleensä yhdessä

Rakennusmateriaalinäytteiden jakautumista eri pitoisuusluokissa tarkasteltiin sieni- ja aktinomykeettikasvun mukaan. Työterveyslaitoksen aineistosta 17,2 % (n = 1 275) näytteistä pitoisuusluokissa 10 000–100 000 pmy/g ja yli 100 000 pmy/g sisälsivät pelkästään sieniä, eikä niissä havaittu aktinomykeettejä. Samoissa pitoisuusluokissa 14,0 % (n = 1 040) näytteistä sisälsi sienien lisäksi myös aktinomykeettejä. Pitoisuusluokissa alle 5 000 pmy/g ja 5 000–10 000 pmy/g pelkästään sieniä esiintyi 21,4 %:ssa (n = 1 583) ja 3,6 %:ssa (n = 264) näytteistä. Sieniä ja aktinomykeettejä esiintyi 5,9 %:ssa (n = 437) ja 1,8 %:ssa (n = 137) näytteistä samoissa pitoisuusluokissa. Pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g, jossa esiintyi sieniä ja aktinomykeettejä, 37,8 % (n = 165) näytteistä sisälsi asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista aktinomykeettikasvua (pitoisuus vähintään 3 000 pmy/g). Prosentuaalinen osuus aineistosta oli 2,2 %. Sieni- tai aktinomykeettipesäkkeitä ei havaittu 34,1 %:ssa (n = 2 530) näytteistä (taulukko 11 A). Pelkkiä aktinomykeettejä sen sijaan esiintyi ainoastaan 2,0 %:ssa (n = 148) näytteistä (taulukko 12). Näytteitä, joissa havaittiin pelkkää asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista mikrobikasvustoon viittaavaa aktinomykeettikasvua (pitoisuus vähintään 3 000 pmy/g), mutta ei sienikasvua oli ainoastaan 0,9 %:ssa aineiston näytteistä.

THL:n aineistossa pelkkää sienikasvua sisälsi 25,5 % (n = 184) rakennusmateriaalinäytteistä pitoisuusluokissa 10 000–100 000 pmy/g ja yli 100 000 pmy/g (taulukko 11 B). Samoissa pitoisuusluokissa sieni- ja aktinomykeettikasvua havaittiin 16,9 %:ssa (n = 122) näytteistä. Pitoisuusluokissa alle 5 000 pmy/g ja 5 000–10 000 pmy/g pelkkiä sieniä havaittiin 22,7 %:ssa (n = 164) ja 2,9 %:ssa (n = 21) näytteistä. Samoissa pitoisuusluokissa havaittiin sienien lisäksi aktinomykeettejä 2,8 %:ssa (n = 20) ja 1,7 %:ssa (n = 12) näytteistä. Pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g, jossa esiintyi sieniä ja aktinomykeettejä, 15 % (n = 3) näytteistä sisälsi asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista aktinomykeettikasvua (pitoisuus vähintään 3 000 pmy/g). Prosentuaalinen osuus aineistosta on 0,4 %. Sieni- tai aktinomykeettipesäkkeitä ei havaittu 26,8 %:ssa (n = 194) näytteessä. THL:n aineistossa vain 0,7 %:ssa rakennusmateriaalinäytteistä havaittiin pelkkää aktinomykeettikasvua (taulukko 12). Pelkkää asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista mikrobikasvustoon viittaavaa aktinomykeettikasvua, jolloin pitoisuus on vähintään 3 000 pmy/g, havaittiin 0,1 %:ssa näytteistä.

Molempien aineistojen perusteella vaikuttaa siltä, että suurimmassa osassa rakennusmateriaalinäytteitä esiintyy pelkästään sieniä ja parhaiten tämä näkyy pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g. Jos näytteissä esiintyi myös aktinomykeettikasvua, suurin osa näytteistä sijoittui pitoisuusluokkaan yli 100 000 pmy/g. THL:n aineistoissa ero oli selkeämpi kuin Työterveyslaitoksen aineistossa. Kun pitoisuusluokassa alle 5 000 pmy/g esiintyi sekä sieniä että aktinomykeettejä, suurin osa näytteistä ei täyttänyt asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista mikrobikasvustoon viittaavaa aktinomykeettikasvua. Tämänkin tuloksen osalta ero oli selkeämpi THL:n aineistossa. Molemmissa aineistossa oli harvinaista, että näytteessä esiintyi pelkästään aktinomykeettejä.

Taulukko 11. Rakennusmateriaalinäytteiden jakautuminen mikrobien esiintymisen (n) mukaan ja prosentuaalinen osuus (%) kaikista näytteistä A. Työterveyslaitoksen aineistossa (n = 7 414) ja B. THL:n aineistossa (n = 722). Työterveyslaitoksen aineistossa mikrobien esiintymistä ei havaittu 2 530 (34,1 %) näytteessä ja THL:n aineistossa 194 (26,8 %) näytteessä.

