

**SIRATE**

Ilmasta Hyvää.

# RAKENNUSTERVEYS- TIETOKANTA

LOPPURAPORTTI

Vesa Koskinen  
Vuokko Lappalainen  
Timo Murtoniemi



Työsuojelurahasto  
Arbetskyddsfonden  
The Finnish Work Environment Fund

# RAKENNUSTERVEYSTIETOKANTA

## Tutkimushankkeen loppuraportti

Vesa Koskinen, Vuokko Lappalainen, Timo Murtoniemi

### Sirate Group Oy

Vesa Koskinen, FT, RTA, kehityspäällikkö  
Vuokko Lappalainen, FM, RTA, aluejohtaja  
Timo Murtoniemi, FT, RTA, aluejohtaja  
Tommi Vehviläinen, DI, RTA, johtava asiantuntija  
Milla Rantanen, DI, KVKT, kuntotutkija  
Suvi Kajananen, RI, kuntotutkija  
Janita Törnroos, RI, kuntotutkija  
Jukka Inha, RI, KVKT, kuntotutkija

[www.sirategroup.fi](http://www.sirategroup.fi)

Hanke on toteutettu Työsuojelurahaston tuella (Hanke 210369)

© 2024 Sirate Group Oy ja kirjoittajat

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (406/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-94-9921-2 (PDF)

## Tiivistelmä

Vuosina 2022–2024 toteutetussa Rakennusterveystietokanta-hankkeessa luotiin tietokanta Sirate Group Oy:n ja Sirate Oy:n vuosien 2011–2024 aikana julkisiin rakennuksiin tekemien sisäilma- ja kuntotutkimusten näyte- ja mittausaineistosta. Tarkasti luokiteltua aineistoa ja siitä tilastollisin menetelmin analysoituja tuloksia on jo hankkeen aikana hyödynnetty viranomaisohjeiden päivityksessä, ja ne antavat jatkossakin laajaa pohjatietoa mm. terveydensuojelulain päivitykseen.

Hankkeessa kerättiin keinoälyä ja koneoppimista hyödyntäen tarkasti luokiteltua tietoa 1304 tutkimuksesta, joista laajoja kuntotutkimuksia oli 420. Tutkimukset kohdistuivat kaikkiaan 866 rakennukseen ja niiden eri aikoina valmistuneisiin 939 rakennuksenosaan. Esimerkiksi suoraviljelyistä 10 253 materiaalinäytteestä kertyi lajistokohtaista aineistoa yli 100 000 tulosrivää.

Kuntotutkimustulosten yhteyttä koettuihin sisäilmaongelmiin arvioitiin jakamalla tutkitut kohteet ongelma- ja vertailukohteiksi. Vertailukohteiksi hyväksyttiin peruskorjausta varten tutkittuja rakennuksia, joista ei missään tutkimusvaiheessa saatu tietoja koetusta sisäilmaongelmasta. Jako osoittautui onnistuneeksi, koska näiden luokkien välillä todettiin tilastollisesti erittäin merkitseviä eroja kuntoarviomenetelmin havaittavien merkittävien mikrobi- ja kosteusvaurioiden esiintymisessä sekä materiaalinäytteiden mikrobianalysien tulosjakaumissa.

Selkeimmin koettujen sisäilmaongelmien kanssa korreloi aistinvaraisesti havaittavien kosteusvaurioiden ja mikrobiperäisen hajun esiintyminen rakennuksessa. Kuntotutkimuksissa merkittäviä, ainakin osaan rakennuksen käyttötiloista vaikuttavia kosteus- ja mikrobivaurioita havaittiin kuitenkin yhtä paljon, eli lähes 70 %, kaikista rakennuksista riippumatta siitä, oliko niissä koettu sisäilmaongelmaa. Koska tieteellisissä sisäilmatutkimuksissa rakennusten luokittelu perustuu usein aistinvaraisiin katselmuksiin, on mahdollista, että myös näiden vertailurakennuksissa on vain kuntotutkimusmenetelmin todennettavissa olevia merkittäviä kosteus- ja mikrobivaurioita. Tällä olisi todennäköisesti ollut vaikutusta myös tutkimustulosten tulkintaan.

Mikrobien suoraviljelynäytteiden tulkintaohjeet todettiin monitulkintaisiksi. Eri tulkintojen todettiin muuttavan tuloksen enimmillään n. 6 % kaikista näytteistä. Soveltamisohjeessa vaaditun neljännen kasvatusalustan lisääminen suoraviljelyanalyysiin vaikutti puolestaan alle 1 % tuloksista. Mikrobivaurioiden esiintymisen ja mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuuden todettiin odotetusti kasvavan rakennuksen iän myötä. Tilastollisesti merkitseviä eroja todettiin myös eri rakennusosien ja rakenteiden materiaalinäytteiden tulosjakaumissa sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden välillä. Esim. mineraalivilla- ja kipsilevynäytteissä sekä sokkelihalkaisuista ja valesokkeleista otetuissa näytteistä esiintyi enemmän mikrobikasvua ongelma- kuin vertailukohteissa.

Näyteaineistoon perustuen todennettiin jo hankkeen pilotissa havaittu ero eri laboratorioiden teollisten mineraalikulitujen analyyseissä tilastollisesti merkitseväksi. Osin tämän eron pienentämiseksi tehty päivitys soveltamisohjeeseen vuonna 2021 johti erojen merkittävään kasvuun sekä toimenpiderajan ylittävien näytteiden osuuden pienenemiseen. Hankkeen välituloksena esitetyt havainnot analyyseineen johtivat soveltamisohjeen uuteen päivitykseen keväällä 2024.

Kevään 2025 aikana täydennettävän, alustavan tuloksen perusteella useaan kertaan uudistetulla Työterveyslaitoksen olosuhdearviolla ei kyetty erottamaan ongelmakohteita vertailukohteista. Tässä ongelmaksi osoittautui etenkin painesuhteiden ja rakenteiden ilmapuotojen merkityksen arviointi ja siihen liittyvä ohjeistus. Olosuhdearvioinnille esitetään hankkeessa vaihtoehtoinen menetelmä, jossa arvio tehdään altistekohtaisesti.

Hankkeessa jo saavutetut tulokset osoittavat rakennusterveystietokannan merkityksen sisäilmaan liittyvässä tutkimuksessa. Hankkeen aineistoa on jo alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus edelleen täydentää ja sen analysointia jatkaa. Jo yhden toimijan aineistosta kootulla aineistolla saavutetut tulokset antavat perusteita tietokannan laajentamiseksi kansalliseksi, mikä nopeuttaisi merkittävästi aineiston keräämistä ja siten tulosten yleistettävyyttä. Hankkeessa saavutetut tulokset osoittavat, että käytännön kuntotutkimustyön ja siinä kerätyn aineiston käyttö tieteellisessä tutkimuksessa on hyödyllistä. Määräyksiä ja ohjeistuksia laadittaessa tulisi myös hyödyntää niiden suunniteltujen toteuttajien osaaminen ja kokemukset.

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Sisällysluettelo .....	3
Hankkeen julkaisuluettelo .....	6
1 Johdanto .....	8
1.1 Tutkimushankkeen lähtökohta ja tarkoitus.....	8
1.2 Hankkeen tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	8
2 Aineisto ja menetelmät .....	10
2.1 Relaatiotietokanta .....	10
2.2 Aineisto ja sen luokittelu .....	10
2.3 Aineiston keräys- ja tarkastusmenetelmät.....	11
2.3.1 Näyteaineiston kerääminen analyysivastauksista .....	11
2.3.2 Muu aineisto.....	11
2.4 Aineiston rajaus .....	12
2.5 Tilastolliset menetelmät .....	12
3 Rakennukset ja rakennuskanta.....	13
3.1 Rakennustiedot ja niiden luokittelu .....	13
3.1.1 Rakennus ja rakennuksenosa .....	13
3.1.2 Rakennusten luokittelu sijainnin ja rakennusajankohdan perusteella.....	13
3.1.3 Rakennusten luokittelu käyttötarkoituksen perusteella .....	15
3.1.4 Rakennusten ja kuntotutkimusten luokittelu omistussuhteen perusteella.....	15
3.1.5 Kuntotutkitut rakennukset tutkimussyy perusteella.....	16
3.2 Tulokset .....	17
3.2.1 Merkittävät kosteusvaurioiden esiintyminen SI-ongelma ja vertailukohteissa .....	17
3.2.2 Merkittävien kuituongelmien esiintyminen .....	19
3.2.3 Kosteusvauriot ja kuidut rakennusajankohdan ja käyttötarkoituksen mukaan.....	20
3.3 Yhteenveto .....	21
4 Mikrobinäytteet.....	22
4.1 Näyteaineisto ja sen luokittelu .....	22
4.2 Suoraviljelynäytteiden tulkinta.....	23
4.2.1 Asumisterveysasetus ja sen soveltamisohje.....	23
4.2.2 Laboratorio-opas .....	25
4.2.3 Tietokannassa luotu vertailutulkinta .....	25
4.2.4 Työterveyslaitoksen ehdotus.....	26
4.3 Tulokset .....	26
4.3.1 Tulosten tulkinnan merkitys.....	26
4.3.2 Hagem- ja M2-alustojen vaikutus tulkintaan .....	27

4.3.3 Mikrobinäytteet rakennusajankohdan mukaan .....	28
4.3.4 Mikrobinäytteet rakennusten käyttötarkoituksen mukaan .....	29
4.3.5 Mikrobinäytteet materiaaleittain ja rakennusosittain .....	30
4.3.6 Mikrobinäytteet rakenteittain .....	33
4.3.7 Mikrobinäytteiden tulosjakaumat maakunnittain .....	34
4.3.8 Mikrobinäytteet sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa .....	35
4.3.9 Suoraviljely- ja laimennossarjanäytteet .....	39
4.4 Yhteenveto .....	43
5 Teolliset mineraalikuidut .....	44
5.1 Näytteenottomenetelmä Suomessa .....	44
5.2 Näytetulosten tulkinta .....	45
5.3 Näyteaineisto ja sen luokittelu .....	46
5.4 Tulokset .....	47
5.4.1 Mineraalikuitujen määrät kahden viikon laskeumanäytteissä .....	47
5.4.2 Mineraalikuitujen määrät tuloilmajärjestelmän näytteissä .....	49
5.4.3 Laboratorioiden väliset erot .....	51
5.4.4 Mittausepävarmuuden vaikutus tuloksiin .....	52
5.4.5 Kuitunäytteiden tulokset rakennusajankohdan ja käyttötarkoituksen mukaan .....	53
5.4.6 Kuitunäytteiden tulokset sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa .....	54
5.5 Yhteenveto .....	55
6 Olosuhdearvio .....	56
6.1 Ohjeistukset olosuhdearvion laatimiseksi .....	56
6.2 Ilmavuodot rakenteiden kautta .....	56
6.2.1 Ilmavuotojen merkittävyyden arviointi .....	57
6.2.2 Rakennuksen ilmatiivyyden ja painesuhteiden merkitys ilmavuotomääriin .....	59
6.3 Työterveyslaitoksen olosuhdearvio .....	60
6.3.1 Ilmavuotojen merkitys olosuhdearviossa .....	60
6.3.2 Olosuhdearvion laatimiseen liittyviä ongelmia .....	61
6.3.3 Olosuhdearviot hankkeen kuntotutkimuskohteissa .....	62
6.4 Tietokantahankkeen altistumisarvion periaatteet .....	65
6.4.1 Mikroбивaurioiden laajuus .....	65
6.4.2 Ilmavuotojen merkityksen arviointi .....	66
6.4.3 Mikroбивaurioiden merkityksen arviointi .....	67
6.4.4 Teollisten mineraalikuitujen altistumisarvio .....	68
6.4.5 Yhteenveto arvioinnin tuloksista .....	69
7 Kansallinen rakennusterveystietokanta .....	71
8 Johtopäätökset .....	72
Liitteet .....	73

---

Kirjallisuus.....	74
Liite 1. Poissonin jakauma ja keskiarvojen laskenta .....	1
Esimerkki Poisson-prosessista ja -jakaumasta.....	1
Poissonin jakauman tiheysfunktio.....	1
Todennäköisyydet eri kuitutuloksille .....	2
Keskiarvon luottamusväli .....	3
Liite 2. Tietokannan mallirakenteet.....	5

## Hankkeen julkaisuluettelo

### Julkaisut

1. V. Koskinen, S. Häkkinen, A.-M. Pessi, T. Murtoniemi (2022), *Counting man-made mineral fibres from settled dust: comparison of three sampling methods*, Poster ja artikkeli, Proceedings of Indoor Air 2022 Kuopio, Finland, [https://www.isiaq.org/conference\\_proceedings.php](https://www.isiaq.org/conference_proceedings.php).
2. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, T. Vehviläinen (2023), *Rakennusterveystietokanta-hanke kerää kuntotutkimustietoa julkisen rakennuskannan kunnosta*, Poster ja artikkeli, Sisäilmastoseminaari 2023, Sisäilmayhdistys ry, raportti 41, <https://sisailmayhdistys.fi/julkaisut/>.
3. V. Koskinen, T. Murtoniemi, V. Lappalainen, J. Katajisto, T. Vehviläinen (2023), *Healthy Building database connects scientific analysis with comprehensive condition assessments of public buildings*, suullinen esitys ja artikkeli, Proceedings of Healthy Building Europe 2023, Aachen, Saksa, [https://www.isiaq.org/conference\\_proceedings.php](https://www.isiaq.org/conference_proceedings.php).
4. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, T. Vehviläinen (2023), *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päivityksen vaikutus mineraalikulunäytteisiin*, Rakennusfysiikka 2023, suullinen esitys ja artikkeli, Seminaarijulkaisu 8, Tampereen yliopisto, Tampere, <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3118-4>.
5. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, T. Vehviläinen (2023), *Kuntoarviot vääristävät tieteellisten sisäilmatutkimusten tuloksia?* suullinen esitys ja artikkeli, Rakennusfysiikka 2023, Seminaarijulkaisu 8, Tampereen yliopisto, Tampere, <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3120-7>.
6. V. Lappalainen, V. Koskinen, M. Rantanen, J. Törnroos, T. Murtoniemi (2024), *Mikrobikasvuston määrä ja lajisto sisäilmaongelma- ja vertailurakennuksissa suoraviljelynäytteissä*, suullinen esitys ja artikkeli, Sisäilmastoseminaari 2024, Sisäilmayhdistys ry, raportti 42, <https://sisailmayhdistys.fi/julkaisut/>.
7. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, S. Kajanen, M. Rantanen (2024), *Miten kuituongelma ratkaistiin soveltamisohjeen päivityksellä?* suullinen esitys ja artikkeli, Sisäilmastoseminaari 2024, Sisäilmayhdistys ry, raportti 42, <https://sisailmayhdistys.fi/julkaisut/>.
8. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, (2024), *Teollisten mineraalikulujen määrä toimistotyyppeissä rakennuksissa ei ole vähentynyt*, poster ja artikkeli, Sisäilmastoseminaari 2024 Sisäilmayhdistys ry, raportti 42, <https://sisailmayhdistys.fi/julkaisut/>.
9. V. Lappalainen, V. Koskinen, M. Rantanen, J. Törnroos, T. Murtoniemi, *Healthy Building database: Microbial growth and diversity in typical building materials in Finland*, full text in Proceedings, Indoor Air 2024, Honolulu, Hawaii, USA, [https://www.isiaq.org/conference\\_proceedings.php](https://www.isiaq.org/conference_proceedings.php).
10. V. Koskinen, V. Lappalainen, *Korrelaivatko kuntotutkimustulokset ja olosuhdearviot koettujen sisäilmaongelmien kanssa?* artikkelikäsikirjoitus, Sisäilmastoseminaari 2025
11. V. Lappalainen, V. Koskinen, *Mikrobinäytteet rakennusterveystietokannassa*, artikkelikäsikirjoitus, Sisäilmastoseminaari 2025
12. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, (2025) *Exposure assessment...*, artikkeli valmisteilla

### Raportit ja opinnäytetyöt

1. Rakennusterveystietokanta-hanke, loppuraportti
2. J. Rentola, *Rakenteiden riskianalyysi ja vaurioitumisherkkyys*, Opinnäytetyö, Savonia ammattikorkeakoulu, 2024, <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024052917614>.

### Muut esiintymiset

1. Aamupaja-alustus: V. Lappalainen, *Mikrobinäytteet kuntotutkijan työkaluna*, Joensuun Sisäilmapaja14, 22.-23.11.2023, Joensuu
2. Alustus: V. Lappalainen, *Kolme vai neljä maljaa? -Suoraviljelynäytteet Rakennusterveystietokannassa*, Asumisterveystutkimuksia tekevien laboratorioden neuvottelupäivä 24.4.2024
3. Indoor Air Indoor air - Complex Challenges and Unique Opportunities, Osa Suomen Akatemian Atmosphere and Climate Competence Center (ACCC)-lippulaivan Impact viikkoa, Kulttuurikeskus Sofia, Helsinki 11.4.2024

4. Mineraalikuultisteet oletettua yleisempiä, PuhdasTIETO 2/2024
5. Webinaari: Rakennusterveystietokanta-hanke, 4.11, 2024
6. Webinaari; Olosuhdearvio Rakennusterveystietokanta -hankkeessa, 16.1.2025
7. Aerobiologiain aamukahvit -infohetki mikrobiologiasta ja asumisterveydestä, verkkopalaveri/webinaari: Materiaalinäytteiden mikrobiitulokset rakennusterveystietokantahankkeessa, 5.3.2025



## 1 Johdanto

### 1.1 Tutkimushankkeen lähtökohta ja tarkoitus

Julkisessa rakennuskannassamme yleisten sisäilmaongelmien selvittäminen ja sisäilmaan laatuun liittyvät asiat on huomioitu laajasti lainsäädännössä sekä viranomais- ja muissa ohjeissa. Sisäilman laadun arvioinnin lähtökohtana on ohjeistusten mukaisesti rakennusterveysasiantuntijan johdolla tehty kuntotutkimus, jossa selvitetään sisäilman olosuhteiden ja ilmavaihdon toiminnan lisäksi vauriot ja muut epäpuhtauslähteet, niiden laajuus sekä ilman epäpuhtauksien kulkeutuminen vaurioalueilta sisäilmaan.

Lainsäädännön ja ohjeistuksen perustana toimivat tieteelliset tutkimukset, joissa rakennusten luokittelussa vain harvoin on käytetty rakennusten kuntotutkimuksia ohjeistusten mukaisessa laajuudessa. Kattavien kuntotutkimusten tekeminen on kallista, minkä vuoksi tutkimushankkeissa niiden tekeminen on vain harvoin mahdollista tai tutkittuja kohteita on hyvin pieni määrä. Tutkimushankkeissa rakennuksen kunnan arviointi perustuukin yleisimmin sisäilmakyselyihin ja erilaisiin arviointikierroksiin. Näiden perusteella tehty luokittelu vaurio- ja vertailurakennuksiksi voi olla virheellinen.

Rakennusten kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia tekeville asiantuntijoille (rakennusterveysasiantuntijat) ja yrityksille kertyy vuosittain valtava määrä mittaus- ja näyteaineistoa sekä tietoa suomalaisten rakennusten kunnosta ja sisäilman laadusta. Laboratorioiden palvelunäyteaineistoihin verrattuna tieto esimerkiksi näytteenotto paikasta ja -tilanteesta on huomattavasti tarkempaa. Tätä aineistoa ei kuitenkaan ole voitu käyttää lainsäädännön ja ohjeistusten laadinnan tukena, koska aineisto on ollut hajallaan yksittäisissä tutkimusraporteissa ja analyysivastauksissa. Rakennusterveystietokanta-hankkeessa on tarkasteltu yhden yrityksen keräämää kuntotutkimustietoa.

Tutkimuksen lähtökohtana oli tuoda pääosin julkisilla palvelututkimuksilla tuotettu laaja ja tarkasti luokiteltu aineisto tieteellisin tutkimusmenetelmin suomalaisen työelämän käyttöön sekä lainsäädännön ja ohjeistusten pohjatiedoksi. Hankkeessa tuotettu tieto perustuu poikkeavan laajaan kuntotutkimusaineistoon, jonka avulla tutkitaan suomalaisen rakennuskannan kuntoa ja yhteyttä koettuihin sisäilmaongelmiin. Hankkeen aikana aineistolle tehdyillä analyyseillä ja niiden avulla saavutettavilla tuloksilla on merkitystä jo sellaisenaan. Ennen kaikkea ne kuitenkin toimivat esimerkkeinä siitä, millaista tietoa hankkeen tietoaineistolla on mahdollista saavuttaa. Aineistoa ja sen analysointi ei ollut tavoitteenakaan saada kokonaisuudessaan valmiiksi. Tavoitteena on, että aineistoa voidaan laajentaa ja sen jatkoanalyysillä saada lisää rakennusterveysaiheista tietoa tulevaisuudessakin. Hankkeen tuloksia ja kokemuksia voidaan käyttää perusteluna kansalliselle rakennusterveystietokannalle sekä arvioitaessa edellytyksiä tälle.

Hanketta on tehty yhteistyössä Terveet Tilat 2028 sihteeristön kanssa. Hankkeen näytetietojen keräyksestä keinoälyä ja koneoppimista hyödyntäen on vastannut Zefort Oy ja aineiston tilastollisessa analyysissä on konsultoitu DataStat Oy:tä. Aineiston tarkastuksen, tallennuksen ja täydentävän tiedon lisäämisen on tehnyt Siraten työryhmä.

### 1.2 Hankkeen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Hankkeen tavoitteeksi oli tutkimussuunnitelmassa asetettu:

- Selvittää onko nykyohjeistuksen mukaisin kuntotutkimusten perusteella tehdyillä altistumisolosuhteiden arvioinneilla korrelaatiota tiloissa koetun oireilun kanssa
  - Onko yleisellä altistumisolosuhteiden arviolla tai altistekohtaisilla arvioilla yhteyttä koettuun oireiluun?
  - Poikkeavatko rakennukset koetun sisäilmaoireilun mukaisesti myös kuntotutkimustuloksiin perustuvien altistumisolosuhdearvioiden perusteella toisistaan?

- Arvioida julkisen kiinteistökannan nykytilaa perustuen kuntotutkimustietoihin tilastollisesti edustavasta otoksesta ko. rakennuksia.
  - Vastaako kuntotutkimustietoon perustuva arvio julkisen rakennuskannan kunnosta kyselytutkimusarvioita?
  - Eroavatko kuntotutkimustulokset toisistaan rakennuksissa, joissa on tai ei ole koettu sisäilmaoireita?
- Luoda laaja, luokiteltu ja todellisiin nykyohjeistuksen mukaisiin tutkimuksiin perustuva tietoaaineisto tilastollisesti pätevästi analysoituna ohje-, viite- ja tavoitearvojen sekä toimenpiderajojen päivitysten pohjatiedoksi.
  - Onko hankkeessa tuotetun laajan ja luokitellun tietoaaineiston perusteella tarvetta päivittää nykyisiä ohjearvoja?
  - Vastaavatko esim. uusien laskentakriteerien mukaiset teollisten mineraalikuitujen analyysitulokset aiempia?
- Selvittää esiintyykö laboratorioden välillä tilastollisesti merkitseviä eroja analyysituloksissa etenkin näytteissä, jotka eivät ole akkreditoinnin piirissä sekä pienenevätkö mahdolliset erot ohjeistusta päivittäessä.
  - Onko eri laboratorioden tekemien analyysien tuloksissa systemaattisia, tilastollisesti laajassa aineistossa havaittavia eroja?
  - Onko ohjeiden päivityksellä aiemmin havaittuja eroja saatu pienennettyä (esim. teolliset mineraalikuidut)?
- Lisätä tietoa rakenteiden vaurioitumisherkkyksistä ja -mekanismeista.
  - Onko eri rakenteiden ja rakennusmateriaalien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja vaurioitumisherkkyksissä ja esiintyvässä mikrobilajistossa?

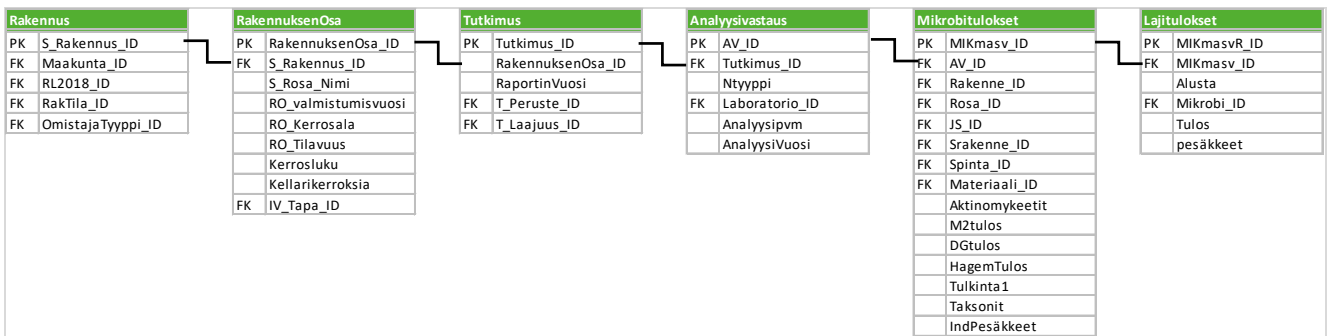
## 2 Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Relaatiotietokanta

Tietokantahankkeessa kaikki kertynyt aineisto tallennettiin relaatiotietokantaan. Jokaiseen tietokannan taulukkoon tuli vain yhteen aihekokonaisuuteen liittyvää dataa, esimerkiksi analyysivastaus taulukkoon kirjattiin yleisesti kaikkia kyseisen vastauksen näytteitä koskeva tieto. Taulukot ja niiden sisältämät tiedot linkitettiin yksilöllisin koodiavaimin muihin tietokannan taulukoihin (Kuva 1). Esimerkiksi yksittäisen mikrobinäytteen jokainen lajikohtainen tulos (alusta, pitoisuus, pesäkkeiden määrä) linkittyy näytekoodin avulla samaan *Mikrobitulokset* -taulukon näytteeseen, jonka tiedot (mm. materiaali, rakenne ja tulkinta) linkittyvät edelleen analyysivastauskoodin perusteella *Analyysivastaus*-taulukon tietoihin.

Yksinkertaistettuna edellä kuvatulla rakenteella pystytään pitämään tietokannan taulukot järkevän kokoisina, mutta kuitenkin linkitettynä toisiinsa. Tietokantaan on myös tarvittaessa helppo lisätä uutena taulukkona esimerkiksi VOC-näytteiden tulokset, jotka voidaan jälleen analyysivastauksen tietojen perusteella linkittää muihin samaan rakennuksen tehtäviin tutkimuksiin. Tietokannassa myös jokaisen taulukon jokaiseen sarakkeeseen kelppaava tieto määritellään tarkkaan ja jokaisessa tietokannan sarakkeessa on vain yhdenlaista tietoa. Käytännön toteutus hankkeessa tehtiin käyttäen Microsoft SQL Server Management Studio -ohjelmaa.

Hankkeessa kerätty aineisto on tarkoitus kevään 2025 aikana tallentaa julkisesti saataville esimerkiksi yhteiskuntatieteellisen tietoarkistoon.



**Kuva 1.** Relaatiotietokannan periaate, jossa eri taulukoiden tiedot linkittyvät koodiavainten perusteella toisiinsa, kuten tässä mikrobin laji- ja näytekohdaiset tulokset analyysivastauksen (AV\_ID) ja tutkimuksen (Tutkimus\_ID) kautta rakennuksen osaan (RakennuksenOsa\_ID) ja Rakennukseen (S\_Rakennus\_ID). Vastaavasti kuitunäytteiden tulokset linkittyvät kaikkiin edellä mainittuihin analyysivastauksen (AV\_ID) kautta.

### 2.2 Aineisto ja sen luokittelu

Tietokantahankkeen aineisto on kerätty Sirate Group Oy:n ja Sirate Oy:n vuosien 2011–2024 aikana julkisiin rakennuksiin tekemien sisäilma- ja kuntotutkimusten näyte- ja mittausaineistosta. Hankkeessa kerättiin tarkasti luokiteltua tietoa 1304 tutkimuksesta, joista laajoja kuntotutkimuksia oli 420 ja jotka kohdistuivat kaikkiaan 866 rakennukseen ja niiden eri aikoina valmistuneisiin 939 rakennuksenosaan. Esimerkiksi suoraviljellyistä 10 253 materiaalinäytteestä kertyi lajistokohtaista aineistoa yli 100 000 riviä.

Tutkimusaineisto luokiteltiin laajasti ja tulokset yhdistettiin relaatiotietokannan koodiavainten perusteella tiettyihin tutkimuksiin ja rakennuksiin. Tietoaineiston luokittelu on esitetty tarkemmin luvuissa 3–5 aihekokonaisuuksittain.

## 2.3 Aineiston keräys- ja tarkastusmenetelmät

### 2.3.1 Näyteaineiston kerääminen analyysivastauksista

Näyteaineiston keräämisessä käytettiin nykyaikaisia koneoppimis- ja tekoälytyökaluja analyysivastausten asetteluanalyysiin (taulukoiden sijainnit ja muodot), tekstin poimimisen vaihtelevan laatuista pdf-tiedostoista, optiseen tekstintunnistukseen ja tulosten harmonisointiin. Aineiston keräämisen suoritti alihankinta Zefort Oy.