| A. Työterveyslaitoksen rakennusmateriaalinäyteaineisto (n = 7 414) | | | | | |
|--|------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|
| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 n (%) | 5 000–10 000 n (%) | 10 000–100 000 n (%) | ≥ 100 000 n (%) | Koko aineisto n (%) |
| Esiintyy vain sieniä | 1 583 (21,4) | 264 (3,6) | 751 (10,1) | 524 (7,1) | 3 122 (42,2) |
| Esiintyy sieniä ja aktinomykeetteja | 437 (5,9) * | 137 (1,8) | 437 (5,9) | 603 (8,1) | 1 614 (21,7) |
| B. THL:n rakennusmateriaalinäyteaineisto (n = 722) | | | | | |
| Pitoisuusluokka (pmy/g) | < 5 000 n (%) | 5 000–10 000 n (%) | 10 000–100 000 n (%) | ≥ 100 000 n (%) | Koko aineisto n (%) |
| Esiintyy vain sieniä | 164 (22,7) | 21 (2,9) | 82 (11,4) | 102 (14,1) | 369 (51,1) |
| Esiintyy sieniä ja aktinomykeetteja | 20 (2,8) ** | 12 (1,7) | 28 (3,9) | 94 (13,0) | 154 (21,4) |

* 37,8 % (n = 165) näytteessä aktinomykeettien pitoisuus ≥ 3 000 pmy/g. Osuus koko aineistosta 2,2 %

** 15 % (n = 3) näytteessä aktinomykeettien pitoisuus ≥ 3 000 pmy/g. Osuus koko aineistosta 0,4 %

DG18 dikloranglyseroli **M2** 2-% mallasuute **THG** tryptonihiivauuteglukoosi **Hagem** Rose Bengal mallasuute

Taulukko 12. Ainoastaan aktinomykeettikasvua sisältävien rakennusmateriaalinäytteiden esiintymisen pitoisuusluokissa (n) ja prosentuaalinen osuus (%) kaikista aineiston näytteistä Työterveyslaitoksen (n = 7414) ja THL:n (n = 722) aineistoissa.

| Aineisto | Aktinomykeettien kokonaispitoisuus (pmy/g) | | Koko aineisto n (%) |
|---------------------------------|--|----------|------------------------|
| | < 3 000 | ≥ 3 000 | |
| Työterveyslaitos (n = 7 414) | 81 (1,1) | 67 (0,9) | 148 (2,0) |
| THL (n = 722) | 4 (0,6) | 1 (0,1) | 5 (0,7) |

THG tryptonihiivauuteglukoosi

Tulosten tarkastelu

Tämän katsauksen tarkoituksena oli selvittää, vastaako asumisterveysasetuksen (545/2015) soveltamisohjeen (Valvira 8/2016) kosteusvaurioidikaattorimikrobilistaus uudemmissa rakennusmateriaalinäyteaineistoissa esiintyviä mikrobeja ja kuinka jako eri pitoisuusluokkiin vaikuttaa mikrobien esiintyvyyteen. Tarkastelu haluttiin tehdä, sillä rakennustavat ja -materiaalit ovat muuttuneet ja myös ilmastonmuutos on aiheuttanut muutoksia ympäristöolosuhteissa, joilla voi olla vaikutusta rakennusten mikrobistoon. Katsauksessa tarkasteltiin alan kirjallisuutta muun muassa rakennuksen tavallisen mikrobiston osalta, mikrobipitoisuuksiin vaikuttavista lähteistä sekä mikrobikasvua edellyttävistä tekijöistä. Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin myös indikaattorimikrobilistauksen taustaa ja yleisimpiä kosteusvauriokohteissa esiintyviä mikrobeja vertaisarvioituissa julkaisuissa. Lisäksi tarkasteltiin Työterveyslaitoksen ja THL:n rakennusmateriaalinäyteaineistoja vuosilta 2013–2020 ja niissä esiintyviä mikrobiryhmiä verrattiin alan kirjallisuuteen. Aineistoista voidaan todeta, että ne olivat erittäin samankaltaisia indikaattorimikrobien esiintymisen suhteen, ja näin ollen vahvistavat toisiaan.

Aineistoista havaittiin, että suurimmassa osassa rakennusmateriaalinäytteitä ei esiintynyt sieniä lainkaan tai niitä esiintyi vain vähäisissä määrin (pitoisuus alle havaintorajan tai alle 5 000 pmy/g), vaikka asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan rakennusmateriaalinäyte tulisi ottaa visuaalisesti havaittavasta vaurioituneimmasta kohdasta tai kohdasta, jossa kosteusvaurion todennäköisyys on suurin. Toisaalta

asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan mikrobimääritykset rakennusmateriaalinäytteistä tehdään silloin, jos vaurioita ei voida todeta aistinvaraisin analyysin tai kosteusmittauksilla, joten vauriokohta ei ole aina selkeästi havaittavissa. Lisäksi menetelmällä voidaan havaita vain elinkykyinen mikrobikasvu, joten esimerkiksi kuivuneesta vauriokohdasta kasvua ei saada osoitettua. Kuivuneet vauriot voidaan osoittaa suoramikroskopiolla, niiltä materiaaleilta, joille menetelmä soveltuu. Mahdollisia suoramikroskopointituloksia ei tässä katsauksessa käsitelty, joten ei ole tietoa, kuinka monessa näytteessä on ollut havaittavissa sienikasvustoon viittaavia löydöksiä. On myös mahdollista, että kyseessä on ollut niin tuore vaurio, ettei mikrobikasvua ole vielä ehtinyt muodostua tai näyte on voinut sisältää mikrobeja, jotka eivät jostain syystä kasva käytetyillä kasvatusalustoilla. Lisäksi merkittävä havaintorajan alle jäävien näytteiden määrää selittävä tekijä voi olla näytteenottoon liittyvät haasteet. Näytteitä ei aina saada otettua optimaalisesta kohdasta, koska näytteenottokohdan valinta voi olla vaikeaa ja aina ei teknisistä syistä päästä lähelle mahdollista kosteuslähdettä, jossa myös mikrobikasvun todennäköisyys on suurin. Lisäksi näytteen on voinut ottaa henkilö ilman asian-
tuntemusta näytteiden oston ja rakennusten kosteusvaurioista, jolloin näytteenottoa on voitu valita väärin. Ei ole myöskään tietoa, onko näyte otettu visuaalisesti havaittavissa olevasta mahdollisesta vauriokohdasta.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g esiintyvät soveltamisohjeen mukaiset indikaattorimikrobit voivat antaa viitteitä mikrobikasvustosta. Tulosten perusteella molemmassa aineistossa ainoastaan noin 5 % näytteistä kuului tähän pitoisuusluokkaan. Suurin osa kyseisistä näytteistä ei päätyntä indikaattorien esiintymisen perusteella asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen tulkintaan ”voi viitata mikrobikasvuun”, jos kriteerinä pidettiin tilastoanalyysissä käytettyä kolmen tai useamman indikaattorimikrobin esiintymistä näytteessä.

Näytteissä, joissa esiintyi asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaista mikrobikasvustoa (pitoisuus vähintään 10 000 pmy/g), lajikirjo oli monimuotoisempi verrattuna pienempiin pitoisuusluokkiin. Jokaisessa pitoisuusluokassa tavattiin yleisesti *Penicillium* ja *Cladosporium* -sienisukuja sekä hiivoja, joita on havaittu kosteusvaurioituneissa rakennuksissa myös useissa vertaisarvioituissa tutkimuksissa (DeKoster & Thorne 1995, Garret ym. 1998, Hyvärinen ym. 1993; 2001b; 2002, Lappalainen ym. 2001; 2008, Pasanen ym. 1992 a, b, Pitkäranta ym. 2011, Salonen ym. 2007). Näitä mikrobeja ei ole listattu asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen kosteusvaurioindikaattorimikrobilistaukseen, sillä niitä havaitaan yleisesti myös kosteusvaurioitumattomissa rakennuksissa ja ne ovat tyypillisiä ulkoilmasta sisäympäristöön kulkeutuvia mikrobeja (Kuo & Li 1994, Meklin ym. 2007, Sen & Asan 2009, Verhoeff ym. 1992). Osa mikrobisuvuista voi kasvaa toisia nopeammin ja ne voivat peittää alleen hitaammin kasvavia mikrobeja (Hyvärinen ym. 2002). Esimerkiksi *Penicillium*-sienisuvun runsasta esiintymistä voi selittää se, että se on voinut peittää runsaudellaan alleen muita näytteessä esiintyviä mikrobeja.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisista indikaattorimikrobeista yleisimpiä olivat aktinomykeetit, *Aspergillus restricti* ja *Aspergillus versicolores* -lajiryhmät. Näitä mikrobisukuja tavattiin molemmassa aineistossa kaikissa pitoisuusluokissa. Eri kosteusvaurioindikaattorimikrobien esiintyminen lisääntyi näytteen kokonaispitoisuuden kasvaessa. Vertaisarvioituissa tutkimuksissa on saatu samankaltaista näyttöä näiden mikrobien osalta rakennusmateriaalinäytteissä (Hyvärinen ym. 2002, Lappalainen ym. 2001; 2008, Salonen ym. 2007). Aineistojen suurimmissa pitoisuusluokissa mikrobilajisto oli runsaampaa, kuten myös aiemmassa kirjallisuudessa on todettu (Järvi ym. 2018, Lappalainen ym. 2001).

Aureobasidium-sienisuku oli useita nykyisiä listauksessa olevia indikaattorimikrobeja yleisempi rakennusmateriaalinäytteissä. Myös vertaisarvioitujen tutkimusten mukaan *Aureobasidium*-sienisukua on tavattu kosteusvauriorakennuksista otetuissa rakennusmateriaalinäytteissä (Hyvärinen ym. 2002, Lappalainen ym. 2001, Salonen ym. 2007). Kyseisellä sienisuvulla voisi olla indikaattoriarvoa mikrobikasvun havaitsemisessa, mutta *Aureobasidium*-suku on muutenkin yleinen rakennuksissa kosteilla pinnoilla, kuten keittiössä ja kylpyhuoneessa (Samson ym. 2011) ja sukua on havaittu myös tavanomaisen rakennuksen pölynäytteissä (Hanson ym. 2016, Takatori ym. 1994). Lisäksi havaittiin, että suurinta osaa asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaisista kosteusvaurioindikaattorimikrobeista ei havaittu aineistoissa lainkaan tai ainoastaan hyvin vähäisissä määrin. Nämä havainnot tukevat kirjallisuudessa todettua seikkaa, että ei-vaurioituneen rakennuksen mikrobistoon kuuluvat mikrobisuvut pääsevät yleistymään kosteusvaurioituneessa rakennuksessa ympäristöolosuhteiden muuttuessa mikrobikasvulle suotuisammaksi (Park ym. 2021).