#### Dublikaattitarkastus

Aineisto koottiin usean vuoden aikana tallennetuista analyysivastaustiedostoista, joita on vuosien aikana siirretty ja nimetty uudelleen pahimmillaan useaan kertaan. Tiedostojen kaksoiskappaleiden löytämiseksi, jokaiselle tiedostolle luotiin 256-merkkinen kryptografinen tiiviste SHA256-tiivistefunktiota (SHA–Secure Hash Algorithm) käyttäen. Identtisille tiedostoille tiiviste on sama. Koska tiedostoja on kuitenkin kopioitu ja nimetty uudelleen mahdollisesti useampaan kertaan, ei tällä saatu kaikkia kaksoistiedostoja poistettua. Koska kukin analyysivastaus koostuu useista eri taulukoista, tunnistettiin koneoppimis- ja keinoälymenetelmiä hyödyntäen kustakin analyysivastaustyyppistä mittausdatan sisältävät taulukot, joille kullekin luotiin oma SHA256-tiiviste. Lopputulos tarkastettiin vielä etsimällä valmiista aineistosta kaksoiskappaleet laboratorioden yksilöllisistä analyysivastauksista tai näytetunnisteista.

#### Tekstintunnistuksen virheet

Etenkin iäkkäämmät analyysivastaustiedostot olivat laadultaan heikkoja, esimerkiksi paperiversiosta skannattuja. Näissä tekstintunnistuksessa oli (OCR–Optical Character Recognition) merkittäviä vaikeuksia, joiden korjaus kyettiin kuitenkin osittain automatisoimaan valmiiden sanalistojen avulla. Tyypillisiä tällaisia sanalistoja ovat esimerkiksi mikrobilajit tai näytemateriaalit. Numeerisissa tuloksissa tai mikrobinäytteiden suoraviljelytuloksissa (0 – +++) tulosten tarkastuksessa hyödynnettiin loogisia virheitä.

#### Loogiset virheet

Numeerisen datan tarkastuksen automatisoinnissa hyödynnettiin loogisia virheitä käyttäen dataa analyysivastausten taulukoiden usealta riviltä. Esimerkiksi mikrobinäytteistä suoraviljelynäytteiden tulos tulee olla välillä 0–4 (+-merkit muutettu määrän perusteella numeeriseksi), THG-alustalla tulee joka näytteessä olla kolme tulosriviä (yhteensä, aktinomykeetit, muut bakteerit), lajikohtaiset tulokset eivät aktinomykeettejä lukuun ottamatta voi saada tulosta 0 (kaikissa vastauksissa oli lueteltuna vain nollasta poikkeavat lajikohtaiset tulokset) eikä elatusalustan yhteistulos voi olla pienempi yksittäisen alustalla kasvavan lajin. Manuaalista tarkastusta varten mikrobiaineistosta korostettiin automaattisesti näytteet, joissa suurin lajikohtainen tulos oli pienempi kuin alustan yhteistulos.

#### Datan eheyty

Vuosien saatossa analyysivastausten merkinnät ovat muuttuneet esimerkiksi uusien ohjeistusten myötä. Myös laboratorioden välillä oli tässä eroja. Esimerkiksi mikrobien indikaattorilajilistaa on päivitetty Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (1) ja esim. aktinomykeeteistä on käytetty myös nimeä *Streptomyces*. Nämä on aineiston analysoimiseksi yhtenäistetty.

### 2.3.2 Muu aineisto

Rakennustietoja kerättiin ensisijaisesti Suomen ympäristökeskuksen tieto- ja analyysipalvelusta, Liiteristä (2), Tilastokeskuksen rakennuskantaa koskevista aineistosta sekä myös paikkakunta-kohtaisista karttatiedoista. Tutkimuksia koskevat tiedot kerättiin käsin tutkimusraporteista hyödyntäen mahdollisuuksien mukaan asiantuntijoita, jotka olivat olleet tekemässä kyseisiä tutkimuksia.

## 2.4 Aineiston rajaus

Jo näyteaineiston keräyksessä ja tarkastuksessa kohdattujen haasteiden vuoksi kävi selväksi, että näytetietojen tarkemmaksi luokitteluksi tietojen hakeminen (esim. rakenne, josta näyte otettu) huomattavasti analyysivastauksia enemmän vaihtelevista kuntotutkimusraporteista ei onnistuisi automaattisesti. Manuaalisen työmäärän laajuuden vuoksi kerätystä näyteaineistosta keskityttiin mikrobimateriaalinäytteisiin ja teollisiin mineraalikuittuihin, jotka pyrittiin luokitteluun mahdollisimman tarkasti ja kattavasti. Näissä molemmissa näyteaineistoa on runsaasti tilastollisia tarkasteluja varten ja tuloksista merkittävä osa poikkesi nollassa. Esimerkiksi lähtöaineistosta luettuja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat yleisesti pieniä eikä niitä kerätä systemaattisesti kuntotutkimuksissa.

## 2.5 Tilastolliset menetelmät

Vertailevissa analyyseissä käytettiin pääsääntöisesti Khin neliö- ja t-testejä. Tilastollista merkitsevyyttä testattaessa riittävänä merkitsevyytasona pidetään p-arvoa 0,01 (3). Tekstissä käytetään seuraavia kuvauksia merkitsevyytasoista:

- $p < 0,05$  (5 % todennäköisyys ilmiölle, jos nollahypoteesi pitää paikkansa), "tilastollisesti melkein merkitsevä"
- $p < 0,01$  (1 % todennäköisyys), "tilastollisesti merkitsevä"
- $p < 0,001$  (0,1 % todennäköisyys), "tilastollisesti erittäin merkitsevä"

## 3 Rakennukset ja rakennuskanta

### 3.1 Rakennustiedot ja niiden luokittelu

Kuntotutkimukset sekä tätä suppeammatkin selvitykset kohdistuvat aina joko koko rakennukseen tai sen osaan. Näin ollen rakennus onkin luonteva valinta tietokannan perusyksiköksi, johon kaikki kerättävä tieto tulee linkittää. Rakennustietojen perusteella tutkimuskohdetta on myös mahdollista luokitella esimerkiksi sijaintinsa ja käyttötarkoituksensa mukaan tai vertailla sitä erilaisiin rakennuskantaamme kuvaaviin tilastoihin. Jotta yksittäiset tutkimuskohteet eivät olisi hankkeen aineistosta tunnistettavissa, jokaiselle rakennukselle annettiin yksilöllinen numeerinen koodi, jota ei ilman avainta voi yhdistää todelliseen kohteeseen.

Erilaisissa tietoaineistoissa rakennus määräytyy pysyvän rakennustunnuksen perusteella. Kuntotutkimuksissa tämä luokittelu ei kuitenkaan ole yksinään riittävä. Rakennustunnuksen perusteella määritetty rakennus voi koostua useasta, usein hyvinkin eri aikaan ja eri rakentein valmistuneesta osasta. Toisinaan näennäisesti yksittäisellä, yhtenäisin rakentein valmistuneella rakennuksella on useampi rakennustunnus. Tämän vuoksi tietokannan jokaiselle rakennukselle määritettiin yksi tai useampi rakennuksenosa, jonka kautta tutkimukset liittyvät pysyvän rakennustunnuksen määräämään rakennukseen.

Kaikkiaan hankkeessa tallennettiin näytetietoja 866 rakennuksesta ja 939 rakennuksenosasta. Näihin kohdistuvia erilaisia tutkimuksia oli 1304, joista koko rakennuksen tai sen osan laajoja kuntotutkimuksia yhteensä 420. Tutkimusten yhteydessä tietokantaan tallennettiin esimerkiksi näytetietoina yksityiskohtaisesti 10 253 materiaalinäytteen suoraviljelymenetelmällä tehtyä mikrobianalyysiä, josta laji- ja elatusalustakohtaista aineistoa kertyi 101 893 riviä. Koska jokainen tieto on tietokannan koodiavainten avulla yhdistettävissä tiettyyn rakennukseen ja rakennuksenosaan voidaan rakennustietoja käyttää esimerkiksi tulosten analysoinnissa mahdollisten erojen selittäjänä tai näitä poissulkiessa.

#### 3.1.1 Rakennus ja rakennuksenosa

Tietokannan rakennukset luokiteltiin yksittäisiksi rakennuksiksi, mikäli niille oli olemassa oma pysyvä rakennustunnus, joka tarkistettiin ensisijaisesti Liiteri-palvelusta (2). Yksittäisen rakennuksen tunnistettavuuden poistamiseksi kullekin rakennukselle annettiin viisinumeroinen koodi ja luokitusavain tallennettiin erikseen mahdollista myöhempää kansallista tietokantaa varten. Mikäli rakennuksessa oli useita eri aikaan rakennettuja tai muuten rakennusteknisesti selvästi poikkeavia osia, luokiteltiin nämä saman rakennuksen erillisiksi rakennuksenosiksi, joille annettiin oma juoksevanumeroinen koodinsa. Termiä rakennuksenosa ei pidä sekoittaa Talo 2000-hankenimistön mukaisiin rakennusosiin, joita ovat esim. alapohjat ja julkisivut.

Rakennuskohtaisesti tietokantaan tallennettiin sijaintitiedot maakuntatasolla ja rakennuksen käyttötarkoitus Rakennusluokituksen 2018 (4) mukaisesti. Selvästi virheellinen rakennusluokitus korjattiin (yleisimmin päiväkodit oli merkitty Liiteri-palvelussa hoitoalan eikä opetusalan rakennuksiksi).

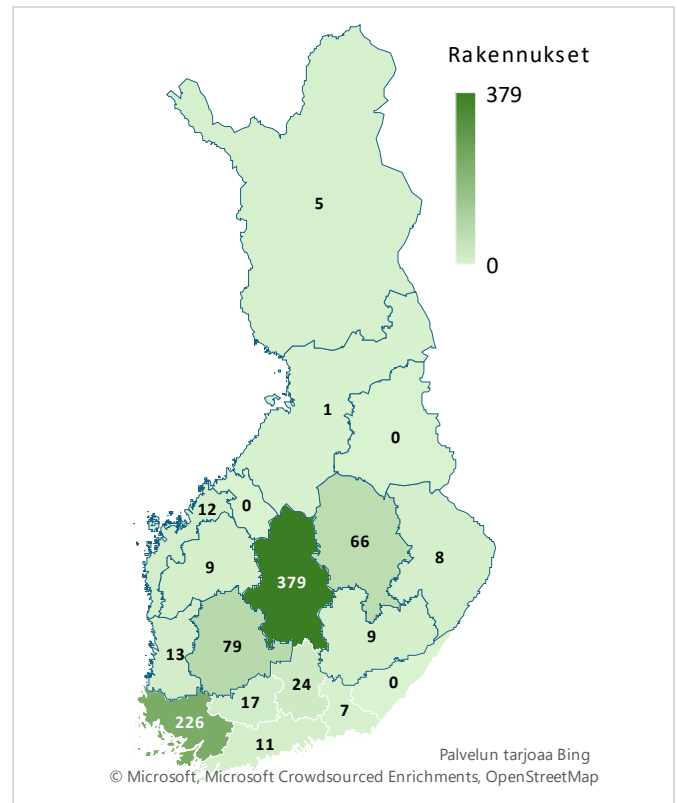
Rakennuksenosakohtaisesti tietokantaan tallennettiin mm. rakennusosan ikä, laajuus, kerrosmäärä, ilmanvaihtojärjestelmä.

#### 3.1.2 Rakennusten luokittelu sijainnin ja rakennusajankohdan perusteella

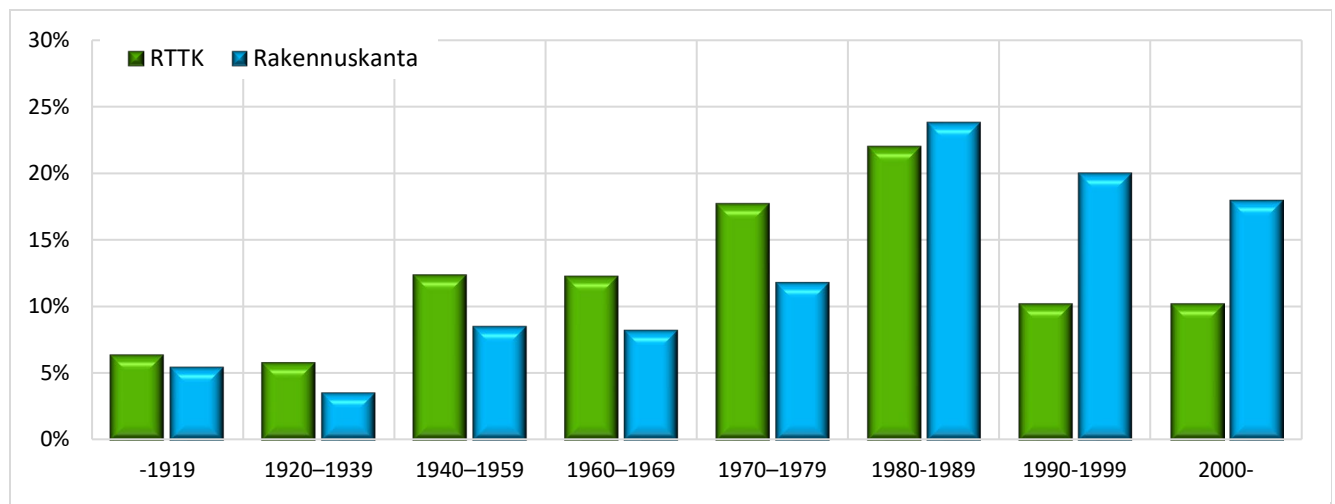
Rakennuksen sijainti on postinumeronsa perusteella tallennettu tietokantaan maakuntatasolla. Luokittelu perustuu Tilastokeskuksen kuntien ja maakuntien 2022 väliseen luokitusavaimeen (5). Luokittelu olisi postinumeron perusteella voitu tehdä helposti myös esimerkiksi kuntatasolla perustuen Kunnat 2022-luokitukseen (6). Tällöin jaottelu olisi ollut osin tilaajakohtainen (kunta). Osassa kunnissa esim. koulurakennusten pienen määrän vuoksi, yksittäiset rakennukset olisi tällöin voinut olla tunnistettavissa aineistosta.

Näyteaineistoa tietokantaan kerättiin kaikkiaan 15 eri maakunnassa sijaitsevista rakennuksista (Kuva 2). Näistä 866 rakennuksesta kuitenkin n. 89 % oli vain viiden maakunnan alueelta: Keski-Suomesta, Varsinais-Suomesta, Pirkanmaalta, Päijät-Hämeestä ja Pohjois-Savosta. Näiden painottuminen selittyy pääosin hankkeen toteuttajan toimipisteiden sijainnin perusteella, mutta siihen voi vaikuttaa myös tilaajien väliset erot vaatimuksista esimerkiksi mikrobimateriaalinäytteiden suoraviljely- ja laimennossarjamenetelmillä tehtävien analyysien välillä. Tässä aineistossa on huomioitu mikrobinäytteiden osalta vain suoraviljelynäytteet, joita hankkeessa on myös analysoitu tarkemmin.

Rakennusajankohdan mukainen luokittelu olisi luontevinta tehdä rakennusten sijaan rakennusten osien mukaan. Vertailu olemassa olevaan rakennuskantaan on kuitenkin yhdenmukaisempaa tehdä rakennuksittain. Kuvassa 3 on esitetty tietokannassa (RTTK) olevien rakennusten ja koko rakennuskannan osuutta eri valmistusvuosikymmeninä. Hankkeessa luonnollisesti uusin rakennuskanta on aliedustettuna rakennuskantaan nähden, koska laajoja kuntotutkimus- ja peruskorjaustarpeita on eniten ennen 1990-lukua valmistuneissa rakennuksissa. Suurin osa tietokannassa olevista rakennuksista on valmistunut 1970–1980-luvuilla. Rakennuskannassa puolestaan suurin osa rakennuksista on 1980–2000-luvuilla valmistuneita.

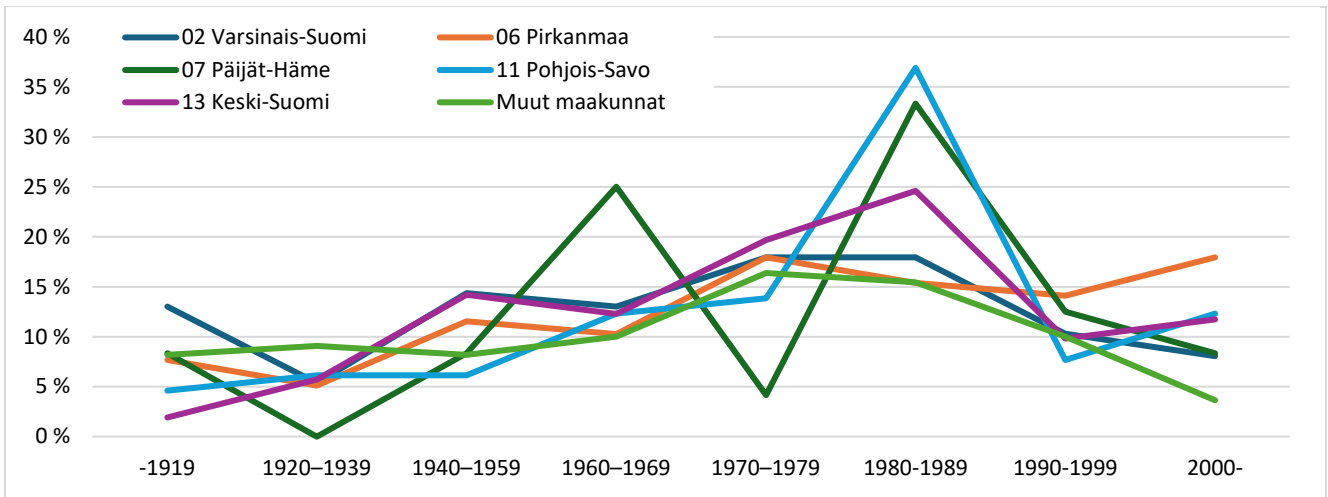


**Kuva 2.** Tietokanta-aineiston perusteena olevien rakennusten lukumäärät maakunnittain.



**Kuva 3.** Tietokannan rakennusten (n=866) sekä rakennuskannan jakautuminen rakennusajankohdan perusteella.

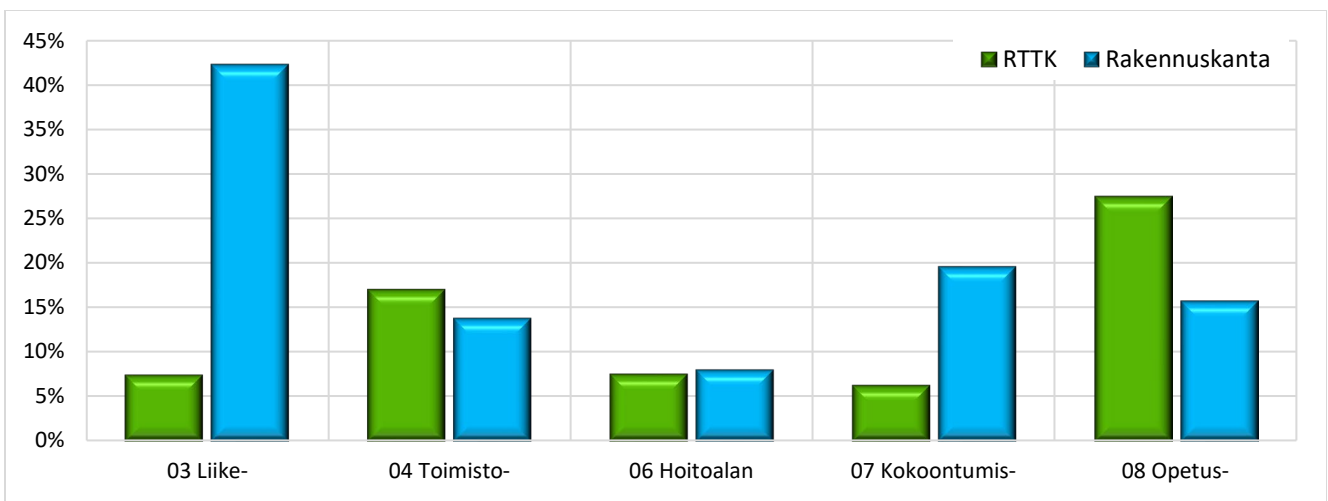
Alueellisten erojen selvittämiseksi rakennukset luokiteltiin rakennusajankohdan mukaan myös maakunnittain (Kuva 4). Pohjois-Savossa on muuhun aineistoon verrattuna ylliedustettuna 1980-luvun rakennukset. Päijät-Hämeen poikkeava profiili selittyy tietokannassa olevien rakennusten pienellä määrällä, jolloin prosenttiosuudet ovat suhteettoman suuria. Keski-Suomessa, Pirkanmaalla ja Varsinais-Suomessa suurin osa tietokannan rakennuksista on valmistunut 1970–1980-luvuilla.



**Kuva 4.** Tietokannan rakennusten (n=866) luokittelu sijainnin ja rakennusajankohdan mukaan.

### 3.1.3 Rakennusten luokittelu käyttötarkoituksen perusteella

Hankkeessa rakennusten käyttötarkoituksen mukainen luokittelu ja analysointi perustuvat Tilastokeskuksen Rakennusluokituksen 2018 pääluokkiin (4). Opetusrakennukset on luokiteltu myös nelinumerotasolle. Rakennuksen luokittelutieto on kerätty pääosin ympäristöministeriön Liiteri-tietopalvelusta. Tässä aineistossa osassa kunnista lasten päiväkodit oli systemaattisesti luokiteltu hoitoalan rakennuksiin, kun ne luokitusohjeiden perusteella kuuluvat opetusrakennuksiin. Tältä osin aineisto korjattiin luokitusohjeen mukaiseksi, mikä saattaa vaikuttaa tietokannassa olevien rakennusten ja rakennuskannan välisiin eroihin opetus- ja hoitoalan rakennuksissa (Kuva 5). Rakennuskannassa selkeästi suurempi osuus oli liike- ja kokoontumisrakennuksia, jotka ovat suurelta osin yksityisomisteisia eivätkä ole julkisiin rakennuksiin pääosin perustuvassa tietokanta-aineistoissa niin suuressa roolissa.

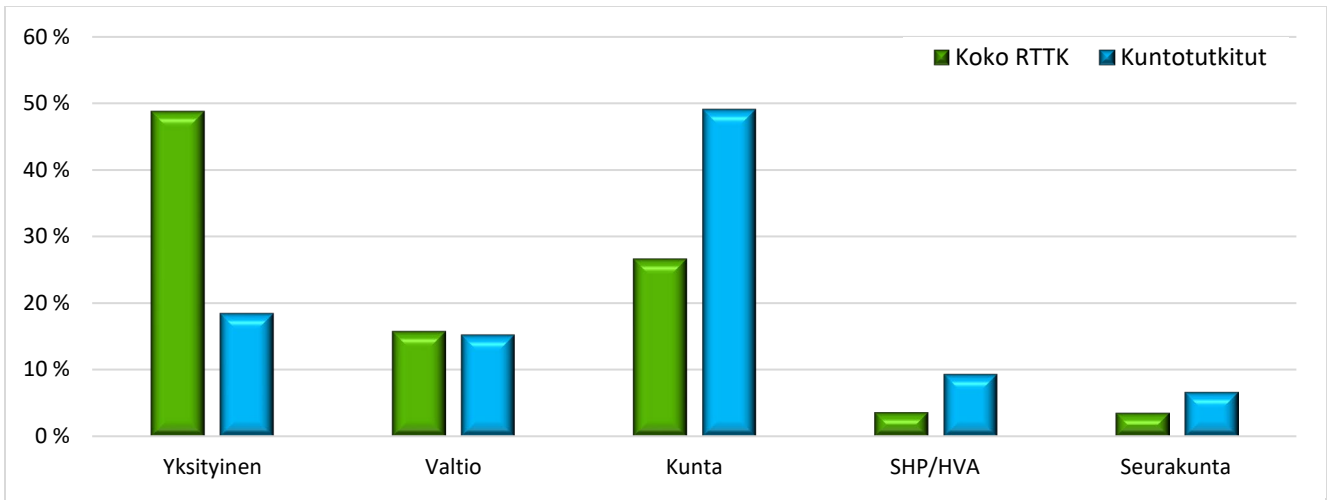


**Kuva 5.** Tietokannan ja rakennuskannan rakennusten jakautuminen käyttötarkoitustensa perusteella.

### 3.1.4 Rakennusten ja kuntotutkimusten luokittelu omistussuhteen perusteella

Tietokannan kuntotutkitut rakennukset olivat suurelta osin julkisessa omistuksessa (kunta, valtio, sairaanhoitopiiri/hyvinvointialue), mikä käy hyvin ilmi kuvasta 6. Yksittäisiä näyteenottoja ja suppeita tutkimuksia on tehty yksityisomisteisiin rakennuksiin laajoja kuntotutkimuksia enemmän.

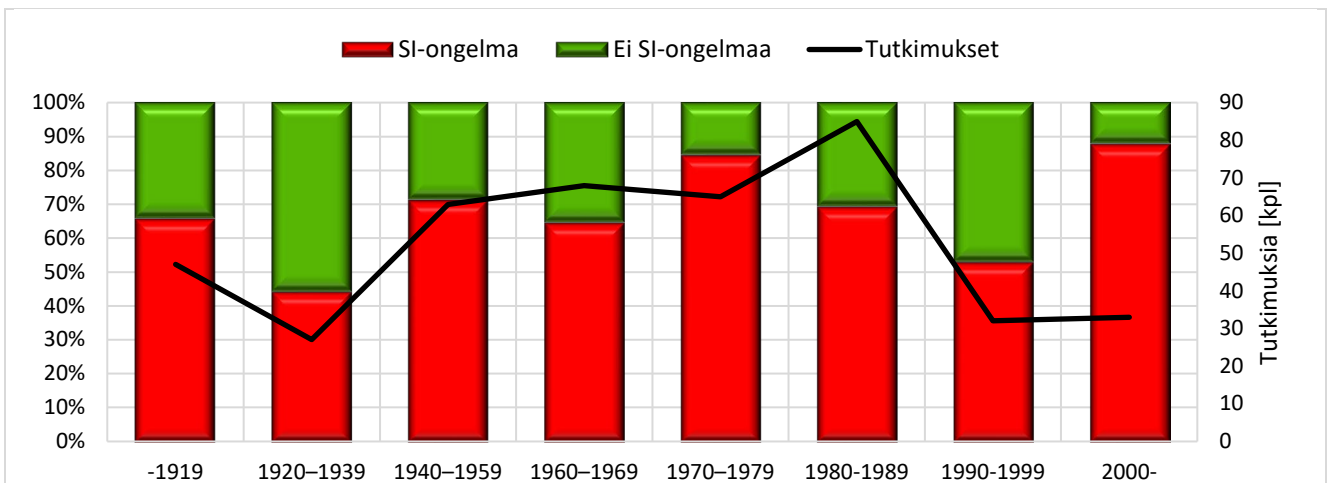




**Kuva 6.** Tietokannan rakennukset sekä laajat kuntotutkimukset osuiksittain omistussuhteidensa perusteella.

### 3.1.5 Kuntotutkitut rakennukset tutkimussyyn perusteella

Tietokannan laajasti kuntotutkitut 420 rakennuksenosaa luokiteltiin tutkimussyynsä perusteella sisäilmaongelma- ja vertailukohteiksi (Kuva 7). Vertailukohteet ovat sellaisia peruskorjauksen lähtötietojen hankkimiseksi tutkittuja rakennuksia, joissa ei lähtötiedoissa tai tutkimuksissa tullut esiin tietoja käyttäjien oireiluista. Näitä verrokkeja (n=128) oli noin kolmannes kaikista laajasti kuntotutkituista kohteista. Hyvin suuri osa hankkeen analyseistä, tuloksista ja päätelmistä perustuu tähän luokitteluun, koska yhtenäistä ja tarkemmin määriteltyä tietoa (esim. työterveyshuollon tilastoja tai sisäilmastokyselyjä) ei ollut kattavasti käytettävissä läheskään kaikista kuntotutkituista kohteista. Tämän vuoksi aineisto käytiin mahdollisimman tarkasti läpi, jotta vertailukohteisiin ei päätyisi sellaisia kohteita, joissa sisäilmaan mahdollisesti liittyvää oireilua tai ongelmia olisi ollut. Aineiston analyysin perusteella jako on onnistunut hyvin ja luokat erottuvat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi osassa analysoitavia tekijöitä.



**Kuva 7.** Tietokannan kuntotutkitut rakennukset (n=409) tutkimusperusteensa ja rakennusajankohdan perusteella luokiteltuna. Musta viiva esittää tehtyjen tutkimusten lukumäärän (oikeanpuoleinen asteikko) kohteiden rakennusajankohdan mukaisesti.

## 3.2 Tulokset

### 3.2.1 Merkittävät kosteusvaurioiden esiintyminen SI-ongelma ja vertailukohteissa

#### Kuntoarviomenetelmin havaitut merkittävät kosteus- ja mikrobivauriot

Laajoihin kuntotutkimuksiin sisältyy aina myös ns. kuntoarviomenetelmin tehtävä katselmus, joka perustuu pääasiassa aistinvaraiseen havainnointiin ja pintakosteustarkasteluun. Vastaavia katselmuksia on yleisesti käytetty sisäilmaan liittyvissä tieteellisissä tutkimuksissa kyselytietojen lisäksi kohteiden luokittelussa sisäilmaongelma- ja vertailukohteiksi. Kuntoarviomenetelmin havaittaviksi merkittäviksi kosteus- ja mikrobivaurioiksi luokiteltiin tutkimusalueen kokoon suhteutettuna laaja-alaiset pintakosteuspoikkeamat, mikrobiperäinen haju sekä pinoilla havaittu mikrobikasvu tai korjaamaton kosteusvaurio (Kuvat 8 ja 9).

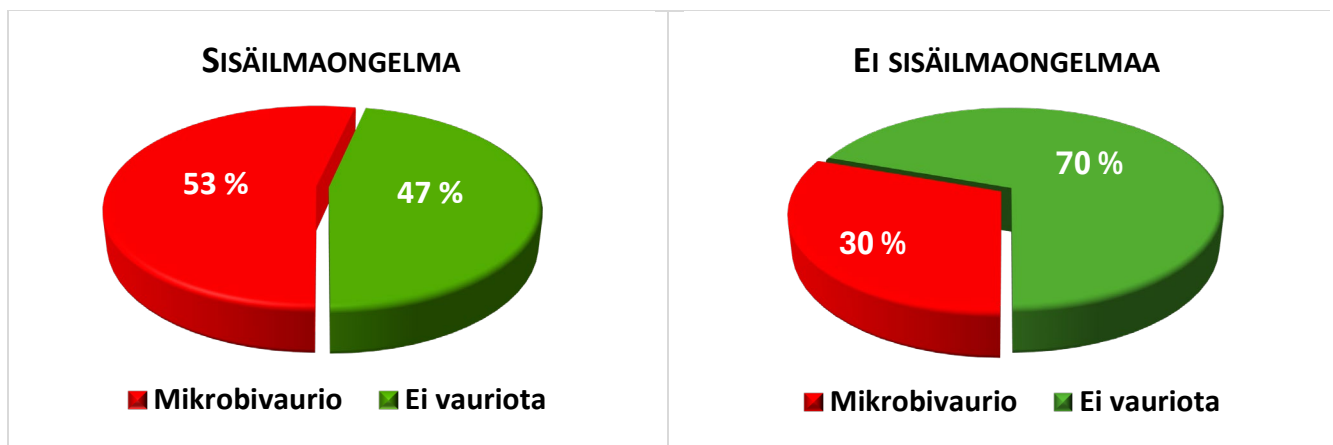


**Kuva 8.** Kuntoarviomenetelmin havaittavissa oleva sisäpinnan korjaamaton kosteusvaurio.



**Kuva 9.** Väliseinä, jossa ei kuntoarviomenetelmin havaittu viitteitä vauriosta.

Tietokanta-aineistosta on verrattu sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa tehtyjen kuntoarvio- ja kuntotutkimusmenetelmin havaittujen merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden määriä. Kuntoarviomenetelmin todettiin 53 %:ssa tietokannan sisäilmaongelma-kohteista merkittävä kosteus- ja mikrobivaurio (Kuva 10) ja 30 %:ssa vertailukohteista (Kuva 11).



**Kuva 10.** Kuntoarviomenetelmin todettujen merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintyminen kuntotutkimuskohteissa, joissa on esiintynyt sisäilmaongelmia tai oireilua.

**Kuva 11.** Kuntoarviomenetelmin todettujen merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintyminen kuntotutkituissa vertailurakennuksissa

Khiin neliöttestin mukaan sisäilmaongelma- (n=292) ja vertailukohteissa (n=128) kuntoarviomenetelmin havaittujen merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintymisessä on tilastollisesti erittäin merkitsevä ero:  $df=1$ ;  $\chi^2(1) = 17,77$ ;  $p = (2,5 \cdot 10^{-5}) < 0,001$ .

### Kuntotutkimusmenetelmin havaitut merkittävät kosteus- ja mikrobivauriot

Kuntotutkimusmenetelmin kosteus- ja mikrobivauriot todennetaan rakenneavauksin (Kuvat 12 ja 13), kosteusmittauksin ja tarvittaessa materiaalinäytteiden mikrobianalyysin. Kuntotutkimuksessa selvitetään myös ilmayhteydet ja niiden merkitys vaurioalueilta sisäilmaan pääasiassa merkkiaine- ja/tai lämpökuvauksin. Lisäksi paine-eroseurantojen ja mahdollisesti rakennuksen tiiviysmittauksen perusteella arvioidaan ilman kulkusuuntia rakenteiden yli. Kuntotutkimuksissa selvitetään myös ilmanvaihdon toimintaa, sisäilman olosuhteita ja yleensä kosteus- ja mikrobivaurioiden lisäksi myös muita epäpuhtauksia. Kuntotutkimusten sisältöä on avattu ja ohjeistettu laajasti ympäristöoppaassa (7).



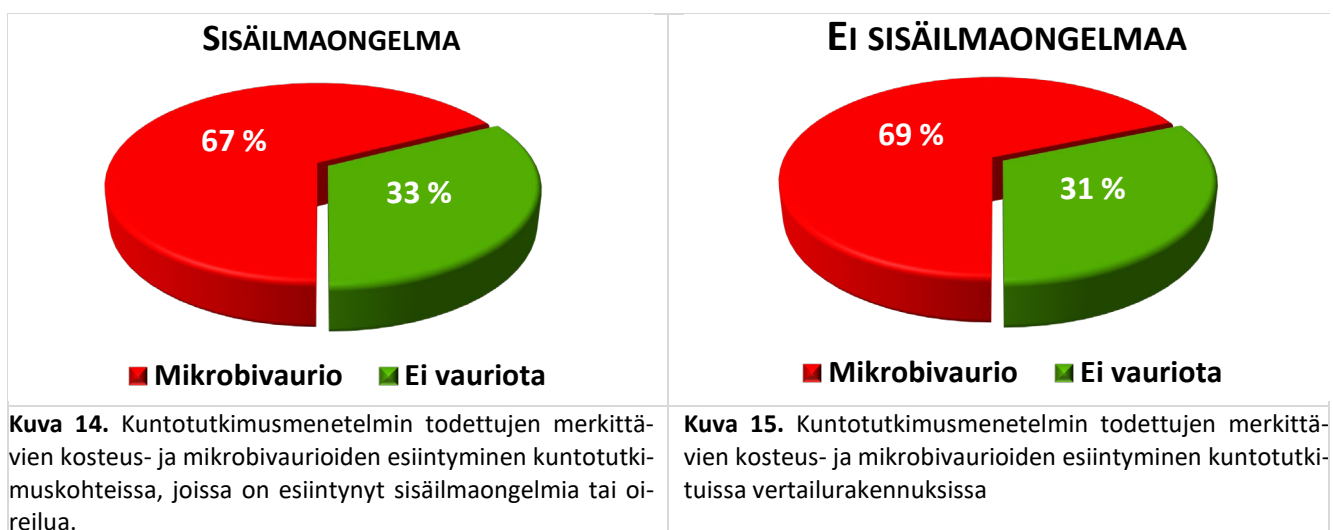
**Kuva 12.** Kuntotutkimusmenetelmin todettu kosteusvaurio kuvan 11 seinärakenteessa.



**Kuva 13.** Kuntotutkimusmenetelmin todettu vaurio kulku-yhteydettömässä alapohjassa.

Kuntotutkimusmenetelmin todetulla merkittäväällä kosteus- ja mikrobivauriolla tarkoitetaan tässä laaja-alaista vauriota käyttötilojen sisäpinnoilla tai rakenteiden sisällä siten, että vaurioalueelta on tutkimuksin todettu kulkeutuvan ilmaa käyttötiloihin. Vaurion vaikutuksen ei kuitenkaan välttämättä tarvitse ulottua kuin osaan käyttötiloista.

Odotetusti kuntotutkimusmenetelmillä havaittiin enemmän vaurioita kuin kuntoarviomenetelmin. Kuntotutkimusmenetelmillä havaittiin 67 % sisäilmaongelmakohteista merkittäviä mikrobivaurioita (Kuva 14). Vertailukohteissa havaittiin kuitenkin edellä määritellyjä merkittäviä mikrobivaurioita jopa hieman suuremmissa osassa (69 %) kohteita (Kuva 15). Kuntotutkimusmenetelmin todettujen merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintyvyydessä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa sisäilmaongelma (n=292) ja vertailukohteiden välillä (n=128),  $\chi^2(1) = 0,07$ ;  $p = 0,78 > 0,05$ .



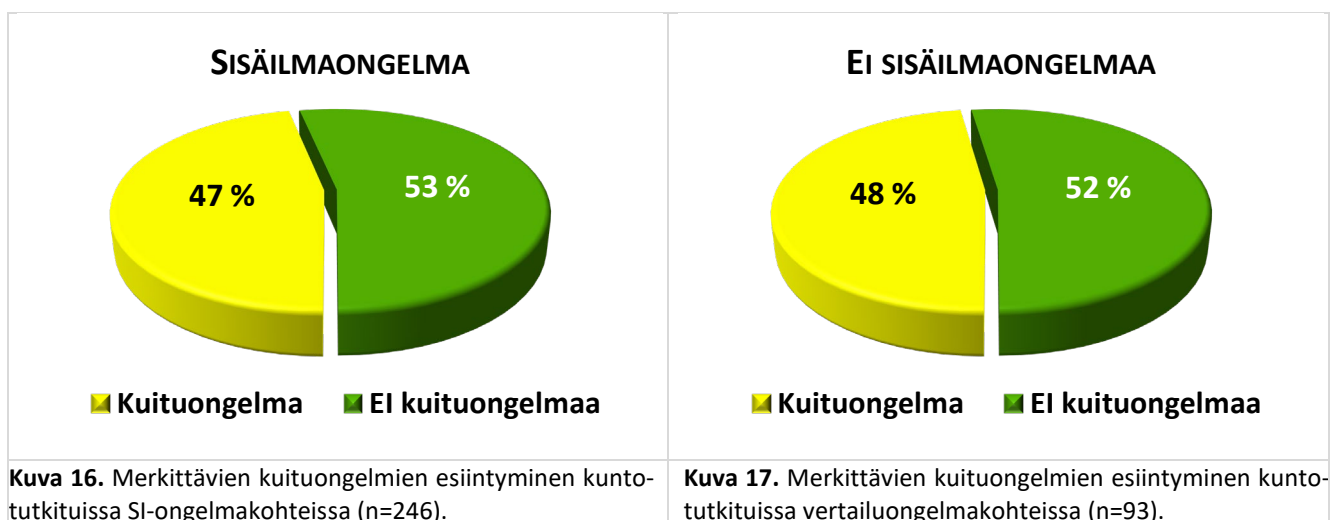
Tietokannan kohteissa kuntotutkimusmenetelmin todettuja merkittäviä kosteus- ja mikrobivaurioita oli siis käytännössä yhtä paljon sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa. Kuntoarviomenetelmin havaittiin näistä kuitenkin vain osa. Huomattavaa on, että vaikka sisäilmaongelmakohteissa havaittiin kuntoarviomenetelmin merkittävä vaurio 53 % kohteista, ei se tarkoita, että näissäkään kohteissa olisi havaittu kaikkia kuntotutkimusmenetelmin todettuja vaurioita. Tarkastelussa siis yksittäinen merkittävä vaurio saa saman merkityksen kuin usea merkittävä. Kuntoarviomenetelmin todettu tilastollisesti merkitsevä ero ongelma- ja vertailukohteiden välillä osoittaa välillisesti kuitenkin kohteiden luokittelun olevan perusteltu. Tulokset vahvistavat ymmärrettävää päätelmää, että rakennuksissa, joissa on aistinvaraisesti havaittavissa kosteus- ja mikrobivaurioita tai näihin viittaavaa hajua, koetaan enemmän sisäilmaongelmia kuin kohteissa, joissa näitä ei aistinvaraisesti voi havaita.

Valtioneuvoston rahoittaman Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto -tutkimuksessa (8) on selvitetty Suomen koulurakennusten kuntoa. Tutkimusaineisto koostui 452 rakennuksesta, joista 146:ssa oli tehty kattava kuntotutkimus. Tutkimuksen rakennuksissa esiintyvä poikkeava kosteus oli yleisempää hieman vanhemmassa koulurakennuskannassa ja kosteuspoikkeamia oli todettu suhteessa vähemmän uudemmassa 2010- ja 2020-luvun rakennuskannassa. Kokonaisuudessaan poikkeavaa kosteutta oli todettu noin viidenneksessä koulurakennuksista. Mikrobivaurioita oli todettu lähes 30 %:ssa rakennuksista ja suhteessa eniten niitä esiintyi ennen 2000-lukua rakennetuissa rakennuksissa. Mikrobivaurioiden osuus oli selvästi pienempi kuin tässä tutkimushankkeessa todetut vauriot. Vaurio-osuus oli lähempänä ei sisäilmaongelmaisten rakennusten kuntoarviomenetelmin todettuja mikrobivaurioita. Tulos viittaa siihen, että suurin osa koulurakennustutkimuksen aineistosta on saatu ongelmaton koulujen kuntoarvioista.

### 3.2.2 Merkittävien kuituongelmien esiintyminen

Julkisessa rakennuskannassa myös teollisia mineraalikuituja pidetään usein merkittävänä tekijänä koetuissa sisäilmaongelmissa. Tietokannassa merkittävällä kuituongelmalla tarkoitetaan tilannetta, jossa kahden viikon pölylaskeumanäytteissä havaitaan useita toimenpiderajan ylityksiä ja/tai tutkimuksissa havaitaan selkeitä kuitulähteitä rakennuksen sisäpinoilla tai tuloilmanvaihdossa (esim. paljas tai rikkoutunut mineraalivillapinta). Tuloilmakanavanäytteitä on käytetty lisätukena arviolle. Kaikissa tietokannan kuntotutkimuksissa ei mm. tilaussäällön vuoksi ole kuitujen esiintymistä selvitetty. Esimerkiksi osassa kohteissa joka tapauksessa toteutettavan ilmanvaihdon saneerauksen vuoksi ei poistuvan järjestelmän kuitulähteitä ole haluttu selvittää.

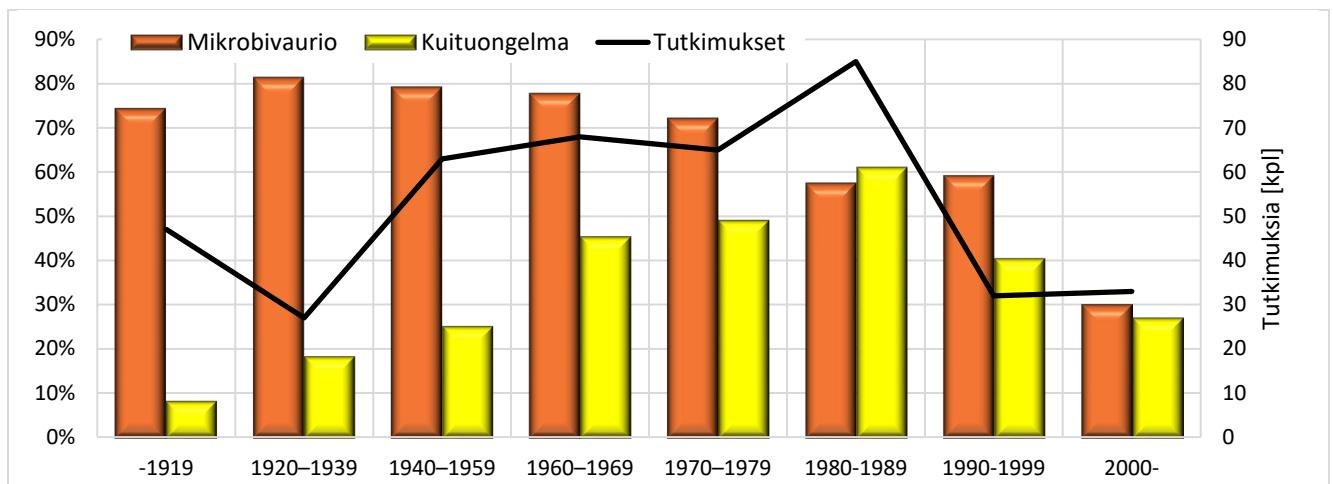
Kuten kuvista 16 ja 17 havaitaan, myöskään merkittävien kuituongelmien esiintymisessä ei kuntotutkimuksissa todettu eroa sisäilmaongelmakohteiden (n=246) ja vertailukohteiden (n=93) välillä:  $df=1$ ;  $\chi^2(1) = 0,01$ ;  $p = 0,91 > 0,05$ . Tilastollista eroa ei havaittu myöskään tarkasteltaessa erikseen vuosien 1960–1999 välillä valmistuneita rakennuksia, joissa kuituongelmat mineraalivillan käytön ja iän vuoksi olivat yleisempiä (vrt. kappale 3.2.3).



Tilastollisesti merkitseviä eroja SI-ongelma- ja vertailukohteiden välillä ei todettu myöskään tarkasteltaessa merkittävien mikrobi- ja kuituongelmien yhteisvaikutusta (sekä merkittävä mikrobi- että kuituongelma) tai niitä erikseen (mikrobivaurio, ei kuituongelmaa/kuituongelma, ei mikrobivauriota).

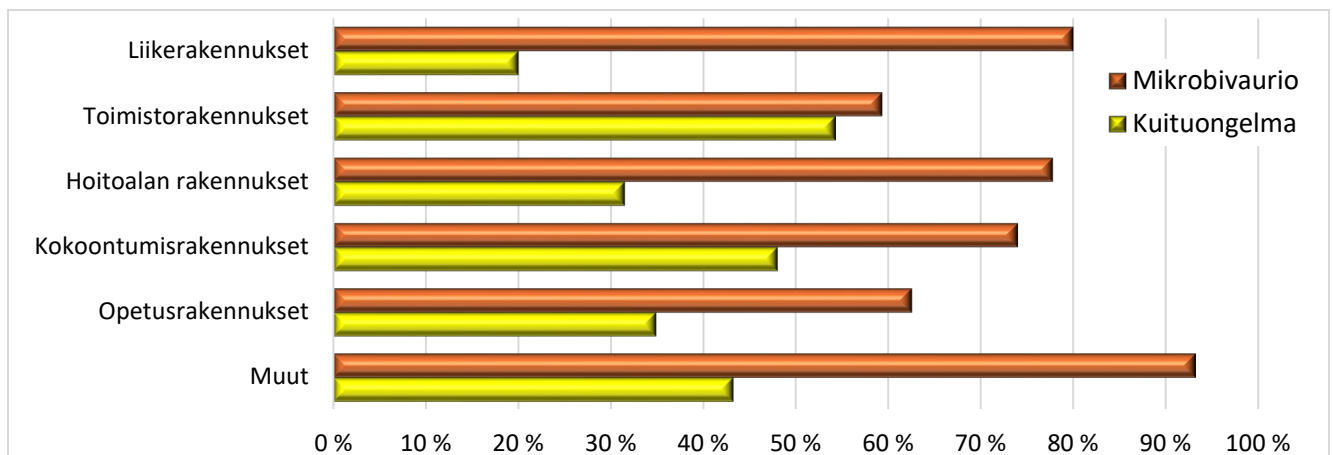
### 3.2.3 Kosteusvauriot ja kuidut rakennusajankohdan ja käyttötarkoituksen mukaan

Tarkasteltaessa merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintymistä tietokannan kuntotutkituissa rakennuksissa (n = 420) havaitaan niiden yleistyvän rakennuksien iän myötä (Kuva 18). Jaettaessa rakennukset rakennusvuosikymmenen perusteella, todetaan tietokannan 1930–2010-luvuilla valmistuneiden kuntotutkimuskohteiden iän ja merkittävän mikrobivaurion esiintymisen välillä on positiivinen korrelaatio ( $r = 0,82$ ;  $n = 9$ ;  $p = 0,0037 < 0,01$ , yksisuuntainen).



**Kuva 18.** Merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden sekä kuituongelmien esiintyminen eri aikakauden rakennuksissa (n=420)

Eri käyttötarkoituksen rakennuksissa esiintyvien merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden sekä kuituongelmien esiintymisessä havaittiin myös eroja (Kuva 19). Toimisto- ja erityisesti opetusrakennuksissa merkittäviä kosteus- ja mikrobivaurioita todettiin kuntotutkimuksissa yleisen käsityksen vastaisesti vähemmän kuin muissa rakennuksissa. Merkittävien kuituongelmien vähäinen esiintyvyys liikerakennuksissa voi ainakin osittain selittyä sillä, että niissä kuituongelmaa ei välttämättä ole haluttu selvittää (ja yleisesti laajoja kuntotutkimuksia on tehty tietokanta-aineistossa vähän).



**Kuva 19.** Merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden sekä kuituongelmien esiintyminen tietokannassa rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan luokiteltuna.

### 3.3 Yhteenveto

Hankkeessa tallennettiin relaatiotietokantaan tutkimus- ja näytetietoja 866 rakennuksesta ja 939 rakennuksen osasta. Koko rakennuksen tai sen osan laajoja kuntotutkimuksia oli yhteensä 420. Tutkimusten yhteydessä tietokantaan tallennettiin esimerkiksi näytetietoina yksityiskohtaisesti 10 253 materiaalinäytteen suoraviljelymenetelmällä tehtyä mikrobianalyysiä, josta laji- ja elatusalustakohtaista aineistoa kertyi 101 893 riviä. Koska jokainen tieto on tietokannan koodiavainten avulla yhdistettävissä tiettyyn rakennukseen ja rakennuksenosaan, voidaan rakennustietoja käyttää esimerkiksi tulosten analysoinnissa mahdollisten erojen selittäjänä tai näitä poisulkiessa.

Rakennuksen sijainti on postinumeronsa perusteella tallennettu tietokantaan maakuntatasolla. Luokittelu perustuu Tilastokeskuksen kuntien ja maakuntien 2022 väliseen luokitusavaimen. Näyteaineistoa tietokantaan kerättiin kaikkiaan 15 eri maakunnassa sijaitsevista rakennuksista. Suurin osa aineistosta on kuitenkin viiden kunnan alueelta Keski-Suomesta, Varsinais-Suomesta, Pirkanmaalta, Päijät-Hämeestä ja Pohjois-Savosta. Aineistoa on käsitelty myös rakentamisajankohdan sekä rakennusten käyttötarkoituksen mukaan. Tietokannan laajasti kuntotutkitut rakennukset luokiteltiin tutkimussyynsä perusteella sisäilmaongelma- ja vertailukohteiksi. Vertailukohteet ovat sellaisia peruskorjauksen lähtötietojen hankkimiseksi tutkittuja rakennuksia, joissa käyttäjät eivät ole oireilleet. Näitä verrokkeja oli noin kolmannes kaikista kuntotutkituista rakennuksista. Nämä laajasti kuntotutkitut verokkikohteet ovat poikkeuksellisia tieteellisten sisäilmatutkimusten näkökulmasta, koska tyyppillisesti tutkimusaineiston vertailukohteet on määritelty kyselytutkimuksin tai pinnallisten arviointien perusteella.

Kuntoarviomenetelmin todettiin tietokannan sisäilmaongelmakohteista 53 %:ssa merkittävä kosteus- ja mikrobivaurio ja vertailukohteissa 30 %:ssa. Ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä, mikä osoittaa, että kohteiden luokittelu on ollut perusteltu. Tulokset vahvistavat ymmärrettävää päätelmää, että rakennuksissa, joissa on aistinvaraisesti havaittavissa kosteus- ja mikrobivauriota tai näihin viittaavaa hajua, koetaan enemmän sisäilmaongelmia kuin kohteissa, joissa näitä ei aistinvaraisesti voi havaita.

Kuntotutkimusmenetelmin sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden välillä eroa ei enää havaittu. Riippumatta tutkimuksen lähtökohdasta, merkittäviä mikrobivaurioita todettiin vajaassa 70 %:ssa tutkittuja rakennuksia. Huomattavaa kuitenkin on, että vaikka sisäilmaongelmakohteissa havaittiin kuntoarviomenetelmin merkittäviä vaurioita, ei se tarkoita, että kohteissa olisi havaittu kaikkia kuntotutkimusmenetelmin todettuja vaurioita. Tarkastelussa siis yksittäinen merkittävä vaurio saa saman merkityksen kuin usea merkittävä. Tulos viittaa siihen, että tieteellisissä sisäilmatutkimuksissa kuntoarviomenetelmin valituissa vertailukohteissa on todennäköisesti ollut mukana myös vain kuntotutkimusmenetelmin havaittavia mikrobivauriokohteita, mikä on saattanut vääristää tulosten tulkintaa.

Merkittäviä kuituongelmia esiintyi noin vajaassa puolessa tutkittuja rakennuksia. Kuituongelmien osalta ei todettu eroa sisäilmaongelmakohteiden ja vertailukohteiden välillä.

Tietokannan aineistosta havaitaan myös odotetusti, että merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintyminen kuntotutkituissa rakennuksissa yleistyy rakennuksien iän myötä.

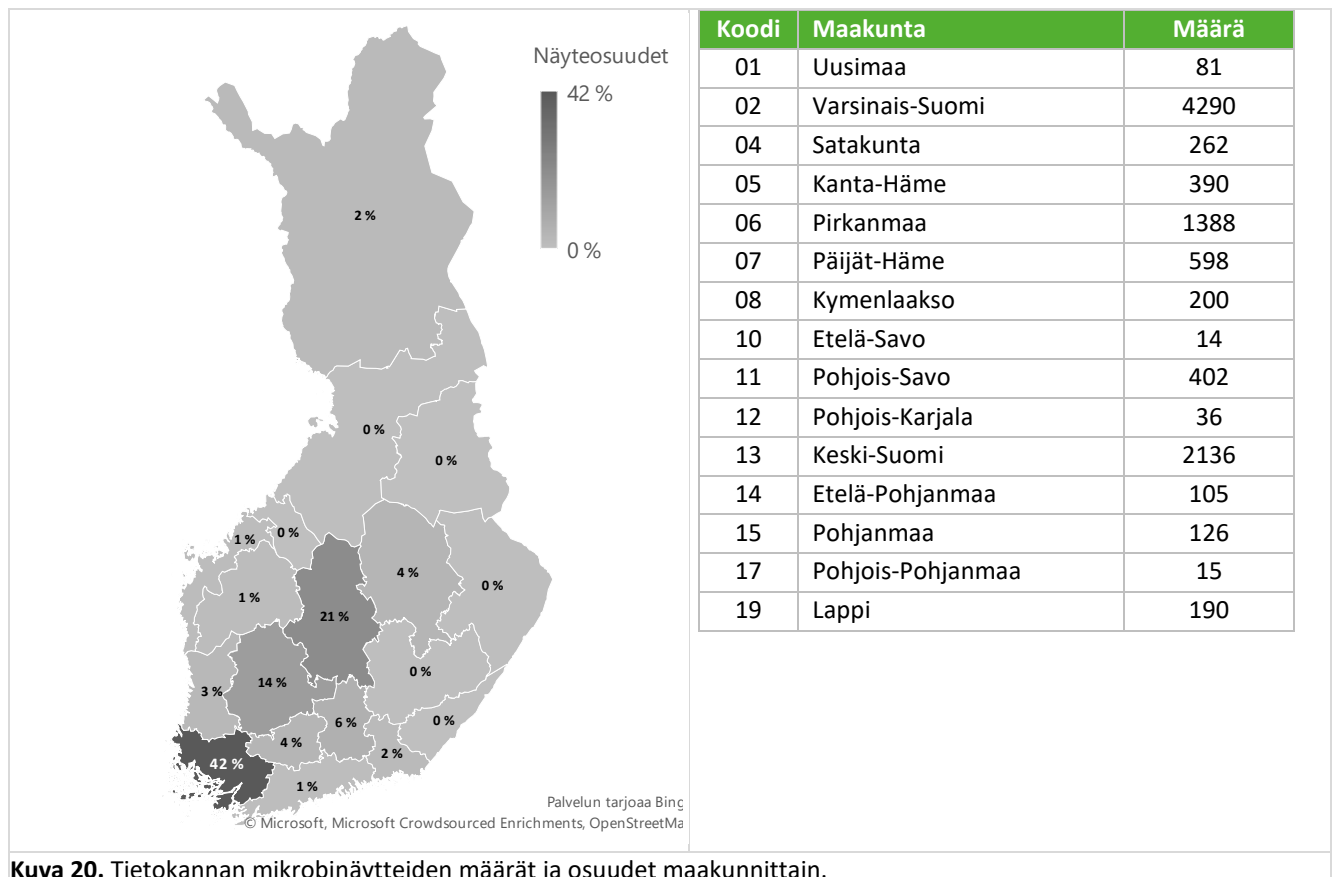
## 4 Mikrobinäytteet

### 4.1 Näyteaineisto ja sen luokittelu

RTTK-hankkeen mikrobinäyteaineisto koostuu Siraten vuosina 2011–2024 kuntotutkimuksissa sekä tätä suppeammassa tutkimuksessa otetuista materiaalinäytteistä. Suoraviljelymenetelmällä kaikkiaan viidessä eri laboratoriossa analysoituja näytteitä on yhteensä 10 253 kpl, joista 7 237 on analysoitu käyttäen vuonna 2016 julkaistun Soveltamisohjeen (1) vaatimuksen mukaisesti neljää eri elatusalustaa: sienille 2 % mallasuute (M2)-, dikloranglyseroli-18 (DG18)-alusta ja Hagem-alustaa (Rose Bengal mallasuute-alusta) sekä bakteereille tryptoni-hiivauute-glukoosialusta (THG). Jo ennen Soveltamisohjeen julkaisua Hagem-alusta oli otettu käyttöön osassa laboratorioista. Näyteaineiston jakautuminen maakunnittain on esitetty kuvassa 20. Tietokanta-aineistossa valtaosa näytteistä on otettu ns. satunnaisotantana tietyn rakennusosan kunnon tai mahdollisen vaurion merkittävyyden arvioimiseksi. Selkeitä kosteusvaurioita julkisissa rakennuksissa on melko vähän, eikä näistä yleensä ole ollut tarvetta ottaa näytteitä.