Mikään yksittäinen mikrobikasvustoa indikoiva mikrobisuku ei noussut tässä katsauksessa missään pitoisuusluokassa ylitse muiden. Esimerkiksi aktinomykeetit eli sädesienet nousevat usein julkisuudessa esille mikrobivaurion selkeänä tunnusmerkkinä. Niiden rooli tämän analyysin perusteella ei kuitenkaan ole muita yleisiä kosteusvaurioindikaattorimikrobeja suurempi. Aktinomykeetit esiintyivät usein sienien kanssa yhdessä niin, että jo pelkkä mikrobien kokonaispitoisuus jommalla kummalla sienialustalla antoi tulkinnaksi mikrobikasvuston näytteissä. Harvemmin asetuksen mukainen aktinomykeettikasvu, jolloin aktinomykeettien pitoisuus on vähintään 3 000 pmy/g, yksinomaan johti tulkintaan mikrobikasvustosta. Myöskään mikrobien kokonaispitoisuuden ollessa alle 5 000 pmy/g aktinomykeettien kokonaispitoisuus oli harvoin vähintään 3 000 pmy/g.

Tämän katsauksen perusteella voidaan todeta, että suuressa osassa näytteitä mikrobikasvua ei havaittu lainkaan (Työterveyslaitos: 36 % ja THL: 28 % näytteistä) tai ne sijoituivat kokonaispitoisuutensa perusteella mikrobikasvustoa sisältäväksi (Työterveyslaitos: 31 % ja THL: 42 % näytteistä). Alle 5000 pmy/g pitoisuusluokkaan kuului Työterveyslaitoksen ja THL:n aineistoista noin neljäsosa näytteistä. Katsaus puoltaa sitä, että näytteen kokonaispitoisuudella on yksittäisiä indikaattorimikrobeja tärkeämpi rooli mikrobikasvuston tulkinnassa. Indikaattorimikrobien esiintymiselle näytteessä ei ole jatkossakaan syytä antaa liian suurta painoarvoa ja indikaattorimikrobilistauksen tiivistämistä voisi harkita. Indikaattorimikrobien esiintyminen rakennusmateriaalinäytteessä voi kuitenkin antaa viitteitä sekä olla tukemassa tulkintaa, kun mikrobien kokonaispitoisuuden perusteella ei voida osoittaa mikrobikasvustoa, mutta pitoisuus on kohonnut (pitoisuusluokka (5 000–10 000 pmy/g). Aineistoissa tällaisia tapauksia oli kuitenkin vain vähän ja niistäkin suurimmassa osassa esiintyi ainoastaan 1–2 indikaattorilajia. Suurin osa aineiston näytteistä ei viitannut mikrobikasvustoon myöskään silloin, jos kriteerinä pidettiin kolmen tai useamman indikaattorimikrobin esiintymistä näytteessä pitoisuusluokassa 5 000–10 000 pmy/g. Pitoisuusluokkien tarkastelu osoitti, että eniten esiintyvät mikrobiryhmät kaikissa pitoisuusluokissa ovat pääsääntöisesti samoja. Niiden esiintyvyys lisääntyy tasaisesti kokonaispitoisuuden kasvaessa. Näytteistä yleensä havaittavat mikrobit, joita ei ole indikaattorilistauksessa (*Penicillium*, *Cladosporium*, *Aureobasidium*), ovat usein havaitun mikrobikasvuston takana. Korkea aktinomykeettipitoisuus (vähintään 3000 pmy/g) voi viitata asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaiseen mikrobikasvustoa indikoivaan aktinomykeettikasvuun, vaikka näytteessä ei kasvaisi sieniä. Tällaisia tapauksia aineistoissa oli kuitenkin erittäin vähän.

Tulevaisuudessa rakennusmateriaalinäyteaineistoa voisi vielä tarkastella eri ikäisissä osa-aineistoissa, jotta voitaisiin havaita mahdolliset trendit indikaattorimikrobien esiintyvyydessä. Lisäksi eroja mikrobikasvussa eri rakennusmateriaalien välillä olisi syytä tutkia, jotta voitaisiin paremmin arvioida rakennusmateriaalien vaikutus eri mikrobiryhmien esiintymiseen. On myös hyvä tarkastella, tulisiko rajaa, jossa indikaattorimikrobien esiintyminen voi viitata mikrobikasvustoon, siirtää nykyisestä 5000–10 000 pmy/g:sta.

Johtopäätökset

Tulokset vahvistavat käsitystä siitä, että pelkkien indikaattorimikrobien havaitseminen rakennusmateriaalinäytteessä ei anna tarkkaa kokonaiskuvaa rakennusmateriaalin mikrobikasvustosta. Yksittäisten indikaattorimikrobien esiintymisen sijaan onkin tarkasteltava rakennusmateriaalinäytettä kokonaisuutena ja arvioida ensisijaisesti näytteen kokonaispitoisuutta ja tarvittaessa näytteessä esiintyvää mikrobistoa.