Näytetulokset tallennettiin tietokantaan alusta- ja lajistokohtaisin tuloksin, joita koko aineistossa oli 101 893 kpl. Koska kerätyn tutkimusaineiston aikana mikrobilajien nimeämistä on tarkennettu (mm. Soveltamisohjeessa) on kaikki lajitiedot muutettu vastaamaan taulukossa 1 esitettyä nimitystä.

Tulosten analysoimiseksi materiaalinäytteet luokiteltiin sijainnin (maakunta) lisäksi rakennuksen rakennusajankohdan ja käyttötarkoituksen (4) sekä rakennusosan (Talo2000) ja näytemateriaalin mukaan. Lisäksi kuntotutkimuskohteiden näytteet pyrittiin luokittelemaan mahdollisimman kattavasti myös rakenteen perusteella. Tätä varten eri rakenteet luokiteltiin ns. mallirakenteisiin niiden kosteusteknisen käyttäytymisen perusteella. Luokitus on esitetty lyhyesti kappaleessa 4.3.6 ja siihen liittyviä tuloksia tarkennetaan vuoden 2025 Rakennusfysiikkaseminaariin. Aiheesta on laadittu myös AMK-opinnäytetyö (9).



**Kuva 20.** Tietokannan mikrobinäytteiden määrät ja osuudet maakunnittain.

**Taulukko 1.** Mikrobilajit sekä kosteusvaurioindikaattorit tietokannassa.

Koodi	Mikrobilaji	Indikaattori	Koodi	Mikrobilaji	Indikaattori
01	<i>Acremonium</i> -sukuryhmä	1	45	<i>Chalara</i>	0
02	Aktinomykeetit	1	46	<i>Chromelosporium</i>	0
03	<i>Alternaria</i> , <i>Ulocladium</i> -lajiryhmä	1	47	<i>Chrysonilia</i>	0
04	<i>Aspergillus fumigatus</i> -lajiryhmä	1	48	<i>Chrysosporium</i>	0
05	<i>Aspergillus ochraceus</i> -lajiryhmä	1	49	<i>Cladosporium</i>	0
06	<i>Aspergillus restricti</i> -lajiryhmä	1	50	<i>Clonostachys</i>	0
07	<i>Aspergillus terreus</i> -lajiryhmä	1	51	<i>Cunninghamella</i>	0
08	<i>Aspergillus usti</i> -lajiryhmä	1	52	<i>Dichobotrys</i>	0
09	<i>Aspergillus versicolores</i> -lajiryhmä	1	53	<i>Drechslera</i>	0
10	<i>Aspergillus</i> , <i>Eurotium</i> -lajiryhmä	1	54	<i>Geotrichum</i>	0
11	<i>Chaetomium</i> -sukuryhmä	1	55	<i>Gilmaniella</i>	0
12	<i>Coelomyces</i> -sukuryhmä	1	56	Hiivasienet	0
13	<i>Engyodontium</i> -sukuryhmä	1	57	homesienet	0
14	<i>Exophiala</i> -sukuryhmä	1	58	<i>Hormographiella</i>	0
15	<i>Fusarium</i> -sukuryhmä	1	59	<i>Hormonema</i>	0
16	<i>Geomyces</i> -sukuryhmä	1	60	<i>Hyalodendron</i>	0
17	<i>Oidiodendron</i>	1	61	Itiöimättömät ryhmät	0
18	<i>Paecilomyces</i> , <i>Purpureocillium</i>	1	62	<i>Leptodontium</i>	0
19	<i>Phialophora</i> -sukuryhmä	1	63	<i>Lomentospora</i>	0
20	<i>Scopulariopsis</i> -sukuryhmä	1	64	<i>Monodictys</i>	0
21	<i>Sporobolomyces</i>	1	65	<i>Mortierella</i>	0
22	<i>Stachybotrys</i> , <i>Memnoniella</i>	1	66	<i>Mucor</i>	0
23	<i>Trichoderma</i>	1	67	muut bakteerit	0
24	<i>Tritirachium</i>	1	68	<i>Myceliophthora</i>	0
25	<i>Wallemia</i>	1	69	<i>Mycotypha</i>	0
26	<i>Absidia</i>	0	70	<i>Myriadontium</i>	0
27	<i>Acrodontium</i>	0	71	<i>Oomykeetit</i>	0
28	<i>Alternaria</i>	0	72	<i>Penicillium</i>	0
29	<i>Alternaria</i>	0	73	<i>Pestalotia</i>	0
30	<i>Aphanocladium</i>	0	74	<i>Pithomyces</i>	0
31	<i>Arthrinium</i>	0	75	<i>Rhizopus</i>	0
32	<i>Arthrobotrys</i>	0	76	<i>Rosulomyces</i>	0
33	Askomykeetti	0	77	<i>Scedosporium</i>	0
34	<i>Aspergillus flavus</i>	0	78	<i>Spiniger</i>	0
35	<i>Aspergillus nigri</i> -lajiryhmä	0	79	<i>Sporothrix</i>	0
36	<i>Aspergillus sp.</i>	0	80	<i>Sporotrichum</i>	0
37	<i>Aureobasidium</i>	0	81	steriili rihma	0
38	basidiomykeetit	0	82	<i>Syncephalastrum</i>	0
39	<i>Beauveria</i>	0	83	<i>Talaromyces</i>	0
40	<i>Blastobotrys</i>	0	84	<i>Thysanophora</i>	0
41	<i>Botryosporium</i>	0	85	<i>Torulomyces</i>	0
42	<i>Botrytis</i>	0	86	<i>Tsygomykeetit</i>	0
43	<i>Calcarisporiella</i>	0	87	<i>Verticillium</i>	0
44	<i>Calcarisporium</i>	0	88	tunnistamaton	0

## 4.2 Suoraviljelynäytteiden tulkinta

### 4.2.1 Asumisterveysasetus ja sen soveltamisohje

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysitulosten tulkinta perustuu vuonna 2015 annettuun Asumisterveysasetukseen (10) ja sen vuonna 2016 julkaistun Soveltamisohjeeseen (1) osaan 4.

#### Asumisterveysasetus, 20 § Mikrobit (7)

Toimenpiderajan ylittymisenä pidetään korjaamatonta kosteus- tai lahovauriota, aistinvaraisesti todettua ja tarvittaessa **analyysillä varmistettua mikrobikasvua** rakennuksen sisäpinnalla, sisäpuolisessa rakenteessa tai lämmöneristeessä silloin, kun lämmöneriste ei ole kosketuksissa ulkoilman tai maaperän kanssa, taikka mikrobikasvua muussa rakenteessa tai tilassa, jos sisätiloissa oleva voi sille altistua.

Mikrobikasvu todetaan ensisijaisesti rakennusmateriaalista mikrobien kasvatukseen perustuvalla laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmällä ja mikroskopoimalla tehdyllä analyysillä.



Tekstin mukaan toimenpiderajan ylityksenä materiaalinäytteiden osalta pidetään analyysin varmistettua mikrobikasvua. Soveltamisohjeen tulkintaohjeissa esitetään kuitenkin vahvasti myös lajiston merkitystä tulkinnassa, vaikka tällä voidaan todeta vain ”tulos voi viitata mikrobikasvuun”. Tulkinnanvaraiseksi jää, voiko ns. indikaattorilajien perusteella toimenpideraja ylittyä, jos näytteessä esiintyy enintään kohtalaisesti mikrobeja.

#### Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 4

##### 1. Toimenpiderajan ylittyminen

Toimenpiderajan ylittyminen koskee rakennuksen sisäpintojen tai sisäpuolisten rakenteiden, muiden tilojen ja rakenteiden vaurioita, joista irtoaville epäpuhtauksille sisätiloissa oleva voi altistua.

Mikrobikasvu pyritään osoittamaan ensisijaisesti rakennusmateriaalista otettavilla näytteillä. Mikrobitulosten tulkinta perustuu sekä mikrobien kokonaisuuden että **lajiston tarkasteluun**.

##### 2. Rakennusmateriaalinäyte

Pykälän 2. momentissa säädetään, että mikrobikasvu todetaan ensisijaisesti rakennusmateriaalista kasvatukseen perustuvalla laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmällä ja mikroskoipoimalla tehdyllä analyysillä. Analysoinnissa käytettävät elatusalustat sienille ovat 2 % mallasuute (M2) sekä dikloranglyseroli-18 (DG18)-alusta ja bakteereille tryptoni-hiivauute-glukoosialusta (THG). **Rakennusmateriaalinäytteen suoraviljelyssä käytetään lisäksi Hagem-alustaa (Rose Bengal mallasuutealustaa) kolmantena sienialustana, mikäli käytetään jäljempänä esitettyjä tulkintaohjeita.**

##### 2.8 Mikrobilajiston merkitys tulosten tulkinnassa

Vaurioituneissa materiaaleissa ja vaurioituneiden kohteiden ilmassa esiintyy usein mikrobeja, joita harvemmin esiintyy vauriottomien rakennusten rakenteissa ja ilmassa. Näitä mikrobeja kutsutaan ns. kosteusvaurioindikaattorimikrobeiksi ja osa niistä vaatii runsaan kosteuden kasvaakseen.

##### 2.10 Rakennusmateriaalinäytteen tulosten tulkinta suoraviljelyllä

Suoraviljelymenetelmän tulokset ilmoitetaan käyttäen + -asteikkoa seuraavasti:

- = ei mikrobeja
- + = 1–19 pesäkettä (niukasti mikrobeja)
- ++ = 20–49 pesäkettä (kohtalaisesti mikrobeja)
- +++ = 50–199 pesäkettä (runsaasti mikrobeja)
- ++++ ≥ 200 pesäkettä (erittäin runsaasti mikrobeja)

Yllä mainittua asteikkoa käytetään sekä mikrobien kokonaisuuden että tunnistettujen mikrobien määrän arvioimiseen. Jos homeiden ja hiivojen ja aktinomykeettien kokonaisuudet ovat pieniä (-/+ / ++), lasketaan ja ilmoitetaan kosteusvaurioindikaattorien pesäkemäärä.

Rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa, kun suoraviljelyllä materiaalinäytteessä havaitaan elinkykyisiä sieni-itiöitä ja/tai aktinomykeettejä runsaasti (+++/++++).

**Suoraviljelyn tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon silloin, kun mikrobeja on kohtalaisesti tai niukasti, mutta lajistossa on kosteusvaurioindikaattoreita.**

Soveltamisohjeen tekstissä tulkinnanvaraiseksi jää myös se, mitä tarkoitetaan sanalla *kosteusvaurioindikaattoreita*. Varmuudella termi rajaa pois vain tilanteen, jossa kaikilla alustoilla on yhteensä enintään 1 indikaattoripesäke. Epäselväksi jää tarkoitetaanko tässä indikaattoripesäkkeiden vai eri taksonien määrää ja riittääkö näissä molemmissa tällöin 2 kpl. Määrittelyn monitulkintaisuus on yleisesti todettu ja sitä on pyritty selventämään vuonna 2018 julkaistussa Laboratorio-oppaassa (11).

## 4.2.2 Laboratorio-opas

Vuonna 2018 julkaistussa Laboratorio-oppaassa (11) suoraviljelynäytteiden tulkintaa ohjeistetaan seuraavasti:

### Laboratorio-opas

*Rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa, kun suoraviljelymenetelmällä havaittavat sienien tai aktinomykeettien pesäkemäärät ovat runsaat (+++)/erittäin runsaat (++++). Muiden bakteerien kuin aktinomykeettien määrää ei käytetä tulkinnassa.*

*Suoraviljelyn tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon silloin, kun sieniä tai aktinomykeettejä on kohtalaisesti (++) tai niukasti (+), mutta lajistossa on useita (≥2) kosteusvaurioindikaattoreita millä tahansa viljellyistä alustoista; kuitenkin siten, että yksittäisten pesäkkeiden esiintyminen ei riitä.*

Kuten soveltamisohjeessa, tässäkin tulkinnanvarainen termi on kosteusvaurioindikaattoreita. Virkkeen loppu kuitenkin viittaisi siihen, että tässä tarkoitetaan eri indikaattorilajien/-sukujen määrää. Indikaattorien lukumäärävaade (≥2) on ilmoitettu yksiselitteisesti, mutta epäselvää on, pitääkö molempien esiintyä samalla alustalla. Lisäksi tulkinnanvaraisuutta tulee lauseesta: ”yksittäisten pesäkkeiden esiintyminen ei riitä”. Sanan yksittäinen voi tulkita viittaavan vain yhteen pesäkkeeseen, mutta myös tulkintaa 1–2 on käytetty.

Yhteenvedonäsiis tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon, kun

- sieniä tai aktinomykeettejä on kohtalaisesti (++) tai niukasti (+) **JA**
- yksittäisellä alustalla (**TAI** kaikilla alustoilla yhteensä) on vähintään 2 eri kosteusvaurioindikaattoria (kumpaakin vähintään 2 **TAI** 3 pesäkettä)

### Ruokaviraston uutiskirjeen täsmennys

Ruokaviraston uutiskirjeessä (12) vuodelta 2021, täsmennettiin laboratorio-oppaassa tarkoitettavan useilla kosteusvaurioindikaattoreilla vähintään 2 eri indikaattoritaksonia ja että näissä taksonissa tulee havaita useita (>2) pesäkkeitä. Valitettavasti laboratorioille suunnatussa uutiskirjeessä esitetty täsmennys ei ole saavuttanut suoritettavaa tahoaa eli kuntotutkimuksia toteuttavia rakennusterveysasiantuntijoita kattavasti.

Tarkennus vähentää monitulkintaisuutta, mutta jättää niihin lievän epäloogisuuden: Jos näytteessä esiintyy vain yhtä indikaattoritaksonia ++ -pitoisuudella (20–49 pesäkettä), tulkintana on ei mikrobikasvua. Kuitenkin vähintään 50 pesäkettä ko. indikaattoria (+++) puolestaan johtaa suoraan tulkintaan: esiintyy mikrobikasvua. Pahimmillaan siis yksi pesäke voi muuttaa tulkinnan vauriottomasta vaurioon.

Täsmennyksellä voi tutkimuksen (13) perusteella olla myös merkittävä vaikutus ns. epäilytuloksen ”voi viitata mikrobikasvuun/poikkeava lajisto” osuuteen näytteistä.

## 4.2.3 Tietokannassa luotu vertailutulkinta

Soveltamisohjeen ja alkuperäisen laboratorio-ohjeen perusteella mahdollinen vaihtoehtoinen, yksiselitteinen tulkinta on esitetty taulukossa 2, jossa esitettyä koodia ja kuvausta käytetään jatkossa viitattaessa näytetuloksiin. Tulkinta ei ole lievin mahdollinen (vrt. (13)), mutta siinä on poistettu edellä esitetty epäloogisuus yksipuolisen indikaattorilajiston esiintymisen osalta.

**Taulukko 2.** Vertailua varten hankkeessa luodut materiaalien suoraviljelynäytteiden tulkintaperusteet.

Koodi	Määrittelyperuste	Kuvaus
0	Enintään ++, alle kolme indikaattorilajia, indikaattorit enintään +	ei mikrobikasvua
1	Indikaattori ++ tai ≥ 3 eri indikaattoritaksonia yhteensä kaikilla maljoilla	voi viitata mikrobikasvuun/poikkeava lajisto
2	Aktinomykeettien tai minkä tahansa maljan (M2, Hagem, DG18) kokonaistulos +++ tai ++++	mikrobikasvu

## 4.2.4 Työterveyslaitoksen ehdotus

Työterveyslaitos esitti Asumisterveystutkimuksia tekevien laboratoriodien neuvottelupäivillä 2024 tulkintaa:

### Työterveyslaitoksen esitys

*Kosteusvaurioindikaattorien pesäkemäärä lasketaan ja ilmoitetaan vain, kun homeiden, hiivojen ja aktinomykeettien kokonaismäärät ovat kohtalaisia (++)*.

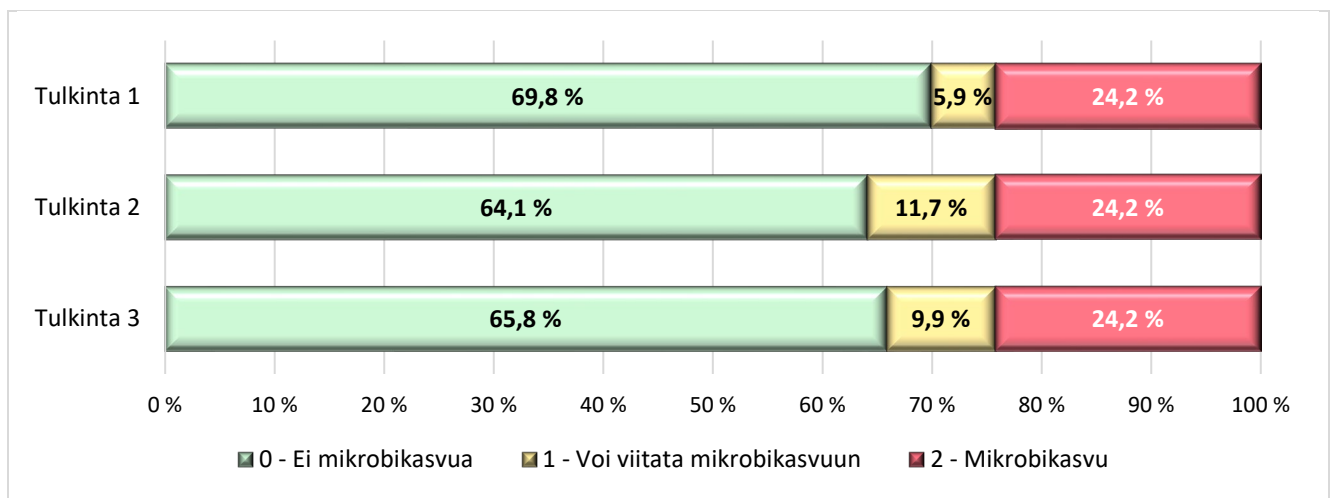
*Suoraviljelyn tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon silloin, kun homeita ja hiivoja on kohtalaisesti (++)*, mutta lajistossa on kosteusvaurioindikaattoreita vähintään 6 pesäkettä (mukaan lukien aktinomykeetit). Suoraviljelyn tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon myös silloin, kun aktinomykeettien pesäkemäärä on kohtalainen (++).

Tämä tarkoittaa erityisesti siis, että suoraviljelyn tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon silloin, kun minkä tahansa indikaattorilajin pesäkemäärä on kohtalainen (++), koska tällöin kosteusvaurioindikaattoreita on vähintään 20 pesäkettä. Ehdotus poistaisi myös epäloogisuuden yksipuolisen indikaattorilajiston esiintymisen osalta.

## 4.3 Tulokset

### 4.3.1 Tulosten tulkinnan merkitys

Kuten edellä todettiin, tulosten tulkintaohjeet ovat monitulkintaisia, kun näytteen pesäkemäärät ovat kohtalaisia (++) tai niukkoja (+). Kuvassa 21 on esitetty tietokannan mikrobinäytteiden tulosjakaumat edellisessä kappaleessa esitettyjä kolmea eri tulkintatapaa käyttäen. Jatkossa tekstissä viitataan eri tuloksiin numeroilla 0, 1 ja 2, kuten kuvassa ja edellä taulukossa 2.



**Kuva 21.** Eri tulkintatapojen vaikutus mikrobimateriaalinäytteiden (n = 10 253) tuloksiin. Tulkinta 1 on laboratorio-oppaassa esitetty ja Ruokaviraston uutiskirjeessä täsmennetty tulkinta (kpl 4.2.2), Tulkinta 2 tietokannassa esitetty mahdollinen tulkinta (kpl 4.2.3) ja Tulkinta 3 Työterveyslaitoksen laboratoripäivillä ehdottama (kpl 4.2.4).

Edellä esitetyistä Tulkinta 1, eli Ruokaviraston uutiskirjeellä täsmennetty laboratorio-oppaan tulkinta, rajaa eniten pois tuloksia 1, joiden osuudeksi jää 5,9 % näytteistä. Työterveyslaitoksen ehdottamassa Tulkinnassa 3 yksipuolinen lajisto johtaa Tulkintaa 1 useammin tulokseen 1, jolloin sen osuus näytteistä nousee 9,9 %:iin. Edellä esitetyistä Tulkinta 3 johtaa suurimpaan tuloksen 1 osuuteen. Vaatimus indikaattoritaksonin pesäkkeiden vähimmäismäärästä (3 tulkinnassa 1 ja 1 tulkinnassa 2) vaikuttaa siis tuloksen 1 osuuteen 5,8 %-yksikköä.

Tulos on samansuuntainen kuin julkaisussa (13), jossa näytteeltä havaitut vähintään 3 indikaattoripesäkettä (ei-taksonia) johtivat tulokseen 1. Näiden osuudeksi koko näyteaineistosta (n = 6 177) ilmoitettiin 16 %. Tässä aineistossa siirtyminen tulkintaan 1 johti tuloksen 1 osuuden pienenemiseen 3 %:iin näytteistä.

Rakennusterveystietokannan aineistossa mikrobikasvun osoittavia tuloksia 2 todettiin 24,2 % kaikista näytteistä. Osuus on selvästi pienempi kuin katsauksen (14) laimennossarjanäytteiden, joissa pelkästään sienialustoilla (M2/Hagem ja DG18) näiden osuudet olivat 31,2 % (TTL-aineisto) ja 42,3 % (THL-aineisto). Laajempi vertailu suoraviljelynäytteisiin esitetään kappaleessa 4.3.9.

### 4.3.2 Hagem- ja M2-alustojen vaikutus tulkintaan

#### Vaikutus näytetulosten tulkintaan

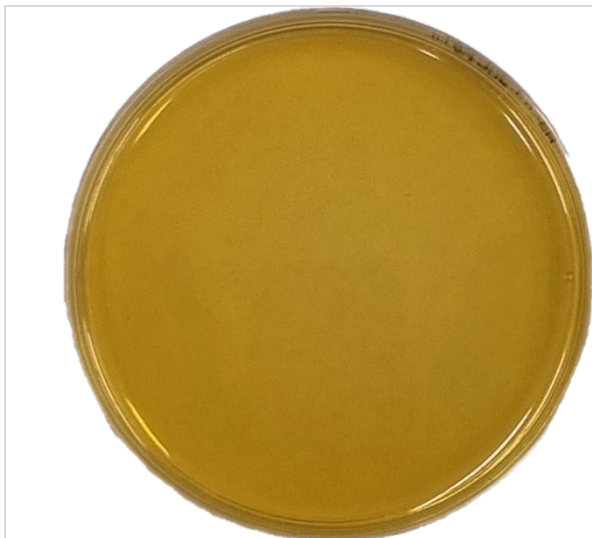
Soveltamisohjeessa M2-alustan (Kuva 22) rinnalle suoraviljelynäytteisiin lisätyn Hagem-alustan (Kuva 23) vaikutusta tuloksiin selvitettiin kaikista tietokannan 7237 näytteestä, jotka oli analysoitu neljää alustaa käyttäen. Tulokset tulkittiin edellä esitettyä Laboratorio-oppaan täsmennettyä tulkintaa 1 käyttäen sellaisenaan sekä niin, että ensin jätettiin huomiotta kaikki Hagem-alustalta saadut tulokset ja sitten vastaavasti M2-alustan tulokset. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Hagem- ja M2-alustojen käytön vaikutus mikrobinäytteiden tulkintaan tietokannan suoraviljelynäytteissä (n = 7237), jossa analyysi perustui 4 alustan käyttöön (Tulkinta 1).

Alustat	0–Ei mikrobikasvua	1–Poikkeava lajisto	2–Mikrobikasvu	Yhteensä
THG, DG18, M2, Hagem	5225 (72,2 %)	334 (4,6 %)	1678 (23,2 %)	7237
Ei Hagem tuloksia	5261 (72,7 %)	351 (4,9 %)	1625 (22,5 %)	7237
Ei M2 tuloksia	5298 (73,2 %)	308 (4,3 %)	1631 (22,5 %)	7237

Mikrobikasvu olisi jäänyt huomaamatta 54 (0,73 %) näytteessä ilman Hagem-alustan tuloksia ja 47 (0,65 %) näytteessä ilman M2-alustaa. M2-alustalla +++/++++ -tuloksia 2 oli 895 kpl ja Hagem-alustalla 876 kpl. M2-alustalla mikrobikasvun osoittavista tuloksista 156 kpl (17,4 %) ei ollut havaittavissa Hagem-alustalla ja vastaavasti Hagem-alustan kasvua osoittavista näytteistä 137 kpl (15,6 %) ei ollut havaittavissa M2-alustalla. THG- ja DG18-alustojen tulokset pienentävät kuitenkin selvästi vaikutusta, joka toisen alustan poisjättämisellä olisi.

Tulosten 0 määrä olisi M2-alustan poisjätön seurauksena kasvanut 73 kpl (1,0 %) näytteistä ja ilman Hagem-alustaa 36 kpl (0,5 %). Tulosten perusteella Hagem-alustan lisäyksellä oli tietokannan aineistossa vaikutusta alle 1 prosenttiin näytteistä.