Lähteet

- Abraham JH., Gold DR., Dockery DW., Ryan L., Park JH., Milton DK. (2005) Within-home versus between-home variability of house dust endotoxin in birth cohort. *Environ Health Perspect*, 113:1516-1521.
- Adams RI., Miletto M., Taylor JW., Bruns TD. (2013) Dispersal in microbes: fungi in indoor air are dominated by outdoor air and show dispersal limitation at short distances. *ISME J*, 7:1262-1273.
- Adams RI., Sylvain I., Spilak MP., Taylor JW., Waring MS., Mendell MJ. (2020) Fungal signature of moisture damage in buildings: identification by targeted and untargeted approaches with mycobiome data. *Appl Environ Microbiol*, 86 (17):e01047-20.
- Amend AS., Seifert KA., Samson R., Bruns TD. (2010) Indoor fungal composition is geographically patterned and more diverse in temperate zones than in the tropics. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107:13748-13753.
- Adan OCG., Huinink HP., Bekker M. (2011) Water relations of fungi in indoor environments. *Teoksessa Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living*, Adan OCG, Samson RA (toim.) © Wageningen Academic Publishers, s. 41-65.
- Baxi SN., Muilenberg ML., Rogers CA., Sheehan W.J., Gaffin J., Permaul P., Kopel LS., Lai PS., Lane JP., Bailey A., Petty CR., Fu C., Gold DR., Phipatanakul W. (2013) Exposures to molds in school classrooms of children with asthma. *Pediatr Allergy Immunol*, 24:697-703.
- Burge HA., Macher JM., Milton DK., Ammann HM. (1999) Data Evaluation. *Teoksessa Bioaerosols: Assessment and Control*, JM. Macher, HA. Ammann, HA- Burge, Milton DK., Morey PR. (toim.), Cincinnati, OH: ACGIH. s. 14-1 – 14-11.
- Burge HA., Pierson DL., Groves TO., Strawn KE., Mishra SK. (2000) Dynamics of airborne fungal populations in a large office building. *Curr Microbiol*, 40:10-16.
- Dekoster JA., Thorne PS. (1995) Bioaerosol concentrations in noncomplaint, complaint, and intervention homes in the Midwest. *Am Ind Hyg Assoc J*, 56:573-580.
- Douwes J., van der Sluis B., Doekes G., van Leusden F., Wiljands L., van Strien R., Verhoeff A., Brunekreef B. (1999) Fungal extracellular polysaccharides in house dust as a marker for exposure to fungi: Relations with culturable fungi, reported home dampness and respiratory symptoms. *J Allergy Clin Immunol*, 103:494-500.
- Ege MJ., Mayer M., Normand AC., Genuneit J., Cookson W., Braun-Fahrlander C., Heederik D., Piarroux R. and von Mutius E. (2011) Exposure to environmental microorganisms and childhood asthma. *N Engl J Med*, 364: 701-709.
- Garret MH., Rayment PR., Hooper MA., Abramson MJ., Hooper BM. (1998) Indoor airborne fungal spores, house dampness and associations with environmental factors and respiratory health in children. *Clin Exp Allergy*, 28 (4): 459-467.
- Gehring U., Douwes J., Doekes G., Koch A., Bischof W., Fahlbusch B., Richter K., Wichmann HE. and Heinrich J. (2001) Beta (1->3)-glucan in house dust of German homes: housing characteristics, occupant behavior, and relations with endotoxins, allergens, and molds. *Environ Health Perspect*, 109: 139-144.
- Haverinen U., Husman T., Toivola M., Suonketo J., Pentti M., Lindberg R., Leinonen J., Hyvarinen A., Meklin T. Nevalainen A. (1999) An approach to management of critical indoor air problems in school buildings. *Environ Health Perspect*, 107: 509-514.
- Hodgson MJ., Morey P., Leung WY., Morrow L., Miller D., Jarvis BB., Robbins H., Halsey JF., Storey E. (1998) Build-ing-associated pulmonary disease from exposure to *Stachybotrys chartarum* and *Aspergillus versicolor*. *Occup Environ Med*, 40 (3): 241-249.
- Holst G., Host A., Doekes G., Meyer HW., Madsen AM., Sigsgaard T. (2015) Determinations of house dust, endotoxin, and beta-(1 -> 3)-D-glucan in homes of Danish children. *Indoor Air*, 25:245-259.
- Hurrass J., Heinzow B., Aurbach U., Bergmann K-C., Bufe A., Buzina W., Cornely OA., Engelhart S., Fischer G., Gabrio T., Heinz W., Herr C., Kleine-Tebbe J., Klimek L., Köberle M., Lichtnecker H., Lob-Corzilius T., Merget R., Mülleneisen N., Nowac D., Rabe U., Raulf M., Seidl HP., Steiss J-O., Szewczyk R., Thomas P., Valtanen K., Wiesmüller G. (2017) Medical Diagnostics for Indoor Mold Exposure. *Int J Hyg Environ Health*, 220 (2): 305-328.
- Hyvärinen A., Reponen T., Husman T., Ruuskanen J., Nevalainen A. (1993) Characterizing mold problem buildings – concentrations and flora of viable fungi. *Indoor Air*, 3 (4): 337-343.
- Hyvärinen A., Meklin T., Vepsäläinen A., Rautiala S., Nevalainen A. (2001a) Mikrobiston diversiteetti vaurioituneissa rakennusmateriaaleissa. *Sisäilmastoseminaari 2001. SIY Raportti 2001.15: 65-70.*
- Hyvärinen A., Vahteristo M., Meklin T., Jantunen M., Nevalainen A., Moschandreas D. (2001b) Temporal and spatial variation of fungal concentrations in indoor air. *Aerosol Science and Technology*, 35: 688-695.
- Hyvärinen A., Meklin T., Vepsäläinen A., Nevalainen A. (2002) Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials - concentrations and diversity. *Int Biodeter Biodegr*, 49(1):27-37.
- Hyvärinen A., Sebastian A., Pekkanen J., Larsson L., Korppi M., Putus T. and Nevalainen, A. (2006a) Characterizing microbial exposure with ergosterol, 3-hydroxy fatty acids, and viable microbes in house dust: Determinants and association with childhood asthma. *Arch Environ Occup Health*, 61: 149-157.
- Hyvärinen A., Roponen M., Tiittanen, P., Laitinen, S., Nevalainen, A. and Pekkanen, J. (2006b) Dust sampling methods for endotoxin - an essential, but underestimated issue. *Indoor Air*, 16: 20-27.
- IBM Corp. Julkaistu 2020. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0.* Armonk, NY: IBM Corp.
- Institute of Medicine (2004) *Damp buildings. Teoksessa Damp Indoor Spaces and Health.* Washington (DC): National Academies Press, s.54-73.
- Jayaprakash B., Adams RI., Kirjavainen P., Karvonen A., Vepsäläinen A., Valkonen M., Järvi K., Sulyok M., Pekkanen