**Kuva 22.** Mesofiilisten sienten kasvatusalusta M2.

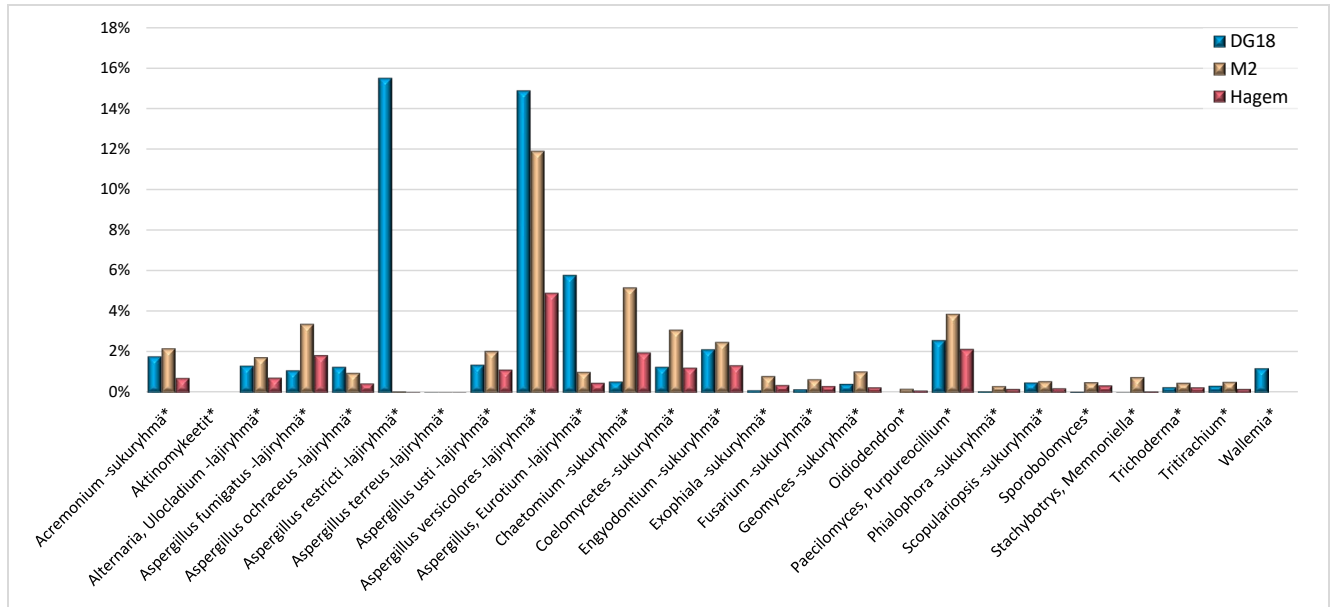


**Kuva 23.** Alustan M2 rinnalle Soveltamisohjeen myötä vaa-dittu Hagem-alusta.

#### Kosteusvaurioindikaattorit eri alustoilla

Indikaattorilajien merkitys tulkintaan on oleellinen niissä näytteissä, joissa mikrobeja esiintyi yhteensä niukasti (+) tai kohtalaisesti (++) . Näitä tietokannassa on 6028 kpl (mikrobikasvua 2485 näytteessä ja täysin mikrobittomia näytteitä 1740). Eri indikaattorilajien esiintyminen pitoisuuksilla +/-++ näissä näytteissä on esitetty alustoit-tain kuvassa 24. Kserofiilille sienille tarkoitettu DG18-alusta eroaa lajistoltaan odotetusti mesofiilisten sienten

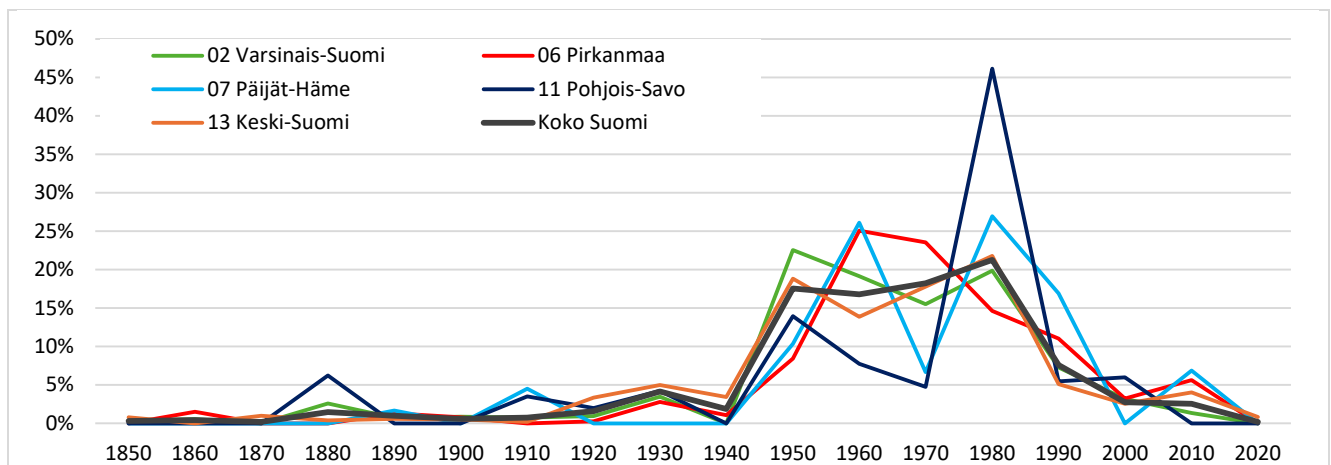
alustoista M2 ja Hagem. Indikaattoreista *Aspergillus restricti*, ja *Aspergillus*, *Eurotium* -lajiryhmät sekä *Wallemia* esiintyvät käytännössä ainoastaan DG18-alustalla. Myös *Aspergillus versicolores* -lajiryhmää esiintyy eniten tällä alustalla. Mesofiilille sienille tarkoitetut M2- ja Hagem-alustat eroavat lajistoiltaan toisistaan vähemmän. Kaikkia indikaattoreita esiintyi kuitenkin useammin M2- alustalla. *Aspergillus terreus* -lajiryhmää esiintyi koko näyteaineistosta kolmessa näytteessä: puu/purunäytteessä tuloksella ++ ja mineraalivilva- ja lastuvillanäytteessä kummassakin tuloksella +. Näin ollen sen merkitys indikaattorina on varsin vähäinen.



**Kuva 24.** Indikaattorien esiintyminen eri elatusalustoilla, näytteissä, joissa esiintyi niukasti (+) tai kohtalaisesti (++) mikrobeja (n = 6028).

### 4.3.3 Mikrobinäytteet rakennusajankohdan mukaan

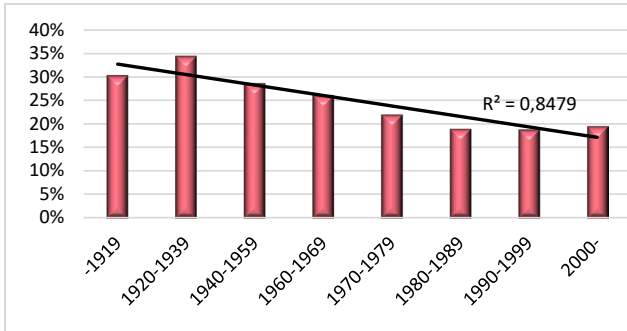
Valtaosa tietokannan näytteistä on kerätty 1950–1990 valmistuneista rakennuksista (Kuva 25). Maakunnittaiset jakaumat vastaavat tässä kohtalaisesti toisiaan. Ainoastaan Pohjois-Savossa muihin maakuntiin verrattuna huomattavan suuri osa näytteistä on 1980-luvulla valmistuneista rakennuksista. Vastaavasti 1960- ja 1970-luvulla valmistuneista rakennuksista näytteitä on vähän. Tulosjakaumissa ääripäitä vastanneiden Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan tutkittujen rakennusten ja näytteiden ikäjakaumat ovat hyvin lähellä toisiaan.



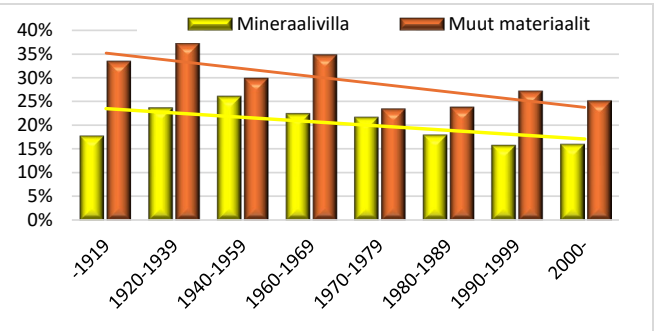
**Kuva 25.** Mikrobimateriaalinäytteet maakunnittain rakennusajankohdan perusteella luokiteltuna.

Kappaleessa 3.2.3 todettiin korrelaatio merkittävien mikrovaurioiden esiintymisen ja rakennuksen iän välillä. Vastaava korrelaatio ( $r = 0,848$ ;  $n = 8$ ;  $p = 0,008 < 0,01$ ) on todettavista myös yksittäisistä näytteistä (Kuva 26).

Vaikka näytteistä noin kaksi kolmasosaa on mineraalivillaa, sama trendi on jopa voimakkaampi muissa materiaaleissa (Kuva 27).



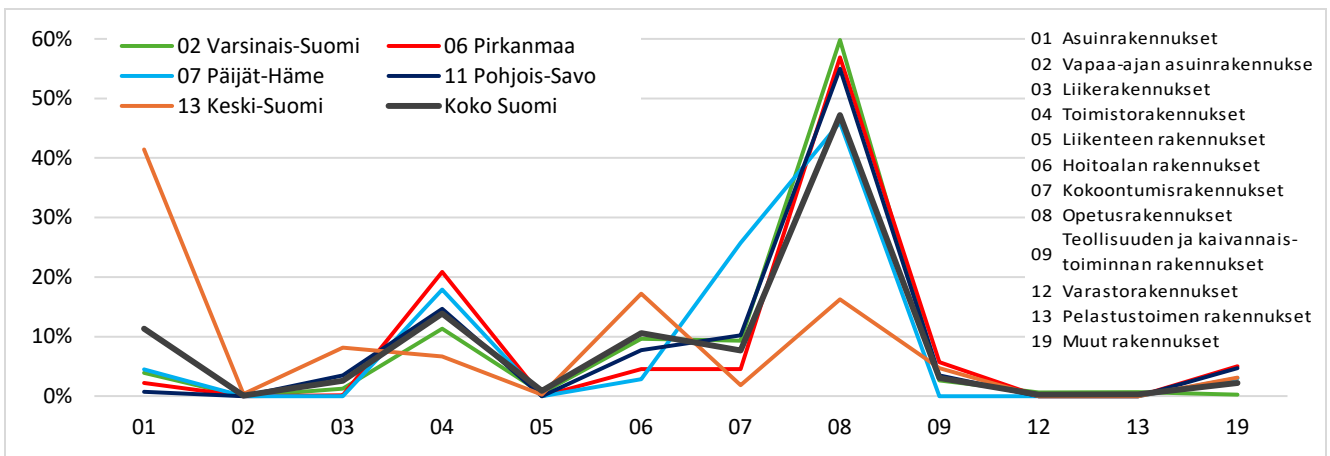
**Kuva 26.** Mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuudet kaikista näytteistä (n=10192) rakennuksen valmistusajankohdan mukaan luokiteltuna.



**Kuva 27.** Mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuudet rakennuksen valmistusajankohdan mukaan erikseen mineraalivillanäytteissä (n=6353) ja muissa (n= 3839) materiaaleissa.

#### 4.3.4 Mikrobinäytteet rakennusten käyttötarkoituksen mukaan

Keski-Suomea lukuun ottamatta näyteaineistossa korostuu opetusrakennuksista (08) otettujen näytteiden osuudet. Näiden sijaan Keski-Suomessa näytteitä on runsaasti asuinrakennuksiksi (01) luokitelluista rakennuksista. Näissä on varsinaisten asuin- ja asuntolatilojen lisäksi mukana esimerkiksi kaupunkikeskustojen asuinkerrostoissa sijaitsevia toimisto- ja myymälätiloja.



**Kuva 28.** Mikrobimateriaalinäytteet rakennusten käyttötarkoituksen mukaan (Rakennusluokitus 2018).

Näytteiden tulosjakaumassa on selviä eroja rakennusluokittain (Taulukko 4). Esimerkiksi hoitoalan rakennuksissa mikrobikasvun osoittavia näytteitä oli suhteellisesti enemmän kuin opetus- ja toimistorakennuksissa. Ero on tilastollisesti erittäin merkitsevä (esim. hoitoalan ja opetusrakennusten välillä, khiin neliö menetelmällä,  $\chi^2(2) = 27,76$ ,  $p = 9,4 \cdot 10^{-7} < 0,001$ ). Havaitut erot tuskin selittyvät ainakaan ainoastaan käyttötarkoituksella, eroja luokien välillä on myös ainakin rakennusten ikäjakaumissa.

**Taulukko 4.** Mikrobinäytteiden tulosjakaumat luokiteltuina rakennusten käyttötarkoituksen perusteella ja järjestettynä mikrobikasvua osoittavien tulosten osuuden perusteella laskevaan järjestykseen.

Rakennusluokitus 2018	0–Ei mikrobikasvua	1–Poikkeava lajisto	2–Mikrobikasvu	Yhteensä
03 Liikerakennukset	151 (57,4 %)	18 (6,8 %)	94 (35,7 %)	263
06 Hoitoalan rakennukset	704 (65,0 %)	63 (5,8 %)	316 (29,2 %)	1083
01 Asuinrakennukset	739 (63,7 %)	92 (7,9 %)	330 (28,4 %)	1161
07 Kokoontumisrakennukset	491 (62,2 %)	77 (9,8 %)	221 (28,0 %)	789
09 Teollisuuden ja kaivannaistoiminnan	216 (68,6 %)	19 (6,0 %)	80 (25,4 %)	315
08 Opetusrakennukset	3528 (72,9 %)	242 (5,0 %)	1070 (22,1 %)	4840
04 Toimistorakennukset	1054 (74,2 %)	72 (5,1 %)	295 (20,8 %)	1421
05 Liikenteen rakennukset	65 (72,2 %)	8 (5,0 %)	17 (18,9 %)	90
19 Muut rakennukset	176 (73,2 %)	10 (4,4 %)	40 (17,7 %)	226

Hoitoalan ja opetusrakennusten välisiä eroja ikäjakauma ei kuitenkaan selitä, vaikka tutkituista hoitoalan rakennuksista huomattavasti suurempi osa on valmistunut 1940–1950-luvuilla ja pienempi osa 1920–1930-luvuilla. Taulukossa 5 on esitetty ko. rakennusluokkien näytemäärät ja -osuudet rakennusajanjaksoittain. Näistä on laskeutu odotetut mikrobikasvua osoittavien tulosten määrät kertomalla ne koko tietokannan vaurionäytteiden osuudella kyseisenä ajanjaksona. Jos molempien rakennusluokkien näytetuloksista osoittaisi ikäkausittain yhtä suuri osuus mikrobikasvua kuin koko aineistossa, pitäisi opetusrakennusten kaikista näytteistä 24,5 % ja hoitoalan rakennusten näytteistä 25,6 % osoittaa mikrobikasvua.

**Taulukko 5.** Tietokannan hoitoalan ja opetusrakennusten mikrobinäytteiden lukumäärät rakennusajankohdan mukaan, koko tietokannan mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuus ikäkausittain (vaurioaste) sekä sen perusteella lasketut odotetut mikrobikasvua osoittavien näytteiden määrät molemmissa rakennusluokissa.

Rakennusaika	06–Hoitoalan	08–Opetus	Vaurioaste (RTTK)	06–Odotettu	08–odotettu
–1919	29 (2,7 %)	198 (4,1 %)	30,4 %	9	60
1920–1939	164 (15,2 %)	235 (4,9 %)	34,5 %	57	81
1940–1959	198 (18,4 %)	1190 (24,6 %)	28,7 %	57	342
1960–1969	221 (20,5 %)	867 (17,9 %)	26,2 %	58	227
1970–1979	196 (18,2 %)	822 (17,0 %)	22,1 %	43	182
1980–1989	201 (18,7 %)	971 (20,1 %)	19,0 %	38	185
1990–1999	60 (5,6 %)	322 (6,7 %)	18,9 %	11	61
2000–	7 (0,7 %)	231 (4,8 %)	19,6 %	1	45
<b>Yhteensä</b>	<b>1076</b>	<b>4836</b>	<b>24,2 %</b>	<b>25,6 %</b>	<b>24,5 %</b>

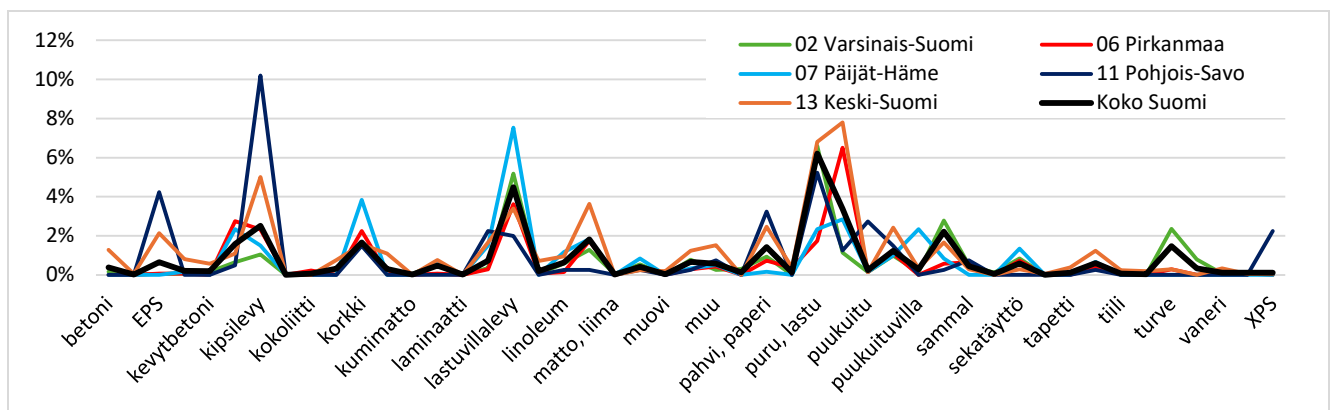
#### 4.3.5 Mikrobinäytteet materiaaleittain ja rakennusosittain

Tietokannan materiaalinäytteistä valtaosa (63 %) oli mineraalivillaa, joskin alueellisia eroja tässä oli melko paljon: pienin osuus oli Keski-Suomessa 46 % ja suurin Pirkanmaalla jopa 72 % (Taulukko 6). Muiden näytemateriaalien osalta maakuntien välillä ei ollut suuria eroja (Kuva 29).

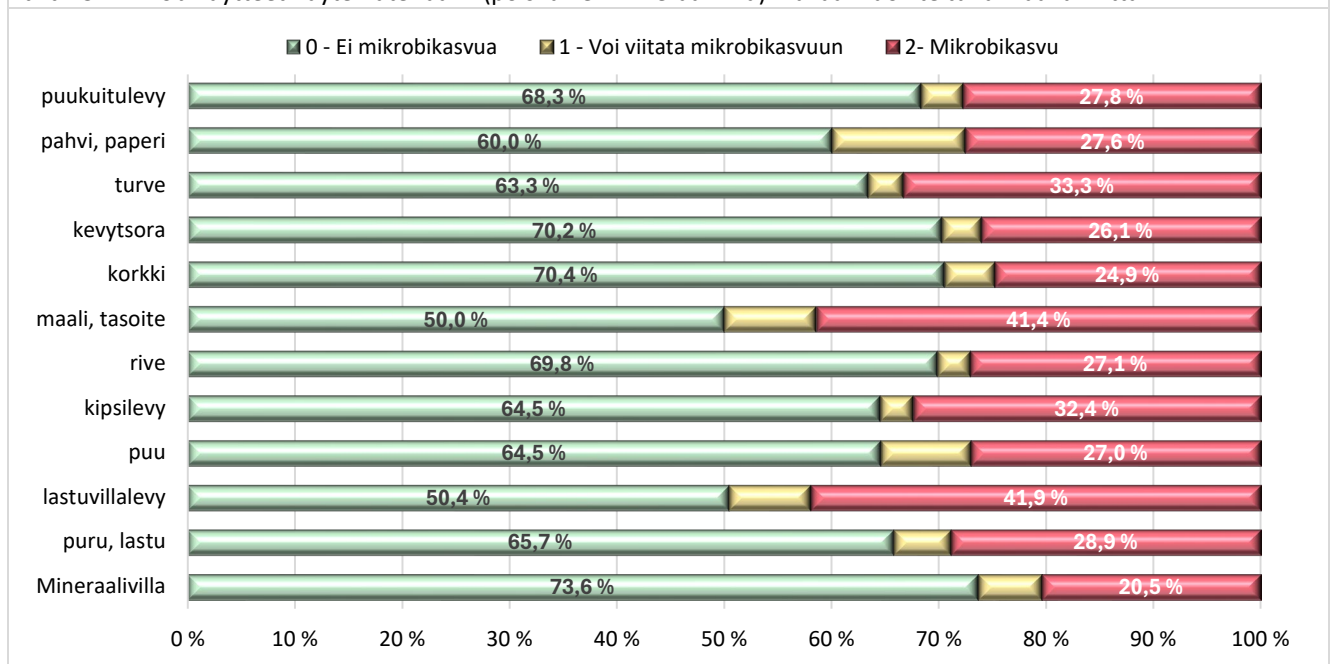
Tunnetusti herkkyys mikrobivaurioille vaihtelee materiaaleittain. Tietokannan aineistoissa mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuudet olivat suurimmat lastuvillalevyssä (42 %) sekä maalissa ja tasoitteessa (41 %), kuten esitetty kuvassa 30. Kuvaan on otettu mukaan materiaalit, joiden näytteitä aineistossa oli yli 100 kpl. Maalin ja tasoitteen suuri vaurio-osuus selittyy sillä, että muista materiaaleista poiketen niiden näytteistä valtaosa on otettu aistinvaraisten havaintojen perusteella epäilyllä kosteusvauriokohdasta. Kuvassa 23 esitetyistä materiaaleista, vähiten mikrobikasvua esiintyi mineraalivillassa (21 %). Ns. puhtaiden näytteiden, joissa ei havaittu mikrobikasvua, osuudet vaihtelivat mineraalivillanäytteiden 74 %:sta maalin ja tasoitteen 50 %:iin.

**Taulukko 6.** Mikrobimateriaalinäytteiden määrät näytemateriaalin mukaan luokiteltuna maakunnittain.

Materiaali	Varsinais-Suomi		Pirkanmaa		Päijät-Häme		Pohjois-Savo		Keski-Suomi		Koko Suomi	
	määrä	osuus	määrä	osuus	määrä	osuus	määrä	osuus	määrä	osuus	määrä	osuus
mineraalivilla	2905	67,8 %	993	71,9 %	395	66,1 %	242	60,2 %	973	46,0 %	6392	62,7 %
puru, lastu	283	6,6 %	24	1,7 %	14	2,3 %	21	5,2 %	144	6,8 %	633	6,2 %
lastuvillalevy	222	5,2 %	50	3,6 %	45	7,5 %	8	2,0 %	72	3,4 %	458	4,5 %
puu	49	1,1 %	90	6,5 %	17	2,8 %	5	1,2 %	165	7,8 %	344	3,4 %
kipsilevy	45	1,1 %	32	2,3 %	9	1,5 %	41	10,2 %	106	5,0 %	256	2,5 %
rive	119	2,8 %	8	0,6 %	5	0,8 %	1	0,2 %	35	1,7 %	225	2,2 %
korkki	65	1,5 %	31	2,2 %	23	3,8 %	6	1,5 %	33	1,6 %	169	1,7 %
lattiapäällyste	68	1,6 %	8	0,6 %	9	1,5 %	2	0,5 %	62	2,9 %	167	1,6 %
kevytsora	28	0,7 %	38	2,7 %	14	2,3 %	2	0,5 %	23	1,1 %	161	1,6 %
turve	101	2,4 %	4	0,3 %	0	0,0 %	0	0,0 %	6	0,3 %	150	1,5 %
pahvi, paperi	40	0,9 %	10	0,7 %	1	0,2 %	13	3,2 %	52	2,5 %	145	1,4 %
puukuitulevy	42	1,0 %	15	1,1 %	6	1,0 %	6	1,5 %	51	2,4 %	126	1,2 %
lastulevy	15	0,4 %	4	0,3 %	9	1,5 %	9	2,2 %	35	1,7 %	74	0,7 %
EPS	2	0,0 %	1	0,1 %	0	0,0 %	17	4,2 %	45	2,1 %	67	0,7 %
<b>Kaikki</b>	<b>4283</b>	<b>100 %</b>	<b>1382</b>	<b>100 %</b>	<b>598</b>	<b>100 %</b>	<b>402</b>	<b>100 %</b>	<b>2115</b>	<b>100 %</b>	<b>10193</b>	<b>100 %</b>



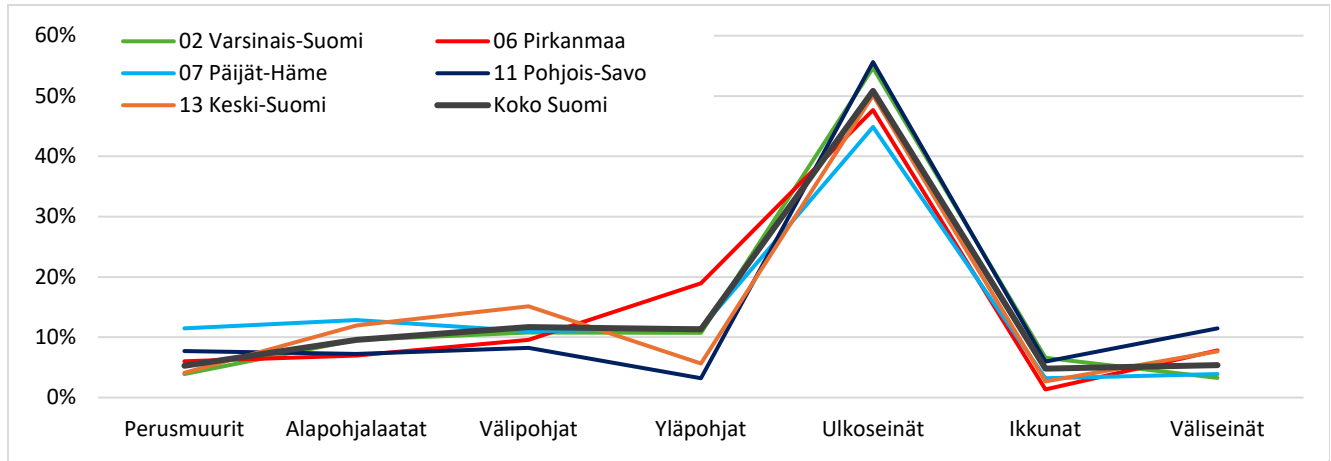
**Kuva 29.** Mikrobinäytteet näytemateriaalin (pois lukien mineraalivilla) mukaan luokiteltuna maakunnittain.



**Kuva 30.** Tietokannan mikrobinäytteiden tulosjakaumat materiaaleittain.



Materiaalin vaurioaste ei riipu kuitenkaan pelkästään itse materiaalin ominaisuuksista vaan myös siitä, missä ja milloin niitä on käytetty: esimerkiksi kosteusolosuhteet alapohjassa poikkeavat huomattavasti yläpohjasta. Mikrobinäytteet luokiteltiin myös näytteenottopaikkansa perusteella rakennusosittain Talo2000-luokituksen mukaisesti. Poikkeuksena tähän valesokkelirakenteet, jotka luokiteltiin kokonaisuudessaan perusmuureihin ja käsiteltiin yhdessä. Tämä siksi, että jälkikäteen raporteista ei kyetty luotettavasti useinkaan toteamaan tarkkaa näytteenottoa suhteessa alapohjalaataan. Selkeästi eniten (noin puolet) näytteistä on kerätty ulkoseinä-rakenteista. Maakuntien välillä ei ollut tässä merkittäviä poikkeamia (Kuva 31).



**Kuva 31.** Mikrobinäytteiden jakautuminen rakennusosien perusteella maakunnittain.

Näytteiden vaurioasteesta todettiin odotetusti selvä ero eri rakennusosien välille (Taulukko 7). Alapohjassa mikrobikasvua esiintyi kolmasosassa näytteitä, yläpohjassa viidesosassa. Julkisivurakenteista ikkunoissa (umpiosat ja tilke-eristeet) esiintyi mikrobikasvua selkeästi muuta ulkoseinärakennetta useammin.

**Taulukko 7.** Tietokannan mikrobinäytteiden tulosjakaumat rakennusosittain.

Rakennusosa	0–Ei mikrobikasvua	1–Poikkeava lajisto	2–Mikrobikasvu	Yhteensä
Alapohjalaatat	575 (60,3 %)	63 (6,6 %)	316 (33,1 %)	954
Perusmuurit	315 (59,5 %)	47 (8,9 %)	167 (31,6 %)	529
Ikkunat	321 (66,7 %)	23 (4,8 %)	137 (28,5 %)	481
Väliseinät	377 (70,6 %)	26 (4,9 %)	131 (24,5 %)	534
Välipohjat	828 (71,0 %)	65 (5,6 %)	274 (23,5 %)	1167
Ulkoseinät	3600 (71,2 %)	318 (6,3 %)	1139 (22,5 %)	5057
Yläpohjat	859 (76,4 %)	38 (3,4 %)	228 (20,3 %)	1125
<b>Yhteensä</b>	<b>6875 (68,9 %)</b>	<b>580 (5,9 %)</b>	<b>2392 (24,3 %)</b>	<b>9847</b>

Pelkän rakennusosan vaikutusta voidaan selvittää tarkastelemalla vain yhden materiaalin näytteitä, kuten taulukossa 8 mineraalivillanäytteitä. Edelleen mikrobikasvua esiintyi suhteellisesti eniten alapohjissa ja perusmuureissa, vähiten väli- ja yläpohjissa. Välipohjissa taulukoiden välinen ero mikrobikasvun esiintyvyydessä selittyy sillä, että niissä mineraalivillan osuus näytteistä on melko pieni. Väliseinänäytteiden mikrobikasvusta taas suuri osa on sisäpinnoilta: kipsilevystä tai maalista ja tasoitteesta.