- J., Hyvärinen A., Täubel M. (2017) Indoor microbiota in severely moisture damaged homes and the impact of interventions. *Microbiome*, 5:138.
- Jacobs JH., Krop EJ., Borrás-Santos A., Zock JB., Täubel M., Hyvärinen A., Pekkanen J., Doekes G., Heederik D.J. HITEA school study consortium (2014) Endotoxin levels in settled airborne dust in European schools: the HITEA school study. *Indoor Air*, 24:148-157.
- Jarvis JQ., Morey PR. (2001) Allergic respiratory disease and fungal remediation in a building in a subtropical climate. *Appl Occup Environ Hyg*, 16 (3):380-388.
- Järvi K., Hyvärinen A., Täubel M., Karvonen AM., Turunen M., Jalkanen K., Patovirta R., Syrjänen T., Pirinen J., Salonen H., Nevalainen A., Pekkanen J. (2018) Microbial growth in building material samples and occupants' health in severely moisture-damaged homes. *Indoor Air*, 28(2): 287-297.
- Kaarakainen P., Rintala H., Vepsäläinen A., Hyvärinen A., Nevalainen A., Meklin T. (2009) Microbial content of house dust samples determined with qPCR. *Sci Total Environ*, 407: 4673-4680.
- Kaarakainen P., Rintala H., Meklin T., Karkkainen P., Hyvärinen A., Nevalainen A. (2011) Concentrations and diversity of microbes from four local bioaerosol emission sources in Finland. *J Air Waste Manag Assoc*, 61: 1382-1392.
- Koch A., Heilemann KJ., Bischof W., Heinrich J., Wichmann HE. (2000) Indoor viable old spores - a comparison between two cities, Erfurt (eastern Germany) and Hamburg (western Germany). *Allergy*, 55:176-180.
- Korthals M., Ege M., Lick S., von Mutius E., Bauer J. (2008) Occurrence of *Listeria* spp. in mattress dust of farm children in Bavaria. *Environ Res*, 107: 299-304.
- Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2017. Saatavilla: www.kaypahoito.fi.
- Krop EJ., Jacobs JH., Sander I., Raulf-Heimsoth M., Heederik, DJJ. (2014) Allergens and beta-glucans in Dutch homes and schools: characterizing airborne levels. *Plos One*, 9, e88871.
- Kuo YM., Li CS. (1994) Seasonal Fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate. *Atmos Environ*, 28: 3125-3130.
- Kärkkäinen PM., Valkonen M., Hyvärinen A., Nevalainen A., Rintala H. (2010) Determination of bacterial load in house dust using qPCR, chemical markers and culture. *J Environ Monit*, 12: 759-768.
- Lacey J., Hill ST., Edwards MA. (1980) Micro-organisms in stored gains: their enumeration and significance. *Trop Stored Prod Inform*, 39:19-33.
- Lappalainen S., Kähkönen E., Loikkanen P., Palomäki E., Lindroos O., Reijula K. (2001) Evaluation of priorities for repairing in moisture-damaged school buildings in Finland. *Build Environ*, 36(8)981-986.
- Lappalainen S., Salonen H., Lindroos O., Harju R., Reijula K. (2008) Fungal species in mold-damaged and nondamaged office buildings in southern Finland. *Scand J Work Env Health Suppl*, 4:18-20.
- Lehtonen M., Reponen T., Nevalainen A. (1993) Everyday activities and variation of fungal spore concentrations in indoor air. *Int Biodeterior Biodegrad*, 31: 25-39.
- Leppänen H., Nevalainen A., Vepsäläinen A., Roponen M., Täubel M., Laine O., Rantakokko P., von Mutius E., Pekkanen J., Hyvärinen A. (2014a) Determinants, reproducibility and seasonal variation of ergosterol levels in house dust. *Indoor Air*, 24: 248-259.
- Leppänen H., Täubel M., Roponen M., Vepsäläinen A., Rantakokko P., Pekkanen J., Nevalainen A., von Mutius E., Hyvärinen A. (2014b) Determinants, reproducibility and seasonal variation of bacterial cell wall components in house dust. *Indoor Air*, 25: 260-272.
- Leppänen H., Täubel M., Jayaprakash B., Vepsäläinen A., Pasanen P., Hyvärinen A. (2018) Quantitative assessment of microbes from samples of indoor air and dust. *J Expo Sci Environ Epid*, 28(3):231-241.
- Li CS., Kuo YM. (1994) Characteristics of airborne microbial microfungi in subtropical homes. *Sci Total Environ*, 155:267-271.
- Meadow JF., Altrichter AE., Kembel SW., Kline J., Mhuireach G., Moriyama M., Northcutt D., O'Connor TK., Womack AM., Brown GZ., Green JL., Bohannon BJM. (2014) Indoor airborne bacterial communities are influenced by ventilation, occupancy, and outdoor air source. *Indoor Air*, 24:41-48.
- Meklin T., Husman T., Vepsäläinen A., Vahteristo M., Koivisto J., Halla-Aho J., Hyvärinen A., Moschandreas D., Nevalainen A. (2002) Indoor air microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and reference schools. *Indoor Air*, 12: 175-183.
- Meklin T., Reponen T., McKinstry C., Cho S-H., Grinshpun S., Nevalainen A., Vepsäläinen A., Haugland R., LeMasters G., Vesper S. (2007) Comparison of mold concentrations quantified by MSQPCR in indoor and outdoor air sampled simultaneously. *Sci Total Environ*, 382: 130-134.
- Mentese S., Rad AY., Arisoy M., Gullu G. (2012) Multiple comparisons of organic, microbial, and fine particulate pollutants in typical indoor environments: diurnal and seasonal variations. *J Air Waste Manag Assoc*, 62:1380-1393.
- Microsoft Corporation (2018) Microsoft Excel, Available at: <https://office.microsoft.com/excel>.
- Miletto M., Lindow SE. (2015) Relative and contextual contribution of different sources to the composition and abundance of indoor air bacteria in residences. *Microbiome* 3: UNSP 61.
- Moniruzzaman S., Engman LH., James P., Sigsgaard T., Thorne PS., Sundell J., Bornehag CG. (2012) Levels of endotoxin in 390 Swedish homes: determinants and the risk for respiratory symptoms in children. *Int J Environ Health Res*, 22: 22-36.
- Nevalainen A., Pasanen A-L., Niininen M., Reponen T., Kallio-Okoski P. (1991) The indoor air quality in Finnish homes with mold problems. *Environ Int*, 17:299-302.
- Normand A., Sudre B., Vacheyrou M., Depner M., Wouters I.M., Noss I., Heederik D., Hyvärinen A., Genuneit J., Braun-Fahrlander C., von Mutius E., Piarroux R. and GABRIEL-A Study Grp. (2011) Airborne cultivable microflora and microbial transfer in farm buildings and rural dwellings. *Occup Environ Med*, 68: 849-855.