**Taulukko 8.** Tietokannan mineraalivillanäytteiden mikrobianalyysin tulosjakaumat rakennusosittain.

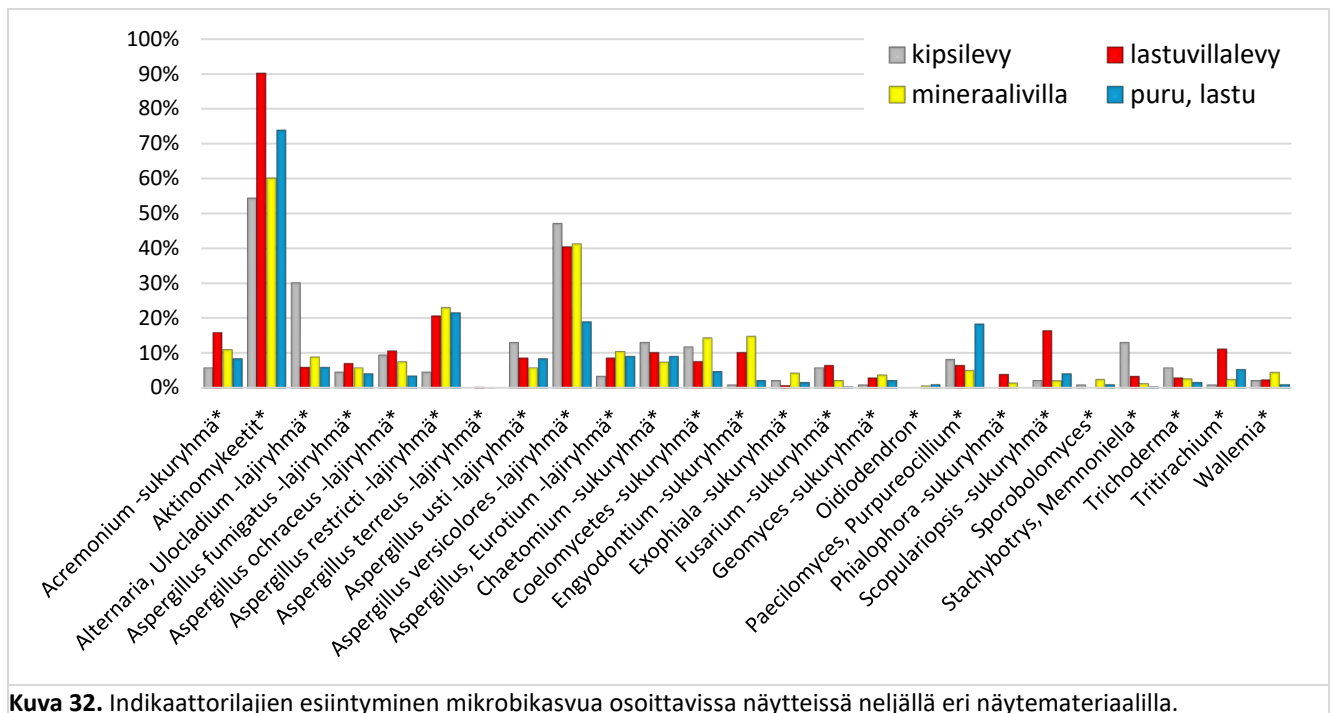
Rakennusosa	0–Ei mikrobikasvua	1–Poikkeava lajisto	2–Mikrobikasvu	Yhteensä
Alapohjalaatat	173 (61,1 %)	20 (7,1 %)	90 (31,8 %)	283
Perusmuurit	250 (62,2 %)	35 (8,7 %)	117 (29,1 %)	402
Ikkunat	154 (65,0 %)	17 (7,2 %)	66 (27,8 %)	237
Väliseinät	251 (81,2 %)	13 (4,2 %)	45 (14,6 %)	309
Välipohjat	152 (80,4 %)	14 (7,4 %)	23 (12,2 %)	189
Ulkoseinät	3038 (73,3 %)	261 (6,3 %)	843 (20,4 %)	4142
Yläpohjat	584 (84,1 %)	12 (1,7 %)	98 (14,1 %)	694
<b>Yhteensä</b>	<b>6875 (68,9 %)</b>	<b>580 (5,9 %)</b>	<b>2392 (24,3 %)</b>	<b>9847</b>

Taulukossa 9 on tarkastelu vielä mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuutta kolmella eri materiaalilla rakennusosittain. Tässäkin kaikilla materiaalilla selvästi useimmin mikrobikasvua esiintyi alapohjissa. Myös materiaalien erot ovat selvät: vertailluista materiaaleista lastuvilla on herkin mikrobivaurioille, mineraalivilla vähiten herkin.

**Taulukko 9.** Näytemäärä ja suluisissa mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuudet kolmelle eri materiaalille eri rakennusosissa.

Rakennusosa	Mineraalivilla	Lastuvillalevy	Puru, lastu
Alapohjalaatat	283 (31,8 %)	78 (52,6 %)	125 (37,6 %)
Välipohjat	189 (12,2 %)	128 (26,6 %)	292 (24,0 %)
Yläpohjat	694 (14,1 %)	66 (28,8 %)	151 (35,8 %)
Ulkoseinät	4142 (20,4 %)	139 (46,8 %)	48 (20,8 %)

Näytemateriaalit eroavat odotetusti toisistaan jonkin verran myös niissä esiintyvien indikaattorilajien suhteen. Tätä on havainnollistettu kuvassa 32, jossa on esitetty neljälle eri materiaalille indikaattorinäytteiden esiintyvyyttä näytteissä, jotka osoittavat mikrobikasvua (+++/++++). Esimerkiksi lastuvillalevynäytteissä muihin materiaaleihin verrattuna korostuvat hieman *Acremonium* ja *Scopulariopsis* -sukuryhmet sekä aktinomykeetit. Kipsilevyssä aktinomykeettien esiintyminen on puolestaan harvinaisempaa, mutta runsaammin esiintyy *Altenaria*, *Ulocladium* -lajiryhmää ja *Stachybotrys*, *Memmoniella*.



**Kuva 32.** Indikaattorilajien esiintyminen mikrobikasvua osoittavissa näytteissä neljällä eri näytemateriaalilla.

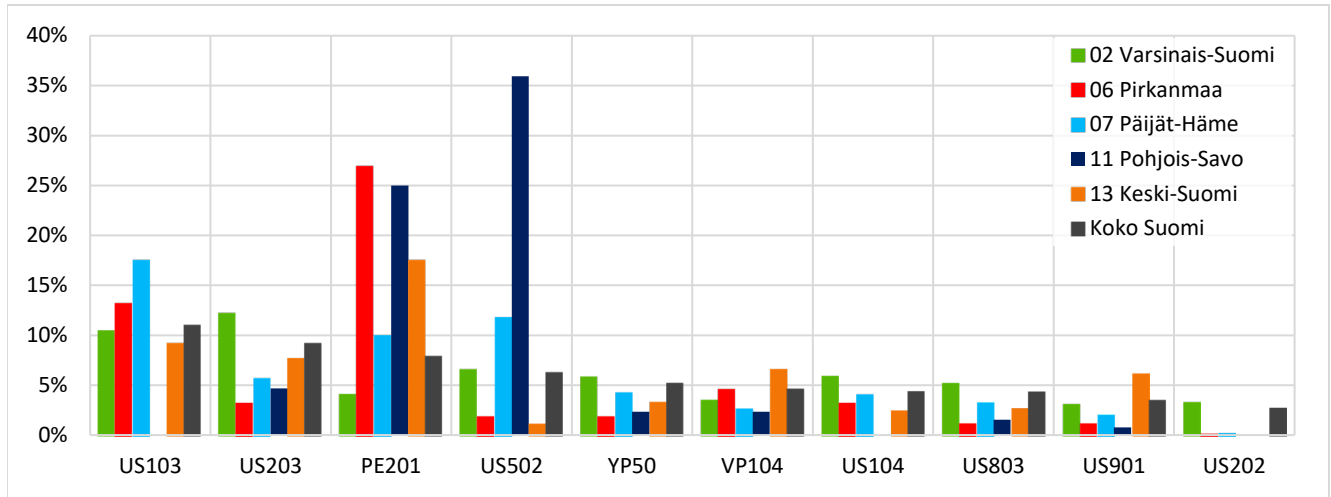
### 4.3.6 Mikrobinäytteet rakenteittain

Rakenteen kosteusteknisellä toiminnalla on merkittävä vaikutus rakenteen vaurioherkkyyteen. Näiden tilastollista tarkastelu on kuitenkin haastavaa erilaisten rakenteiden runsaan määrän, etenkin tietokanta-aineistossa, jossa suuri osa rakennuksista on melko iäkkäitä. Näin ollen esimerkiksi RT-korttien (15) ja (16) rakenneluokittelut eivät sellaisenaan riitä. Tätä varten tietokantahankkeessa luotiin rakennusosittain rakenneluokittelut niiden kosteusteknisestä toiminnasta perusteella. Aihetta on käsitelty laajemmin opinnäytetyössä (9) jonka tuloksia on hyödynnetty luokittelussa.

Jotta eri rakenteiden määrä tietokannassa saatiin pysymään riittävän pienenä, päädyttiin mikrobinäytteille kirjaamaan sekä materiaali että ns. perusrakenne, johon voitiin lisätä tarvittaessa sisäpintarakenne ja/tai julkisivuverho. Esimerkiksi tiilirakenteissa ulkoseinässä perusrakenteena voi olla esimerkiksi US201–massiivitiiliseinä, tuulettuva US202–tiili-lämmöneriste-tuulensuojalevy-tuuletusväli tai tuulettumaton US203–tiili-lämmöneriste.

Kahdessa jälkimmäisessä voidaan valita julkisivurakenteeksi esimerkiksi JSV2-tiili tai JSV5-puu. Näytemateriaali esim. mineraalivilla täydentää rakenteen. Tietokannan perusrakenteet, julkisivuverhoukset sekä sisäpintarakenteet seinille sekä ala- ja välipohjille on esitetty liitteessä 2.

Tietokannan 10 yleisimmän rakenteen esiintyminen materiaalinäyteaineistossa on esitetty maakunnittain kuvassa 33. Pohjois-Savossa yli puolet näytteistä on otettu nykyaikaisesta tuulettuvasta puurunkoisesta ulkoseinä-rakenteesta US502 ja sokkelihalkaisusta tai valesokkelista PE201. Myös Pirkanmaalla ja Keski-Suomessa on näytteitä otettu runsaasti rakenteesta PE201.



**Kuva 33.** Mikrobinäyteaineistossa esiintyvät 10 yleisintä rakennetta maakunnittain.

Edellä mainitut rakenteet PE201 ja US502 edustavat lähes ääripäitä mikrobikasvuston esiintyvyyden suhteen, kuten käy ilmi taulukosta 10, jossa 10 yleisintä rakennetta on järjestetty pienenevässä järjestyksessä mikrobikasvua osoittavien näytetulosten osuuksissa. Mikrobikasvun esiintyvyydessä on odotetusti selvä ero eri rakenteiden välillä. Sisäpuolelta lämmöneristetyin maanvastaisen seinän lämmöneristeistä otetuista näytteistä mikrobikasvua esiintyi n. 36 %:ssa, kun betoni-sandwich -elementeissä vaurioaste jäi alle 14 %:iin. Tuuletusvälin merkitys tiili-villa-tiilirakenteissa US202 ja US203 käy hyvin ilmi, tuulettumattomassa seinässä näytteistä 30,5 % osoittaa mikrobikasvun ja tuulettuvassa 22,2 %.

**Taulukko 10.** Tietokannan näyteaineiston 10 yleisimmän rakenteen mikrobinäytteiden tulosjakaumat.

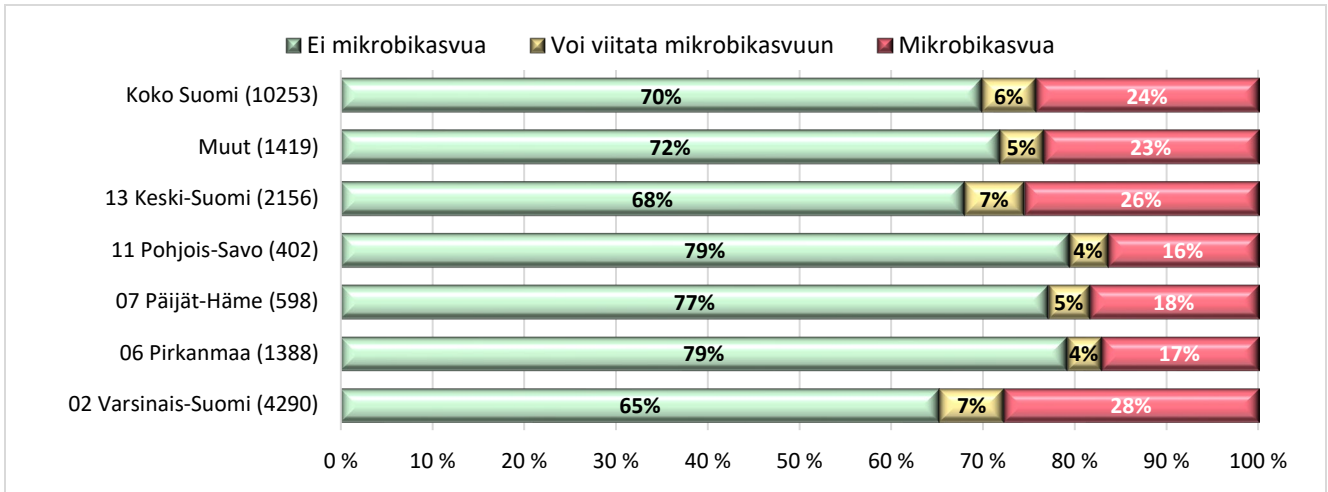
Koodi	Rakennekuvaus	Tulkinta 1 (kpl)			Yhteensä	Tulkinta 1 (%)		
		0	1	2		0	1	2
US803	Sisäpuolelta eristetty maanvastainen ulkoseinä	162	23	103	288	56,3 %	8,0 %	35,8 %
PE201	Perusmuuriperustus, sokkelihalkaisu+valesokkeli	301	44	170	515	58,4 %	8,5 %	33,0 %
US901	Ikkunoiden tilke-eristeet	154	7	72	233	66,1 %	3,0 %	30,9 %
US203	Tuulettumaton, mineraalivillaeristeinen tiiliulkoseinä	364	50	182	596	61,1 %	8,4 %	30,5 %
US104	Betonisisäkuori-lämmöneriste-julkisivumateriaali	182	26	82	290	62,8 %	9,0 %	28,3 %
US202	Tuulettuva, mineraalivillaeristeinen tiiliulkoseinä	128	16	41	185	69,2 %	8,6 %	22,2 %
VP104	Alalaattapalkisto+täyte-ylälaatta (muottilaudat)	232	12	62	306	75,8 %	3,9 %	20,3 %
YP50	Puurunkoinen yläpohja	267	10	66	343	77,8 %	2,9 %	19,2 %
US502	Nykyaikainen tuulettuva puurunkoinen ulkoseinä	326	21	64	411	79,3 %	5,1 %	15,6 %
US103	Betoni-sandwich -elementti	588	27	97	712	82,6 %	3,8 %	13,6 %

Tarkempi rakennekohtainen analyysi on tarkoitus esittää vuoden 2025 Rakennusfysiikkaseminaarissa.

### 4.3.7 Mikrobinäytteiden tulosjakaumat maakunnittain

Kuten luvun alussa todettiin, on materiaalinäytteitä tietokannassa kaikkiaan 15 maakunnasta, joskin 86 % näytteistä on viiden maakunnan alueelta (Kuva 20). Tarkasteltaessa mikrobinäytteiden tulosjakaumia maakunnittain (Kuva 34) havaitaan mikrobikasvun osoittavien näytteiden osuuden olevan muuta maata pienempi Pohjois-Savossa, Päijät-Hämeessä ja Pirkanmaalla (16–18 %). Suhteellisesti eniten mikrobikasvun osoittavia näytteitä havaittiin Varsinais-Suomessa (28 %). Ero esimerkiksi Varsinais-Suomen ja Pirkanmaan välillä on tilastollisesti

merkitsevä (khiin neliö,  $\chi^2(2) = 94,21$ ,  $p < 0,01$ ). Kappaleiden 4.3.3–4.3.5 perusteella ero ei selity tutkittujen rakennusten ikäjakaumalla, käyttötarkoituksella eikä rakennusosilla tai materiaaleilla, joista näytteet on otettu. Mallirakenteittain selkeä ero on vain rakenteen PE201 (paikalla valettu perusmuuri ja sokkelihalkaisu, myös va-lesokkelirakenne) selvästi suuremmalla osuudella Pirkanmaalla ja Pohjois-Savossa, jossa myös ulkoseinärakenne US502 oli yliedustettuna. Rakenteen PE201 vaurioaste on kuitenkin selvästi keskimääräistä korkeampi, joten sekään ei selitä kasvua osoittavien näytteiden pientä osuutta Pirkanmaalla. Pohjois-Savon tulosjakaumaan sen sijaan rakenteella US502 on suuri merkitys.



**Kuva 34.** Tietokannan mikrobinäytteiden tulosjakaumat maakunnittain, suluissa näytemäärät.

Hankkeessa näytteitä analysoitiin eri laboratorioissa, joiden toimipisteiden sijainnit ovat vaikuttaneet luonnollisesti siihen, missä laboratorioissa eri maakunnista otettuja näytteitä on analysoitu. Näin ollen edellä havaitut erot voisivat johtua myös käytetyistä laboratorioista, mikäli näiden analyysituloksissa olisi systemaattisia eroja. Analysoitaessa tietokannan näyteaineistoa laboratorioittain olivat erot kuitenkin pienempiä kuin maakunnittain. Mikrobianalyysien osalta laboratoriot ovat pitkään osallistuneet eri vertailututkimuksiin, jotka kontrolloituine näytteineen ovat tämän hankkeen tuloksia luotettavampia laboratorioden välisten mahdollisten erojen havaitsemisessa.

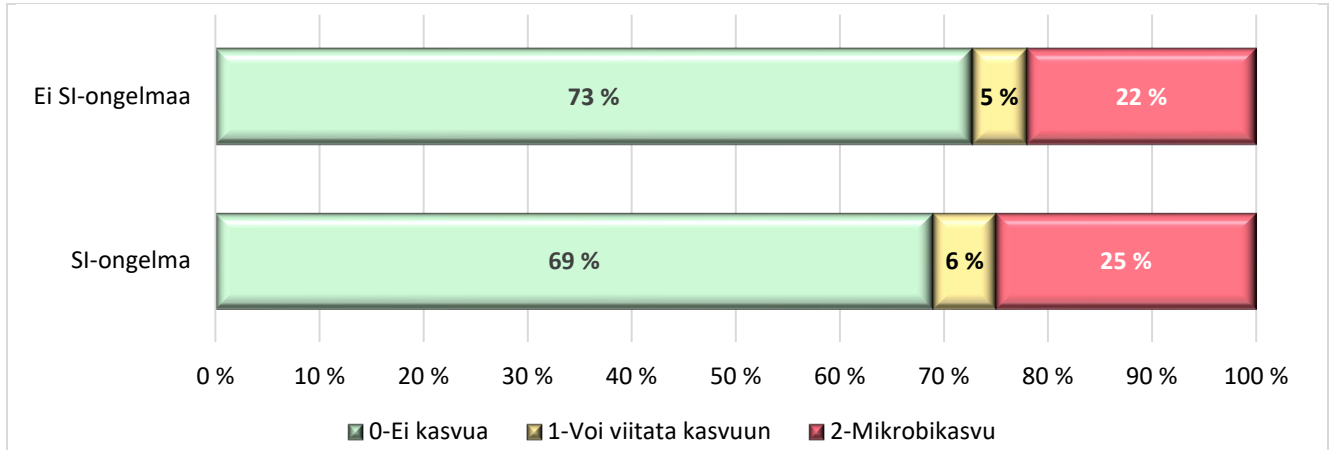
### 4.3.8 Mikrobinäytteet sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa

#### Mikrobinäytteiden tulosjakaumat koko aineistossa ja kuntotutkituissa kohteissa

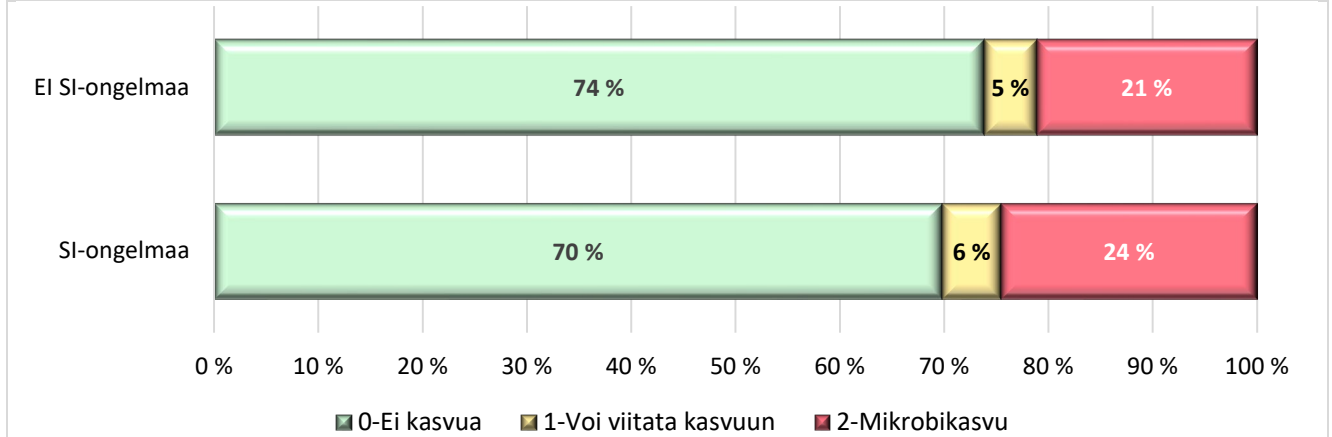
Kappaleessa 3.2.1 todettiin, ettei kuntotutkimuksiin havaittujen merkittävien kosteus- ja mikrobivaurioiden esiintymisessä ollut (tilastollisesti merkitseviä) eroja sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa. Ero on pieni myös yksittäisten näytteiden tulosjakaumissa (Kuva 35). Tilastollisessa tarkastelussa sisäilmaongelmaisten rakennusten näytteiden ( $n = 7165$ ) ja ongelmattomien rakennusten näytteiden ( $n = 2285$ ) tulosjakaumissa havaitaan kuitenkin merkitsevä ero (khiin neliö,  $\chi^2(2) = 11,46$ ,  $p = 0,003 < 0,01$ ).

Laajoissa kuntotutkimuksissa materiaalinäytteitä kerättiin keskimäärin suunnilleen yhtä paljon sisäilmaongelma-kohteissa (15,9) kuin vertailukohteissakin (16,7). Näissä ongelmarakennusten näytteiden ( $n = 4877$ ) ja vertailukohteiden näytteiden ( $n = 2030$ ) tulosjakaumissa havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevä ero (khiin neliö,  $\chi^2(2) = 21,88$ ,  $p = 1,78 \cdot 10^{-5} < 0,001$ ). Eroa on havainnollistettu kuvassa 36. Lähes puolessa (49 %) vertailukohteista, joissa näytteitä otettiin vähintään 10 kpl, mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuus kaikista näytteistä oli alle 15 %. Ongelmakohteista vain alle kolmasosassa (28 %) näytteiden vaurioaste jäi alle 15 %.

Havaittujen erojen merkityksen selvittämiseksi tarkistettiin vielä, selittyisikö ero muilla ongelma- ja vertailukohteita erottavilla tekijöillä, kuten kohteiden ikäjakaumalla, näytemateriaalien osuuksilla tai rakennusosakohtaisten näyteosuuksien eroilla.

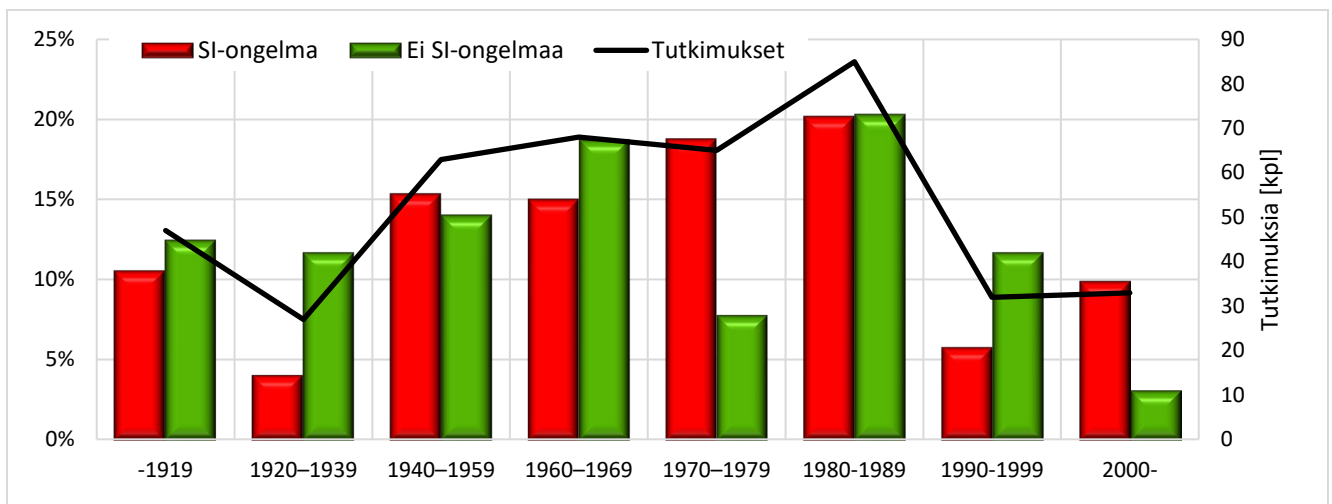


**Kuva 35.** Yksittäisten mikrobinäytteiden tulosjakaumat kaikissa sisäilmaongelma- (n = 7165) ja vertailukohteissa (n = 2285).



**Kuva 36.** Yksittäisten mikrobinäytteiden tulosjakaumat kaikkien tietokannan laajasti kuntotutkituissa sisäilmaongelma- (n = 4877) ja vertailukohteissa (n = 2030).

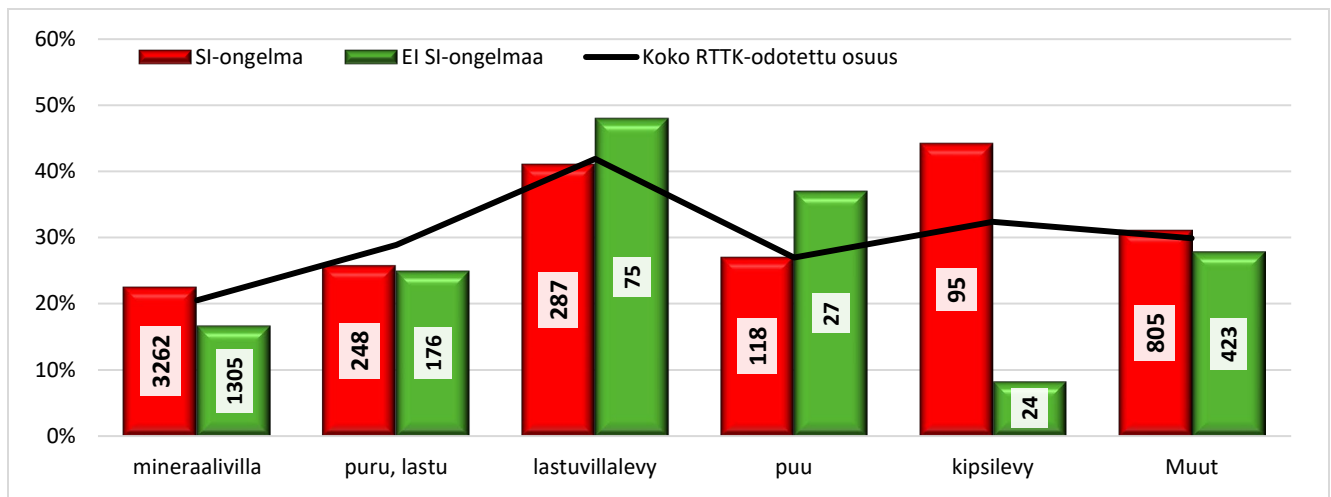
Ongelma- ja vertailukohteiden ikäjakaumissa todettiin olevan eroja (Kuva 37). Vertailurakennuksia on suhteellisesti enemmän 1920–1930-, 1960- ja 1990- luvuilta, ongelmakohteita puolestaan 1970- ja 2000- luvulta. Havaittu tilastollisesti merkitsevä ero ei kuitenkaan selity näillä eroilla kohteiden ikäjakaumissa. Painotettaessa erikseen tietynä ajanjaksona rakennettujen kuntotutkittujen ongelma- ja vertailukohteiden lukumääriä tämän jakson mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuudella kaikista näytteistä (Kuva 26), tulisi ongelmakohteissa esiintyä vähemmän mikrobikasvua (21 %) kuin vertailukohteissa (22 %). Laskenta on tehty vastaavasti kuin aikaisemmin kappaleen 4.3.4 taulukossa 5.



**Kuva 37.** Kuntotutkittujen SI-ongelma- ja vertailurakennusten rakennusten jakautuminen rakennusajankohdan perusteella

Materiaaleittain tarkasteltuna havaitaan myös eroja ongelma- ja vertailukohteiden välillä (Kuva 38), erityisesti mineraalivilla-, lastuvilla-, puu- ja kipsilevynäytteissä. Kuvassa vaurionäytteiden osuutta on verrattu materiaaleittain koko näyteaineiston perusteella laskettuun odotettuun tulokseen (musta viiva kuvassa). Kuvasta on selvästi havaittavissa, että mineraalivilla- ja kipsilevynäytteissä ongelmakohteissa mikrobikasvua esiintyy selvästi odotettua enemmän ja vertailukohteissa vähemmän. Näistä ero mineraalivillassa on tuloksen kannalta merkittävä suuren näytemäärän (näytteitä 3262 + 1305 kpl, joista vaurionäytteitä 738 + 218) vuoksi. Suurella erolla kipsilevynäytteissä on todennäköisesti yhteys kuntoarviomenetelminkin havaittaviin kosteusvaurioihin: kipsilevynäytteissä on merkittävästi muita materiaaleja enemmän sellaisia, joissa jo aistinvaraisesti havaittujen jälkien kohdalta on haluttu näyttein todentaa mikrobikasvu. Lastuvillalevyissä ja puussa mikrobikasvua esiintyi suhteellisesti enemmän vertailukohteissa, mikä selittyy vähäisillä näytemäärillä.

Mikäli materiaalikohtaiset tulokset olisivat sekä ongelma- että vertailukohteissa noudattaneet koko näyteaineiston materiaalikohtaisia tulosjakaumia, olisi näytemäärien perusteella sekä ongelma- että vertailukohteissa mikrobikasvua pitänyt esiintyä kummassakin 24,2 % näytteistä. Ongelma- ja vertailukohteiden välinen ero ei siis selity erilaisilla näytemateriaalijakaumilla.