- Park JH., Szponar B., Larsson L., Gold DR., Milton DK. (2004) Characterization of lipopolysaccharides present in settled dust. *Appl Environ Microbiol*, 70:262-267.
- Park JH., Lemons RA., Roseman J., Green BJ., Cox-Ganser JM. (2021) Bacterial community assemblages in classroom floor dust of 50 public schools in a large city: characterization using 16S rRNA sequences and associations with environmental factors. *Microbiome*, 9(1):15.
- Pasanen A-L., Kalliokoski P., Pasanen P., Salmi T., Tossavainen A. (1989) Fungi carried from farmers work into farm homes. *Am Ind Hyg Assoc J*, 50, 631-633.
- Pasanen A-L. (1992a) Airborne mesophilic fungal spores in various residential environments. *Atmos Environ*, 26A (16): 2861-2868.
- Pasanen A-L., Niininen M., Kalliokoski P., Nevalainen A., Jantunen MJ. (1992b) Airborne Cladosporium and other fungi in damp versus reference residences. *Atmos Environ*, 26 B (1): 117-120.
- Pasanen AL., Rautiala S., Kasanen JP., Raunio P., Rantamäki J., Kalliokoski P. (2000) The relationship between measured moisture conditions and fungal concentrations in water-damaged building materials. *Indoor Air*, 10(2):111-120.
- Pessi AM., Jalkanen K. (2018) Laboratorio-opas, Mikrobiologisten asumisterveysstutkimuksien näytteenotto ja analyysimenetelmät. Suomen Ympäristö- ja Terveystieteiden Kustannus Oy, Pori s. 11-38.
- Pitkäranta M., Meklin T., Hyvärinen A., Nevalainen A., Paulin L., Auvinen P., Lignell U., Rintala H. (2011) Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged buildings before and after remediation - a comparison of culture-dependent and culture-independent methods. *BMC Microbiol*, 11:235.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rautiala S., Reponen T., Hyvärinen A., Nevalainen A., Husman T., Vehviläinen A., Kalliokoski P. (1996) Exposure to airborne microbes during the repair of moldy buildings. *Am Ind Hyg Assoc J*, 57:279-284.
- Reiman M., Kujanpää L., Vilkki R., Sundholm P., Kujanpää R: Microbes in building materials of different densities. *Proceedings of Healthy Buildings 2000*. Vol. 3: 313-316.
- Reponen T., Nevalainen A., Jantunen M., Kalliokoski P. (1992) Normal range criteria for indoor air bacteria and fungal spores in subarctic climate. *Indoor Air*, 2:26-31.
- Rintala H., Pitkäranta M., Toivola M., Paulin L., Nevalainen A. (2008) Diversity and seasonal dynamics of bacterial community in indoor environment. *BMC Microbiol*, 8,56.
- Rintala H., Pitkäranta M., Täubel M. (2012) Microbial communities associated with house dust. *Adv Appl Microbiol*, 78:75-120.
- Salonen H., Lappalainen S., Lindroos O., Harju R., Reijula K. (2007) Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate. *Atmos Environ*, 41(32): 6797-6807.
- Samson RA., Flannigan B., Flannigan ME., Verhoeff AP., Adan OCH., Hoekstra ES. (1994) Health implications of fungi in indoor environments. Amsterdam: Elsevier Publications s. 535.
- Samson RA. (2011) Ecology and general characteristics of indoor fungi. Teoksessa *Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living*. Adan OCG., Samson RA. (toim.) © Wageningen: Academic Publishers s. 101-116.
- Schram D., Doekes G., Boeve M., Douwes J., Riedler J., Ublagger E., von Mutius E., Budde J., Pershagen G., Nyberg F., Alm J., Braun-Fahrlander C., Waser M., Brunekreef B. and Parsifal Study Grp. (2005) Bacterial and fungal components in house dust of farm children, Rudolf Steiner school children and reference children - the PARSIFAL Study. *Allergy*, 60: 611-618.