**Kuva 38.** Mikrobikasvun osoittavien näytteiden osuudet materiaaleittain laajasti kuntotutkituissa sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa (näytemäärät merkitty kuvaan pylväiden päälle). Mustalla viivalla on esitetty koko näyteaineiston perusteella lasketut ns. odotetut tulokset.

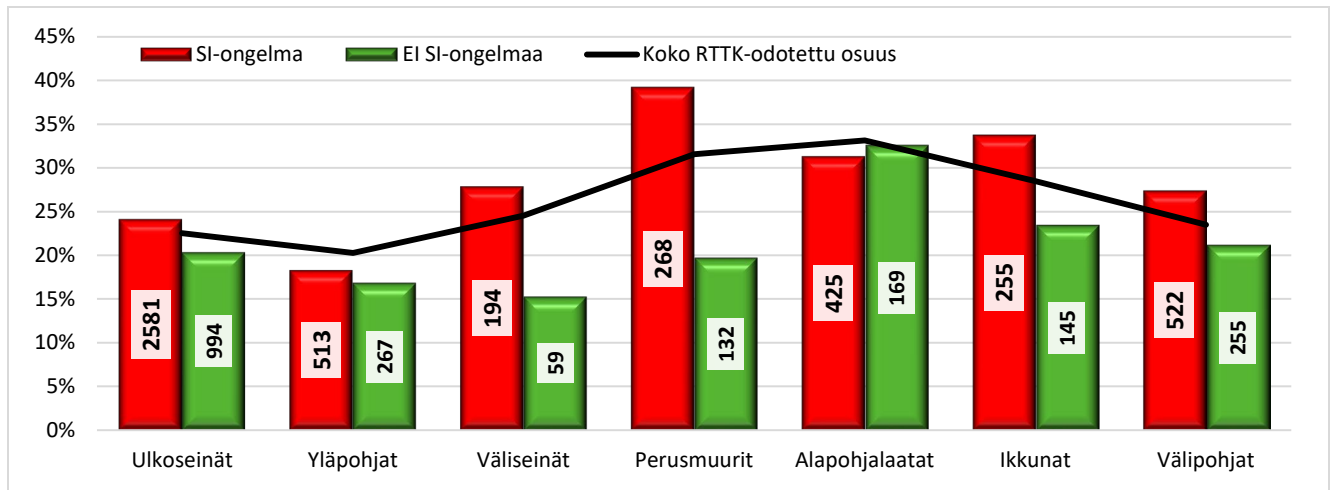
Näytemäärät materiaaleittain olivat mineraalivillanäytteitä lukuun ottamatta niin pieniä etenkin tulosten ”1–voit viitata mikrobikasvuun” osalta, että ongelma- ja vertailukohteiden tulosten tilastollista analyysia varten tulokset jaettiin kahteen luokkaan yhdistämällä luokan 1 tulokset luokkaan 0. Tällöin siis verrattiin, esiintyykö aineistossa materiaaleittain tilastollisesti merkitseviä eroja selvästi mikrobikasvun osoittavien näytteiden määrässä ongelma ja vertailukohteiden välillä. Khin neliö -menetelmällä tehdyn tarkastelun tulokset on esitetty taulukossa 11 ja niiden perusteella tilastollisesti merkitsevät erot havaittiin vain mineraalivilla- ja kipsilevynäytteissä.

**Taulukko 11.** Näytemäärät materiaaleittain kuntotutkituissa sisäilmaongelma ja vertailukohteissa sekä Khin neliömenetelmällä tehdyn tilastollisen tarkastelun tunnusluvut (vapausaste kaikissa 1).

Materiaali	n (SI-ongelma)	n (vertailu)	$\chi^2$	p-arvo	tilastollinen merkitsevyys
mineraalivilla	3262	1305	19,73	$8,9 \cdot 10^{-6} < 0,001$	<b>erittäin merkitsevä</b>
puru, lastu	248	176	0,04	$0,851 > 0,05$	ei merkitsevää eroa
lastuvillalevy	287	75	1,15	$0,283 > 0,05$	ei merkitsevää eroa
puu	118	27	1,05	$0,305 > 0,05$	ei merkitsevää eroa
kipsilevy	95	24	10,58	$0,0011 < 0,01$	<b>merkitsevä</b>

Tarkastelu eri rakennesista otettujen näytteiden vaikutuksesta tulokseen tehdään samoin kuin eri materiaalien vaikutusta arvioitaessa. Kuvasta 39 havaitaan ongelmakohteissa esiintyvän odotettua enemmän vaurioita ulko- ja väliseinissä, perusmuureissa, ikkunarakenteissa sekä välipohjissa. Mikäli rakennusosakohtaiset tulokset olisivat sekä ongelma- että vertailukohteissa noudattaneet koko näyteaineiston tulosjakaumia, olisi näytemäärien

perusteella sekä ongelma- että vertailukohteissa mikrobikasvua pitänyt esiintyä 24,2 % ja 24,3 % näytteistä, vastaavasti. Ongelma- ja vertailukohteiden välinen ero ei siis selity, sillä että näytteitä on otettu osin eri suhteissa eri rakenneosista.



**Kuva 39.** Mikrobikasvun osoittavien näytteiden osuudet rakennusosittain sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa (näyttemäärät on merkitty kuvaan pylväiden päälle). Mustalla viivalla on esitetty koko näyteaineiston perusteella lasketut ns. odotetut tulokset.

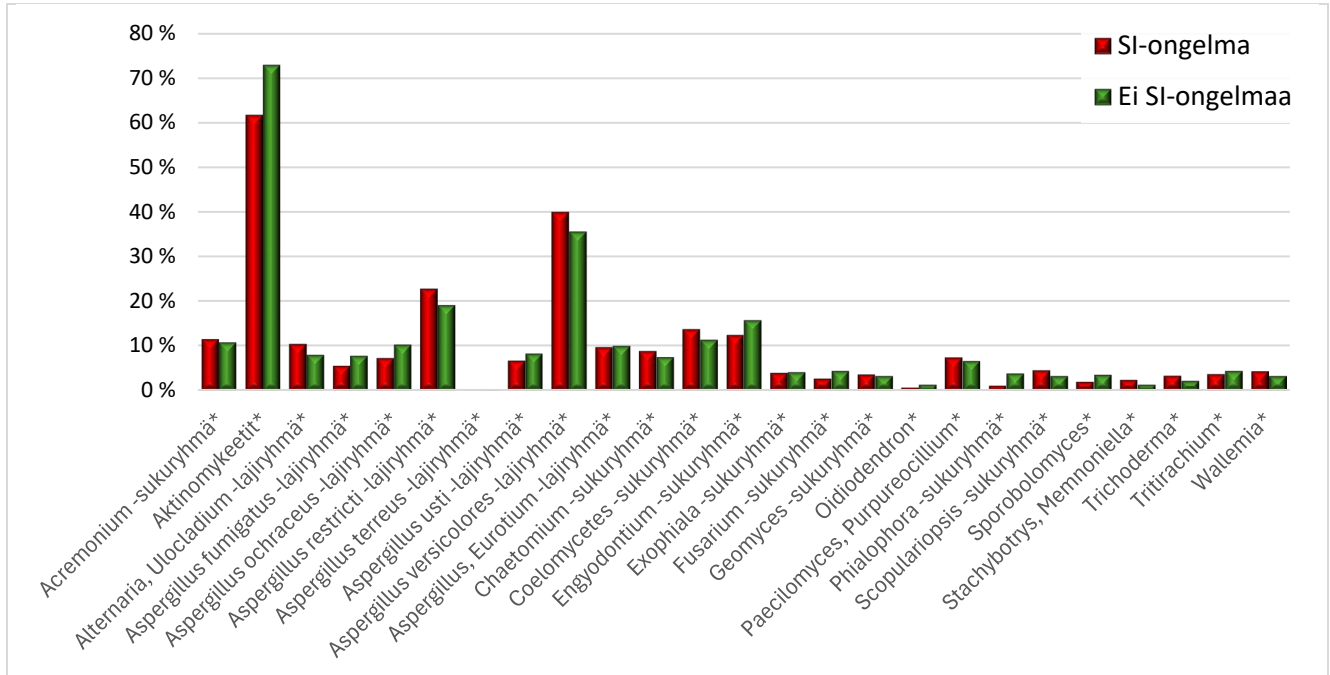
Rakennusosakohtaisesti tilastollisesti erittäin merkitsevä ero sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden välillä todettiin vain perusmuurirakenteissa. Ulkoseinissä ja ikkunoissa erot olivat tilastollisesti melkein merkitseviä (Taulukko 12).

**Taulukko 12.** Näyttemäärät rakennusosittain kuntotutkituissa sisäilmaongelma ja vertailukohteissa sekä Khin neliömenetelmällä tehdyn tilastollisen tarkastelun tunnusluvut (vapausaste kaikissa 1).

Materiaali	n (SI-ongelma)	n (vertailu)	$\chi^2$	p-arvo	tilastollinen merkitsevyys
Ulkoseinät	2581	994	5,89	0,015 > 0,05	<b>melkein merkitsevä</b>
Yläpohjat	513	267	0,26	0,611 > 0,05	ei merkitsevää eroa
Väliseinät	194	59	3,83	0,0504 > 0,05	ei merkitsevää eroa
Perusmuurit	268	132	15,24	$8,9 \cdot 10^{-6} < 0,001$	<b>erittäin merkitsevä</b>
Alapohjalaatat	425	169	0,09	0,767 > 0,05	ei merkitsevää eroa
Ikkunat	255	145	4,65	0,0311 < 0,05	<b>melkein merkitsevä</b>
Välipohjat	522	255	3,5	0,0614 > 0,05	ei merkitsevää eroa

### Vaurionäytteiden indikaattorilajit

Kappaleessa 4.3.5 havaittiin, että eri materiaalit erottuvat osin toisistaan niissä esiintyvien indikaattorilajien yleisyyden perusteella. Tarkasteltaessa indikaattorilajien esiintymistä sekä sisäilmaongelma- että vertailukohteissa, ei näiden välillä havaita merkittäviä eroja (Kuva 40). Yleisimmin esiintyvät indikaattorit ovat molemmissa Aktinomykeetit sekä *Aspergillus restricti* ja *versicolores* -lajiryhmät. Aktinomykeettejä, jotka tunnetaan yleisemmin vanhalta, virheelliseltä sädesieni-nimeltään, esiintyi aineistossa enemmän vertailurakennuksien vaurionäytteissä kuin ongelma-kohteiden.



**Kuva 40.** Kosteusvaurioindikaattorien esiintyminen sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden mikrobikasvua osoittavissa näytteissä.

### 4.3.9 Suoraviljely- ja laimennossarjanäytteet

Tietokannan näytemäärä mahdollistaa tulosten vertailun myös THL:n julkaisussa (14) raportoitujen laimennossarjanäytteiden kanssa. Taulukkoon 13 on kerätty tietokannan aineistosta näytetulokset tulosluokittain eri elatusalustoilta vastaavasti kuin julkaisun taulukoissa 5 ja 6 (esitetty taulukossa 14).

**Taulukko 13.** Tietokannan suoraviljelynäytteiden tulokset tulosluokittain eri elatusalustoilla (n = 10 253, myös Hagem alustalla 7 237).

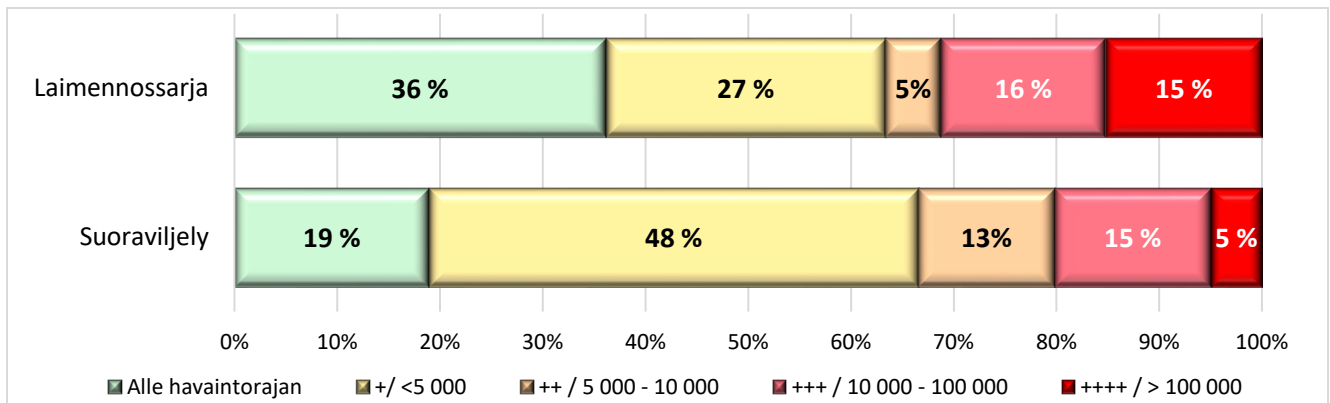
Kasvatusalusta	Aktinom. (THG)		M2		Hagem		DG18		M2/Hagem		Sienet		Yhdistetty	
Tulos	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus
-, ei mikrobikasvustoa	6969	68 %	3065	30 %	2656	37 %	2830	28 %	2585	25 %	1942	19 %	1740	17 %
+, niukasti mikrobeja	1930	19 %	4708	46 %	3070	42 %	4318	42 %	5021	49 %	4881	48 %	4642	45 %
++, kohtalaisesti mikrobeja	451	4 %	1120	11 %	635	9 %	1291	13 %	1150	11 %	1360	13 %	1385	14 %
+++ runsaasti mikrobeja	677	7 %	1053	10 %	701	10 %	1399	14 %	1150	11 %	1562	15 %	1828	18 %
++++, erittäin runsaasti mikrobeja	226	2 %	307	3 %	175	2 %	415	4 %	347	3 %	508	5 %	658	6 %
<b>Yhteensä</b>	<b>10253</b>	<b>100 %</b>	<b>10253</b>	<b>100 %</b>	<b>7237</b>	<b>100 %</b>	<b>10253</b>	<b>100 %</b>	<b>10253</b>	<b>100 %</b>	<b>10253</b>	<b>100 %</b>	<b>10253</b>	<b>100 %</b>

**Taulukko 14.** Julkaisun (14) laimennossarjanäytteiden tulokset tulosluokittain eri elatusalustoilla Työterveyslaitoksen aineiston osalta (n = 7 414).

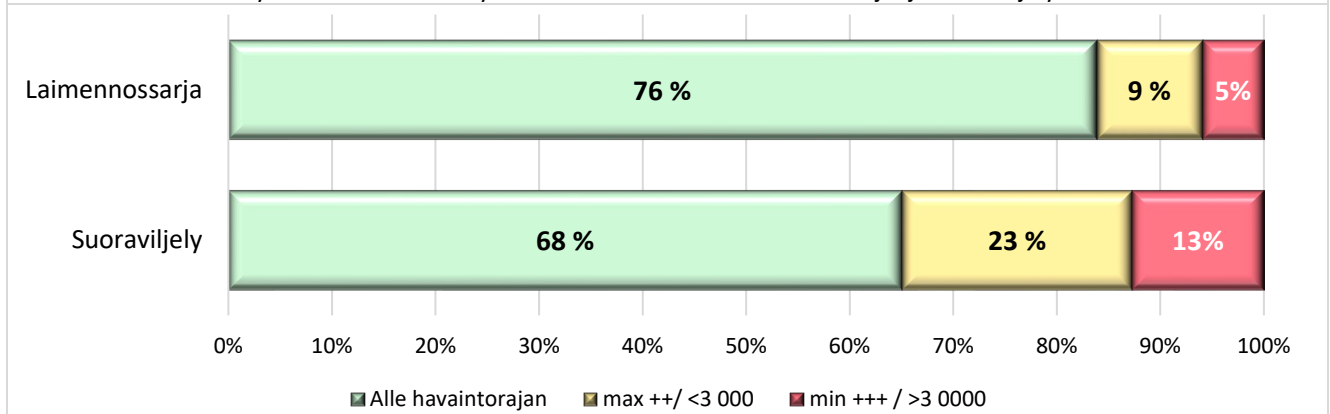
Kasvatusalusta	M2/Hagem		DG18		Sienet		Aktinom. (THG)		
Tulos [pmy/g]	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	n [kpl]	Osuus	Tulos [pmy/g]	n [kpl]	Osuus
alle havaintorajan	3567	48,1 %	3002	40,5 %	2678	36,1 %	alle havaintorajan	5652	76,2 %
< 5000	1772	23,9 %	1770	23,9 %	2020	27,2 %			
5000-10000	325	4,4 %	400	5,4 %	401	5,4 %	< 3000	687	9,3 %
10000-100000	872	11,8 %	1188	16,0 %	1188	16,0 %	≥ 3000	1075	14,5 %
>100000	878	11,8 %	1054	14,2 %	1127	15,2 %			
<b>Yhteensä</b>	<b>7414</b>	<b>100 %</b>	<b>7414</b>	<b>100 %</b>	<b>7414</b>	<b>100 %</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>7414</b>	<b>100 %</b>

Aineistojen erot tulevat selkeämmin esiin kuvissa 41 ja 42. Sekä sienissä että aktinomykeeteissä laimennossarjamenetelmällä saadaan suhteessa enemmän sekä alle havaintorajan jääviä tuloksia että suuria pitoisuuksia (> 10 000 pmy/g) kuin suoraviljelymenetelmällä. Koska laimennossarja-aineiston näytteistä ei ollut tarkempia tietoja, ei voitu suoraan päätellä, johtuivatko havaitut tulosjakaumien erot pääosin menetelmästä vai aineistojen eroista esim. näytemateriaaleissa.





**Kuva 41.** Sienten esiintyminen materiaalinäytteissä tuloluokittain laimennossarja- ja suoraviljelymenetelmillä.



**Kuva 42.** Aktinomykeettien esiintyminen materiaalinäytteissä tuloluokittain laimennossarja- ja suoraviljelymenetelmillä.

Eri menetelmillä näytteissä esiintyvien lajitojen vertailemiseksi taulukkoon 15 on kerätty THL julkaisun taulukoita 7 ja 8 vastaavat tiedot. Kuhunkin tuloluokkaan on niiden mikrobien esiintyvyydet, joiden pitoisuus on sama kuin näytteen suurin pitoisuus. Eli mikäli näytteessä suurin yksittäisen mikrobin tulos on esimerkiksi ++, kirjataan kyseiseltä näytteeltä niiden mikrobien esiintymät, joiden tulos on juuri ++. Tällöin esiintymiä tuloksella + ei näistä näytteistä kirjata lainkaan.

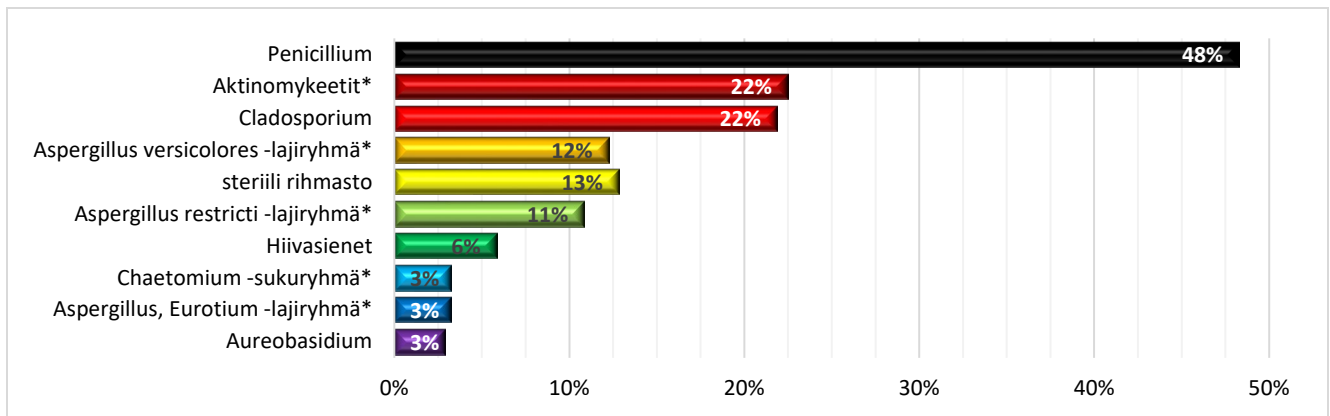
Tietokannan näytteissä yleisimmät mikrobit olivat *Penicillium*, aktinomykeetit ja *Cladosporium*. Aktinomykeettien lisäksi indikaattorilajeista yleisimmin esiintyi *Aspergillus (A.) versicolores* ja *A. restricti* -lajiryhmiä sekä tuloluokassa + myös *Chaetomium* -sukuryhmää ja *A. Eurotium* -lajiryhmää. Vähintään kohtalaisina (++) pitoisuuksina esiintyi merkittävässä määrässä vain 5–6 mikrobia.

Suoraviljely- ja laimennossarjanäytteiden erojen havainnollistamiseksi on molempien aineistojen 10 yleisimmän mikrobin esiintyvyydet kaikissa näytteissä esitetty kuvissa 43 ja 44 ja näiden mikrobikasvua osoittavissa näytteissä kuvissa 45 ja 46. Erot menetelmien välillä jäivät pieniksi. Yleisimmin esiintyvät mikrobit olivat molemmilla menetelmillä *Penicillium* ja aktinomykeetit, joista aktinomykeettien osuus kasvoi mikrobikasvua osoittavissa suoraviljelynäytteissä selvästi laimennossarjanäytteitä suuremmaksi. *Cladosporiumia* esiintyi hieman yleisemmin suoraviljelynäytteissä, *A. versicolores* ja *A. restricti* -lajiryhmiä useammin laimennossarjanäytteissä.

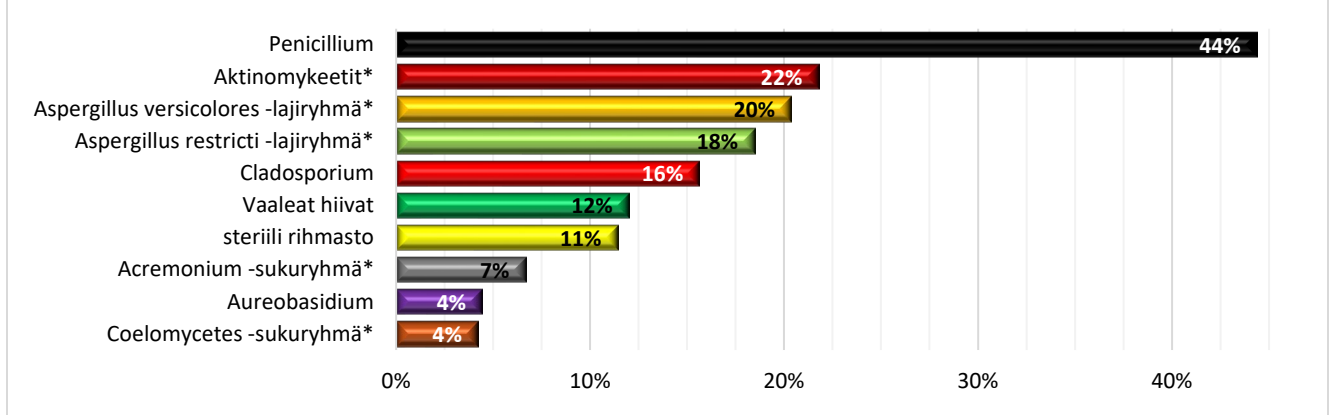
Molemmilla menetelmillä steriiliä rihmastoa havaittiin 11 % näytteistä, mutta laimennossarjan tuloksissa vaa-leita hiivoja 12 %, kun suoraviljelynäytteissä kaikkia hiivasieniä vain 5 %. Laimennossarjaviljelyssä melko yleisiä indikaattorilajeja olivat myös *Acremonium* ja *Coelomyces* -sukuryhmit, joita suoraviljelynäytteissä havaittiin selvästi harvemmin. Suoraviljelynäytteissä kymmenen yleisimmän mikrobilajin joukkoon vaurionäytetarkaste-lussa nousivat indikaattorilajeista *Engyodontium* (2 %) ja *Alternaria, Ulocladium* -lajiryhmit (1 %).

**Taulukko 15.** Tietokannan suoraviljelynäytteiden mikrobin esiintyvyydet tulosluokittain esitettynä vastaavasti kuin THL raportin (14) taulukoissa 7 ja 8 laimennossarjamenetelmällä analysoitujen näytteiden osalta.