- Schäfer J, Jackel U, Kampfer P (2010) Analysis of Actinobacteria from mould-colonized water damaged building material. *Syst Appl Microbiol*, 33(5): 260-268.
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asian- tuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015).
- Tager I.B., Lurmann FW., Haight T., Alcorn S., Penfold B., Hammond SK. (2010) Temporal and spatial patterns of ambient endotoxin concentrations in Fresno, California. *Environ Health Perspect*, 118: 1490-1496.
- Torvinen E., Meklin T., Torkko P., Suomalainen S., Reiman M., Katila ML., Paulin L., Nevalainen A. (2006) Mycobacteria and fungi in moisture-damaged building materials. *Applied and Environmental Microbiology*, 72: 6822-6824.
- Täubel M., Rintala H., Pitkäranta M., Paulin L., Laitinen S., Pekkanen J., Hyvärinen A., Nevalainen A. (2009) The occupant as a source of house dust bacteria. *J Allergy Clin Immunol*, 124(4):834-40.
- Shelton B., Kirkland K., Flanders W., Morris G. (2002) Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Appl Environ Microbiol*, 68:1743-1753.
- Valvira. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016. Saatavilla osoitteesta: <https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje+osa+IV.pdf/cdfaaa39-d2e5-4bd6-b9e9-6d9c0f60bfff6>.
- van Strien R.T., Engel R., Holst O., Bufe A., Eder W., Waser M., Braun-Fahrlander C., Riedler J., Nowak D., von Mutius E. and Alex Study Team. (2004). Microbial exposure of rural school children, as assessed by levels of N-acetyl-muramic acid in mattress dust, and its association with respiratory health. *J Allergy Clin Immunol*, 113: 860-867.
- Verhoeff AP., Vanwijnen JH., Brunekreef B., Fischer P., Vanreenenhoekstra ES., Samson RA. (1992) Presence of viable mould propagules in indoor air in relation to house damp and outdoor air. *Allergy*, 47: 83-91.
- von Mutius E., Braun-Fahrlander C., Schierl R., Riedler J., Ehlermann S., Maisch S., Waser M., Nowak D. (2000) Exposure to endotoxin or other bacterial components might protect against the development of atopy. *Clin Exp Allergy*, 30: 1230-1234.
- Waser M., Schierl R., von Mutius E., Maisch S., Carr D., Riedler J., Eder W., Schreuer M., Nowak D., Braun-Fahrlander C. (2004) Determinants of endotoxin levels in living

- environments of farmers' children and their peers from rural areas. *Clin Exp Allergy*, 34: 389-397.
- World Health Organization (2009) WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mold. Germany: Druckpartner Moser, s.10-13
- Wouters I.M., Douwes J., Doekes C., Thorne P.S., Brunekreef B., Heederik DJJ. (2000) Increased levels of markers of microbial exposure in homes with indoor storage of organic household waste. *Appl Environ Microbiol*, 66: 627-631.
- Wu Y., Chan C., Rao CY., Lee C-T., Hsu H-H., Chiu Y., Chao HJ. (2007) Characteristics, determinants, and spatial variations of ambient fungal levels in the subtropical Taipei metropolis. *Atmos Environ*, 41:2500-2509.
- Yamamoto N., Hospdsky D., Dannemiller KC., Nazaroff WW., Peccia J. (2015) Indoor emissions as a primary source of airborne allergenic fungal particles in classrooms. *Environ Sci Technol*, 49:5098-5106.