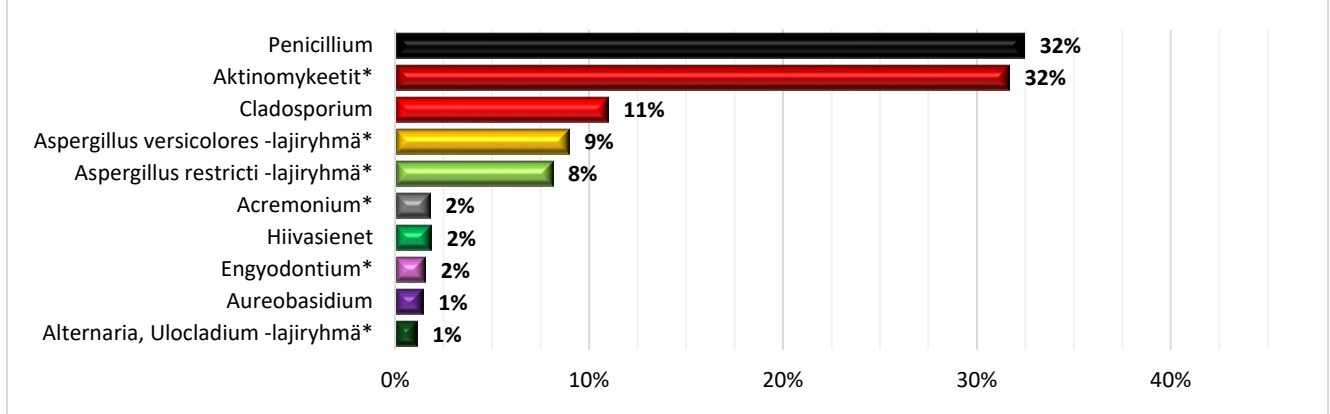
Näytteen suurin yks. mikrobitulos	+, niukasti mikrobeja			++, kohtalaisesti			+++, runsaasti			++++, erittäin runsaasti			Koko aineisto	
	Esiintyvyys	Osuus	Osuus	Esiintyvyys	Osuus	Osuus	Esiintyvyys	Osuus	Osuus	Esiintyvyys	Osuus	Osuus	Esiintyvyys	Osuus
n [kpl]	Osuus	Osuus	n [kpl]	Osuus	Osuus	n [kpl]	Osuus	Osuus	n [kpl]	Osuus	Osuus	n [kpl]	Osuus	
Näytemäärä	4941	100 %	48 %	1348	100 %	13 %	1653	100 %	16 %	579	100 %	6 %	10253	100 %
<i>Penicillium</i>	3525	71,3 %	34,4 %	586	43,5 %	5,7 %	578	35,0 %	5,6 %	262	45,3 %	2,6 %	4951	48,3 %
<i>Aktinomykeetit*</i>	1179	23,9 %	11,5 %	307	22,8 %	3,0 %	594	35,9 %	5,8 %	226	39,0 %	2,2 %	2306	22,5 %
<i>Cladosporium</i>	1774	35,9 %	17,3 %	184	13,6 %	1,8 %	233	14,1 %	2,3 %	51	8,8 %	0,5 %	2242	21,9 %
<i>Aspergillus versicolores</i> -lajiryhmä*	900	18,2 %	8,8 %	124	9,2 %	1,2 %	169	10,2 %	1,6 %	63	10,9 %	0,6 %	1256	12,3 %
steriili rihma	1252	25,3 %	12,2 %	34	2,5 %	0,3 %	24	1,5 %	0,2 %	5	0,9 %	0,0 %	1315	12,8 %
<i>Aspergillus restricti</i> -lajiryhmä*	697	14,1 %	6,8 %	205	15,2 %	2,0 %	192	11,6 %	1,9 %	18	3,1 %	0,2 %	1112	10,8 %
<i>Hiivasienet</i>	513	10,4 %	5,0 %	37	2,7 %	0,4 %	38	2,3 %	0,4 %	10	1,7 %	0,1 %	598	5,8 %
<i>Chaetomium</i> -sukuryhmä*	307	6,2 %	3,0 %	11	0,8 %	0,1 %	6	0,4 %	0,1 %	6	1,0 %	0,1 %	330	3,2 %
<i>Aspergillus, Eurotium</i> -lajiryhmä*	308	6,2 %	3,0 %	15	1,1 %	0,1 %	4	0,2 %	0,0 %	3	0,5 %	0,0 %	330	3,2 %
<i>Aureobasidium</i>	240	4,9 %	2,3 %	18	1,3 %	0,2 %	23	1,4 %	0,2 %	14	2,4 %	0,1 %	295	2,9 %
<i>Paecilomyces, Purpureocillium*</i>	282	5,7 %	2,8 %	11	0,8 %	0,1 %	7	0,4 %	0,1 %	5	0,9 %	0,0 %	305	3,0 %
<i>Aspergillus fumigatus</i> -lajiryhmä*	256	5,2 %	2,5 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	256	2,5 %
<i>Acremonium</i> -sukuryhmä*	154	3,1 %	1,5 %	18	1,3 %	0,2 %	31	1,9 %	0,3 %	15	2,6 %	0,1 %	218	2,1 %
<i>Coelomyces</i> -sukuryhmä*	182	3,7 %	1,8 %	12	0,9 %	0,1 %	20	1,2 %	0,2 %	9	1,6 %	0,1 %	223	2,2 %
<i>Engyodontium</i> -sukuryhmä*	129	2,6 %	1,3 %	22	1,6 %	0,2 %	37	2,2 %	0,4 %	3	0,5 %	0,0 %	191	1,9 %
<i>Aspergillus sp.</i>	169	3,4 %	1,6 %	4	0,3 %	0,0 %	7	0,4 %	0,1 %	8	1,4 %	0,1 %	188	1,8 %
<i>Alternaria, Ulocladium</i> -lajiryhmä*	118	2,4 %	1,2 %	7	0,5 %	0,1 %	15	0,9 %	0,1 %	14	2,4 %	0,1 %	154	1,5 %
<i>Aspergillus usti</i> -lajiryhmä*	133	2,7 %	1,3 %	9	0,7 %	0,1 %	7	0,4 %	0,1 %	2	0,3 %	0,0 %	151	1,5 %
<i>Aspergillus nigri</i> -lajiryhmä	140	2,8 %	1,4 %	1	0,1 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	1	0,2 %	0,0 %	143	1,4 %
<i>Alternaria</i>	116	2,3 %	1,1 %	4	0,3 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	1	0,2 %	0,0 %	121	1,2 %
<i>Aspergillus ochraceus</i> -lajiryhmä*	95	1,9 %	0,9 %	8	0,6 %	0,1 %	3	0,2 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	106	1,0 %
<i>Rhizopus</i>	95	1,9 %	0,9 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	3	0,5 %	0,0 %	98	1,0 %
<i>Wallemia*</i>	55	1,1 %	0,5 %	11	0,8 %	0,1 %	12	0,7 %	0,1 %	2	0,3 %	0,0 %	80	0,8 %
<i>Geomyces</i> -sukuryhmä*	63	1,3 %	0,6 %	5	0,4 %	0,0 %	8	0,5 %	0,1 %	4	0,7 %	0,0 %	80	0,8 %
<i>Scopulariopsis</i> -sukuryhmä*	48	1,0 %	0,5 %	3	0,2 %	0,0 %	12	0,7 %	0,1 %	8	1,4 %	0,1 %	71	0,7 %
<i>Exophiala</i> -sukuryhmä*	57	1,2 %	0,6 %	6	0,4 %	0,1 %	9	0,5 %	0,1 %	1	0,2 %	0,0 %	73	0,7 %
<i>Geotrichum</i>	74	1,5 %	0,7 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	74	0,7 %
<i>Tritirachium*</i>	24	0,5 %	0,2 %	15	1,1 %	0,1 %	21	1,3 %	0,2 %	8	1,4 %	0,1 %	68	0,7 %
<i>Chrysonilia</i>	59	1,2 %	0,6 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	59	0,6 %
<i>Askomykeetti</i>	55	1,1 %	0,5 %	1	0,1 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	57	0,6 %
<i>Botrytis</i>	40	0,8 %	0,4 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	40	0,4 %
<i>Mucor</i>	45	0,9 %	0,4 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	2	0,3 %	0,0 %	48	0,5 %
<i>Fusarium</i> -sukuryhmä*	38	0,8 %	0,4 %	2	0,1 %	0,0 %	4	0,2 %	0,0 %	2	0,3 %	0,0 %	46	0,4 %
<i>Stachybotrys, Memnoniella*</i>	32	0,6 %	0,3 %	5	0,4 %	0,0 %	5	0,3 %	0,0 %	3	0,5 %	0,0 %	45	0,4 %
<i>Aspergillus flavus</i>	42	0,9 %	0,4 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	42	0,4 %
<i>homesienet</i>	32	0,6 %	0,3 %	2	0,1 %	0,0 %	2	0,1 %	0,0 %	1	0,2 %	0,0 %	37	0,4 %
<i>Arthrinium</i>	31	0,6 %	0,3 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	31	0,3 %
<i>Sporobolomyces*</i>	28	0,6 %	0,3 %	3	0,2 %	0,0 %	2	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	33	0,3 %
<i>Verticillium</i>	18	0,4 %	0,2 %	4	0,3 %	0,0 %	5	0,3 %	0,0 %	2	0,3 %	0,0 %	29	0,3 %
<i>Trichoderma*</i>	34	0,7 %	0,3 %	2	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	1	0,2 %	0,0 %	37	0,4 %
<i>Phialophora</i> -sukuryhmä*	15	0,3 %	0,1 %	5	0,4 %	0,0 %	6	0,4 %	0,1 %	1	0,2 %	0,0 %	27	0,3 %
<i>Beauveria</i>	20	0,4 %	0,2 %	0	0,0 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	21	0,2 %
<i>Blastobotrys</i>	14	0,3 %	0,1 %	4	0,3 %	0,0 %	3	0,2 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	21	0,2 %
<i>Hyalodendron</i>	18	0,4 %	0,2 %	2	0,1 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	1	0,2 %	0,0 %	22	0,2 %
<i>Torulomyces</i>	9	0,2 %	0,1 %	4	0,3 %	0,0 %	5	0,3 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	18	0,2 %
<i>Calcarisporium</i>	12	0,2 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	2	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	14	0,1 %
<i>Oidiodendron*</i>	12	0,2 %	0,1 %	2	0,1 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	15	0,1 %
<i>Sporothrix</i>	10	0,2 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	11	0,1 %
<i>Absidia</i>	9	0,2 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	2	0,3 %	0,0 %	11	0,1 %
<i>Acrodontium</i>	8	0,2 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	8	0,1 %
<i>Botryosporium</i>	9	0,2 %	0,1 %	3	0,2 %	0,0 %	3	0,2 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	15	0,1 %
<i>Chrysosporium</i>	5	0,1 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	7	0,1 %
tunnistamaton	7	0,1 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	7	0,1 %
<i>Mycotypha</i>	6	0,1 %	0,1 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	7	0,1 %
<i>Aphanocladium</i>	7	0,1 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	7	0,1 %
<i>Syncephalastrum</i>	6	0,1 %	0,1 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	6	0,1 %
<i>Tsygomykeetit</i>	5	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	1	0,1 %	0,0 %	0	0,0 %	0,0 %	6	0,1 %



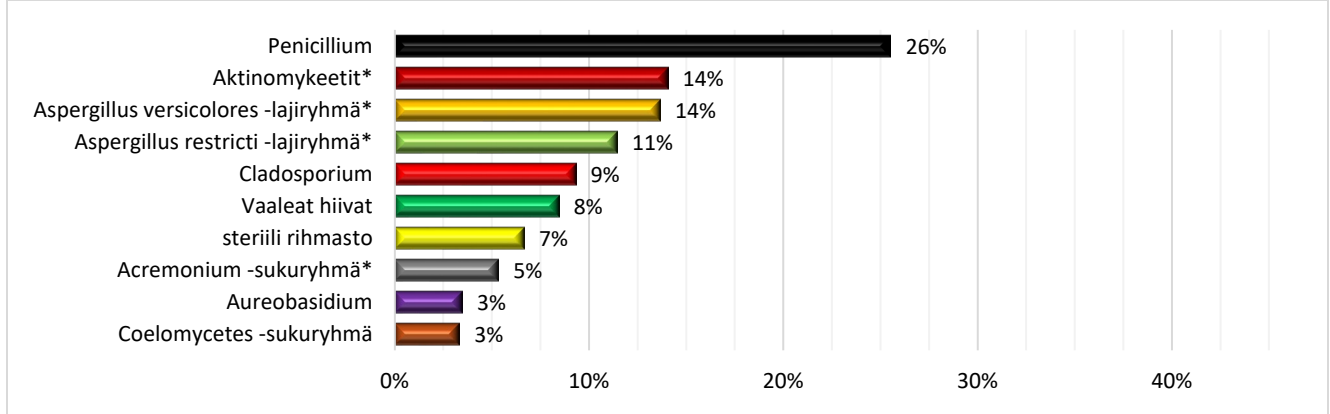
**Kuva 43.** Kymmenen yleisintä mikrobia suoraviljelynäytteissä tietokannan aineistossa.



**Kuva 44.** Kymmenen yleisintä mikrobia raportin (14) TTL-aineiston laimennossarjanäytteissä.



**Kuva 45.** Kymmenen yleisintä mikrobia tietokannan aineiston mikrobikasvua osoittavissa (+++/++++) suoraviljelynäytteissä.



**Kuva 46.** Kymmenen yleisintä mikrobia raportin (11) TTL-aineiston mikrobikasvua osoittavissa laimennossarjanäytteissä.

## 4.4 Yhteenveto

Hankkeen mikrobinäyteaineisto koostuu vuosina 2011–2024 tehtyjen kuntotutkimusten sekä tätä suppeampien tutkimusten materiaalinäytteistä. Suoraviljelymenetelmällä kaikkiaan viidessä eri laboratoriossa analysoituja näytteitä oli yhteensä 10 253 kpl, ja ne luokiteltiin sijainnin (maakunta) lisäksi rakennuksen rakennusajankohdan ja käyttötarkoituksen (4) sekä rakennusosan (Talo2000), näyttemateriaalin ja rakenteen mukaan. Näytteiden tulosjakaumia verrattiin myös erikseen sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa suoraviljelynäytteiden tulkintaohjeet ovat monitulkintaisia, minkä vuoksi ohjeistusta on pyritty tarkentamaan sekä laboratorio-oppaassa että sitä tarkentavassa Ruokaviraston uutiskirjeessä, joka ei kovin hyvin ole saavuttanut ainakaan kuntotutkijoita. Tarkennettuunkin ohjeeseen liittyy kuitenkin epä johdonmukaisuutta, minkä vuoksi näytetulos voi muuttua yksittäisen pesäkkeen vaikutuksesta vauriottomasta vaurioituneeksi. Verrattaessa kolmea eri soveltamisohjeen mahdollistamaa tulkintaa, todettiin eri tulkintojen muuttavan mikrobikasvuun mahdollisesti viittaavien tulosten osuutta näyteaineistossa jopa 6 %-yksikköä. Muissa hankkeen mikrobianalyyseissä käytettiin kuitenkin Ruokaviraston tarkentamaa laboratorion tulkintaa. Soveltamisohjeessa aiempaan vaatimukseen lisätyn Hagem-alustan käytön M2-alustan rinnalla todettiin vaikuttavan alle 1 % näytetuloksista. Tuloksen perusteella tulisi harkita neljännen alustan tarpeellisuutta, koska sen poisjättäminen säästäisi kustannuksia vaikuttamatta merkittävästi tuloksiin.

Verrattaessa näytteiden tulosjakaumia sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa havaittiin niissä tilastollisesti merkitseviä eroja. Erot eivät selity kohteiden lievästi erilaisilla ikä-, materiaali- ja rakennusosakohtaisilla jakaumilla, vaikka näillä todettiin olevan vaikutusta tuloksiin. Tilastollisessa analyysissä todettiin mineraalivilla- ja kipsilevynäytteissä sekä sokkelihalkaisuista ja valesokkeleista otetuissa näytteistä tilastollisesti merkitsevästi enemmän mikrobikasvua sisäilmaongelma- kuin vertailukohteissa. Näiden lisäksi erityisesti rakennuksen ikä korreloi selvästi mikrobikasvua osoittavien näytteiden osuuteen sekä ongelma- että vertailukohteissa. Mikrobilajistoissa ei havaittu selkeitä eroja ongelma- ja vertailukohteiden välillä. Yli kahdessa kolmasosassa (72 %) ongelmakohteista ja noin puolessa (51 %) vertailukohteista mikrobimateriaalinäytteistä yli 15 % osoitti mikrobikasvua.

Verrattaessa tietokannan suoraviljelyaineistoa THL:n julkaisemaan laimennossarjanäytteiden aineistoon havaittiin, että niin sienissä kuin aktinomykeeteissä saadaan laimennossarjamenetelmällä suhteessa enemmän sekä alle havaintorajan jääviä tuloksia että suuria pitoisuuksia (> 10 000 pmy/g) kuin suoraviljelymenetelmällä. Laimennossarja-aineiston näytteistä ei ollut tarkempia tietoja, jotta eroihin vaikuttavia tekijöitä olisi voitu tarkemmin arvioida. Kummassakin menetelmässä dominoivat lajit olivat samoja ja kymmenen yleisimmän mikrobilajin välillä erot varsin vähäisiä.

## 5 Teolliset mineraalikuidut

Teollisilla mineraalikuiduilla (engl. man-made mineral fibres, MMMF) tarkoitetaan yleisesti ihmisten mineraaliraaka-aineista valmistamia kuitumaisia tuotteita, joita ovat mm. keraamiset kuidut, mineraalivillakuidut ja lasikuidut. Tässä raportissa mineraalikuiduilla tarkoitetaan Asumisterveysasetuksen (10) ja sen soveltamisohjeen (1) osan 3 mukaisesti lähinnä rakennusten sisäympäristöissä esiintyviä mineraalivillakuituja (lasi-, kivi- ja kuonavillakuituja).

Teollisia mineraalikuitujen pääasiallisina lähteinä sisäilmassa ovat mineraalivillaiset äänenvaimennusmateriaalit niin tilojen sisäpinnoilla kuin ilmanvaihtojärjestelmässä. (17; 18; 19; 20; 20) Kuituja voi kulkeutua sisätiloihin myös ilmavuotojen mukana lämmöneristeistä ja ulkoilmasta. (18; 21; 17; 20) Mineraalikuituja voi irrota materiaaleista yksittäisinä tai kimppuina joko ulkoisen voiman vaikutuksesta katkeamalla tai liimahartsin pettämissä seurauksena. Sisäilmatutkimuksissa niin ilmasta mitatut kuin pinnoille laskeutuneet kuidut ovat huomattavasti lyhyempinä kuin valmistuksessa syntyvät kuidut, mikä viittaa katkeamiseen. (22; 21; 23) Kuitujen irtoaminen materiaaleista on satunnaista ja ennustamatonta (24; 25; 26). Suomalaisessa tutkimuksessa teippinäytteiden kuituista pääosa oli halkaisijaltaan 5–10 µm. (17) Isohalkaisijaisten kuitujen esiintyminen pintapölyssä johtuu siitä, että ilmanvaihdon kyky poistaa kuituja laskee voimakkaasti halkaisijan kasvaessa välille 5–10 µm. (20)

Kuitujen laskeutuminen pinnoille on satunnaista, harvinaista ja toisistaan riippumatonta, jolloin yksittäisille näytteelle saatavien kuitujen määrä noudattaa ainakin karkeasti epäsymmetristä Poissonin jakaumaa (Ks. Liite 1). Kuidut ovat jakautuneet tilaan epätasaisesti ja tilojen käyttö sekä turbulenssit ilmavirtauksissa voivat vaikuttaa paikallisiin pitoisuuksiin. (26; 20) Erityisesti, jos kuitulähteet ovat lähellä näytteenottopistettä, erittäin suuri vaihtelu on odotettavissa riippuen etäisyydestä, ilmavirtausten suunnasta ja kuitujen koosta. (26)

### 5.1 Näytteenottomenetelmä Suomessa

Kansainvälisestä käytännöstä poiketen Suomessa ei-teollisten rakennusten teollisten mineraalikuitujen sisäilmapitoisuuksia arvioidaan ilmanäytteiden (27) sijaan huonepinnoille kahden viikon aikana laskeutuneesta pölystä otettavien geeliteippinäytteiden. Kuten edellä on esitetty, menetelmän käyttö perustuu siihen, että laskeutuneessa pölyssä on sisäilmaa paremmin edustettuna ärsytysoireiden kannalta merkityksellisemmät isokokoiset kuidut. (18; 22)

Asumisterveysasetuksen (10) voimaantuloon asti vuonna 2015 voimassa olleissa Asumisterveysohjeessa (28) ja -oppaassa (29) ei ole mainintaa geeliteippimenetelmästä. Tutkimusmenetelmäksi esitettiin viikon laskeumaa mikroskoopin rasvatuille lasilevyille, jolta kuidut lasketaan optisella mikroskoopilla. Asumisterveysohjeesta poiketen Työterveyslaitoksen aloitteesta sekä tutkimusten (17; 30) suosituksesta teippinäytteet otettiin käyttöön vähitellen vuodesta 2007 alkaen. Näytteet kerättiin aluksi suoraan huonepinnoilta tai sinne erikseen tuoduilta laskeuma-alustoilta ja laskeuma-aika oli aluksi noin 2 viikkoa. Näytteiltä laskettiin kuidut, joiden pituus oli vähintään 20 µm.

Työterveyslaitoksen näytteenotto-ohjeistuksen muutoksen myötä marraskuusta 2012 alkaen siirryttiin vähitellen käyttämään laskeuma-alustoina muovisia petrimaljojen kansia. Menetelmä vakiintui käyttöön ja virallistettiin ohjeistamatta toimenpiderajan asettamisella vuoden 2015 Asumisterveysasetuksessa. Toimenpiderajaksi määritettiin jo vuonna 2001 alustavasti viitteessä (24) ehdotettu 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>.

Vuoden 2020 kuitukatsauksen (18) suosituksesta Asumisterveysasetuksen soveltamisohjetta päivitettiin kahden otteeseen joulukuussa 2020 ja maaliskuussa 2021. Päivityksessä ohjeistettiin vällinneestä käytännöstä poiketen keräämään tutkittavaa tilaa kohden vähintään 3 näytettä suoraan huonepinnoilta. Lisäksi kuitujen laskentakriteereiksi asetettiin vähintään 3 µm halkaisija ( $D \geq 3 \mu\text{m}$ ) ja pituuden suhteeksi halkaisijaan vähintään 3 ( $L:D \geq 3:1$ ). Tulkinta tuli tehdä tilakohtaisten keskiarvojen perusteella mittausepävarmuus tuloksesta vähentäen. Toimenpiderajaa ei muutettu.

ISO-standardin (26) mukaan pinnoilta kerättävin näyttein saadaan yleisesti liian pieniä arvoja ja epätasaisen jakautumisen vuoksi siinä suositellaan ottamaan ensisijaisesti useita satunnaisia näytteitä kuin pyrkiä samaan

mahdollisimman suurta tarkkuutta yksittäiseen näytteeseen. Standardin mukaan usean näytteen keskiarvon määrittäminen soveltuu vain kahden homogeenisen pinnan keskinäiseen vertailuun. Koska kuitujen määrä pintapölyssä noudattaa karkeasti Poissonin jakaumaa, vääristää yksittäisten näytteiden keskiarvo tulosta merkittävästi. Jakauma vaikuttaa myös merkittävästi mittausepävarmuuden määrittämiseen (Liite 1).

Tämän hankkeen välituloksena Sisäilmastoseminaarissa 2024 esitettyjen havaintojen perusteella Soveltamisohjeesta poistettiin keväällä 2024 vaatimus tulkita näytteet tilakohtaisten keskiarvojen perusteella mittausepävarmuus huomioiden.

IV-järjestelmän näytteiden ohjearvona on käytetty vaihtelevin tavoin Työterveyslaitoksen palveluaineistonsa keskimääräiseksi esittämää pitoisuutta 10–30 kuitua/cm<sup>2</sup>.

## 5.2 Näytetulosten tulkinta

Asumisterveysasetuksessa (10) on annettu teollisille mineraalikuiduille toimenpideraja. Lisäksi määrätään mittausepävarmuuden huomioimisesta. Asetuksessa ei kuitenkaan ole tarkemmin määritelty, mitä ko. kuiduilla tarkoitetaan ja miten mittausepävarmuus huomioidaan.

### 4 § Mittaus, näytteenotto ja analyysi (7)

Mittaus ja näytteenotto tulee tehdä **ensisijaisesti asunnon tai muun oleskelutilan tavanomaista käyttöä vastaavissa oloissa**. Mittaus- ja analyysituloksia sisältävässä lausunnossa on aina ilmoitettava käytetty mittaus-, näytteenotto- ja analysointimenetelmä sekä määrittämissä ja tulosten tulkinnassa noudatettavat periaatteet.

Toimenpiderajan ylittymistä arvioitaessa on tehtävä mittaus- tai näytteenottotapahtumaa ja jatkoanalyysiä koskeva epävarmuustarkastelu. Toimenpideraja ylittyy, jos tässä asetuksessa tarkoitettujen altisteiden numeeriset arvot ylittävät mittausepävarmuus huomioon ottaen.

### 19 § Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Teollisten mineraalikuitujen toimenpideraja kahden viikon aikana pinnoille laskeutuneessa pölyssä on 0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen (1) osassa 3 tarkennetaan asetusta viimeisimmän, keväällä 2024 tehdyn päivityksen jälkeen seuraavasti:

### 19§ Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Kahden viikon laskeuma kerätään suoraan pinnoilta, esimerkiksi työpöydän tasolta geeliteipin avulla tai imuroimalla näyte suodatinkoteloon. Tutkittavista tiloista on aina syytä ottaa useampia näytteitä. Näytemäärä riippuu huonetilan pinta-alasta, suositeltavaa on ottaa vähintään kolme näytettä. Näytteistä lasketaan valomikroskoopin avulla vähintään 100-kertaisella suurennoksella ne teolliset mineraalikuidut, joiden halkaisija on vähintään 3 µm ja pituuden suhde halkaisijaan vähintään 3:1. Määrittämissä on oltava ≤ 0,1 kuitua/cm<sup>2</sup> ja näytteenottopinta-alan vähintään 14 cm<sup>2</sup>. Määrittäminen voidaan tehdä myös pyyhkäisyelektronimikroskopiaa hyödyntäen suodatinkotelonäytteistä olettaen, että analysoidaan vastaavan kokoisia kuituja ja että saavutetaan vähintään vastaava määrittämissä [1, 2].

[1] T. Tuomi, K. Wallenius, S. Mahiout, S. Rautiola ja S. Lappalainen, "Teolliset mineraalikuidut toimistotyypisissä työtiloissa – Esiintyminen, altistuminen arviointi, terveysvaikutukset ja päästöjen hallinta", Työterveyslaitos 2020.

[2] ISO 16000-27:2014, Indoor air — Part 27: Determination of settled fibrous dust on surfaces by SEM (scanning electron microscopy) (direct method), International Standards Organisation (ISO), Geneva, Switzerland, 2014

Mineraalikuitujen määrittäminen perustuu kuitujen aistinvaraiseen tunnistukseen ja laskentaan mikroskoopin avulla, jolloin analyysiä tekevän henkilön kokemus sekä havainnointikyky vaikuttavat tulokseen. Soveltamisohjeessa ei annettu ohjeistusta eri kuiturakenteiden, kuten kuitukimppujen ja -klustereiden laskemiseen. Ohjeen päivityksen tausta-aineistoksi varsinkin valikoidusti katsauksessa (18) esitetyn ISO 16000-27 -standardin (26) ohjeistus on tarkoitettu elektronimikroskoopilla tehtävää analyysiä varten. Siinä esitettyä luokittelua ja painotuskertoimia em. mainituille kuiturakenteille ei ole soveltamisohjeessa ohjeistettu tai standardiin näiltä osin viitattu.

Soveltamisohjeen mukaan menetelmän määrittämissä tulee olla vähintään 0,1 kuitua/cm<sup>2</sup>. Geeliteipiltä (14 cm<sup>2</sup>) on luonnollisesti havaittavissa 1 kuitu (joskin tähän voi liittyä epävarmuutta: kuitu voi jäädä huomaamatta tai se voidaan laskea tulokseen, vaikka ei täyttäisi kokokriteereitä). Tätä vastaava ns. analyttinen herkkyys on

analyysin 1 kuitua vastaava pitoisuus (26), tässä siis  $1 \text{ kuitu}/14 \text{ cm}^2 = 0,07 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$ . Tätä arvoa ylöspäin, tarkkuuteen  $0,1 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$  ( $1,4 \text{ kuitua}/\text{näyte}$ ), pyöristettyä arvoa on alettu pitää menetelmän määritysrajana, johon soveltamisohjeessa epäsuorasti viitataan. Määritysraja ei kuitenkaan ole aivan näin yksinkertainen käsite ja esim. asbestikuitujen määrityksissä käytettävissä standardeissakin (26) ja (31) ne määritetään toisistaan poikkeavasti.

### 5.3 Näyteaineisto ja sen luokittelu

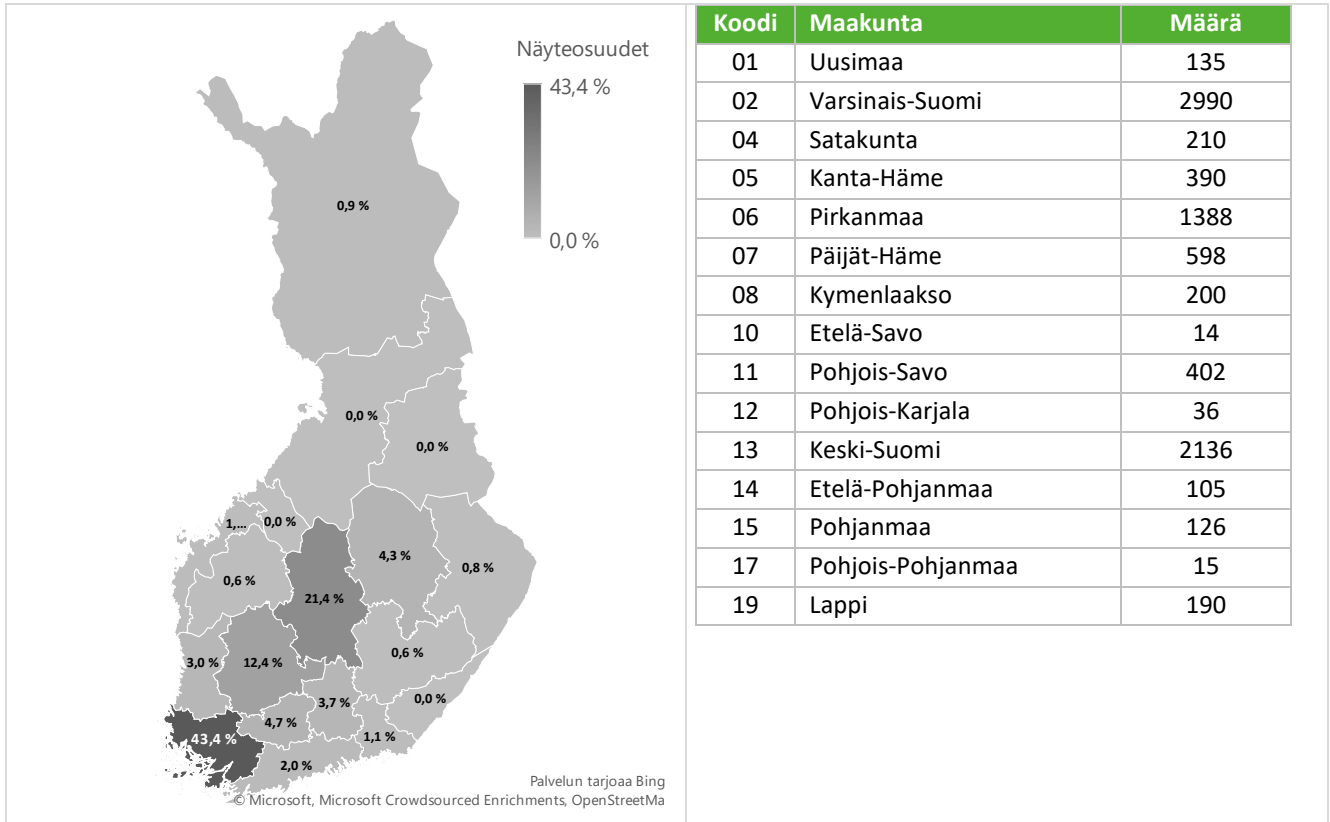
Tietokantahankkeen kuitunäyteaineisto koostuu Siraten vuosina 2011–2023 kuntotutkimuksissa sekä tätä suppeammassa tutkimuksessa otetuista kahden viikon pölylaskeumasta ja tuloilmajärjestelmästä otetuista geeliteipinäytteistä. Kaikkiaan viidessä eri laboratorioissa analysoituja näytteitä on yhteensä 6 897 kpl, joista 5 209 on analysoitu käyttäen ennen Soveltamisohjeen (1) vuoden 2021 päivityksessä esitettyä laskentakriteerien muutosta (Taulukko 16). Kuten mikrobinäytteiden osalta, aineisto on luokiteltavissa mm. kohderakennuksen sijainnin (Kuva 47), käyttötarkoituksen ja iän sekä näytteen analysoineen laboratorion mukaan.

**Taulukko 16.** Tietokantaan tallennetut 14 vrk laskeumanäytteinä ja tuloilmajärjestelmän näytteet ennen ja jälkeen Soveltamisohjeen (1) osan 3 päivityksessä 2021 tehtyä muutosta laskentakriteereissä.

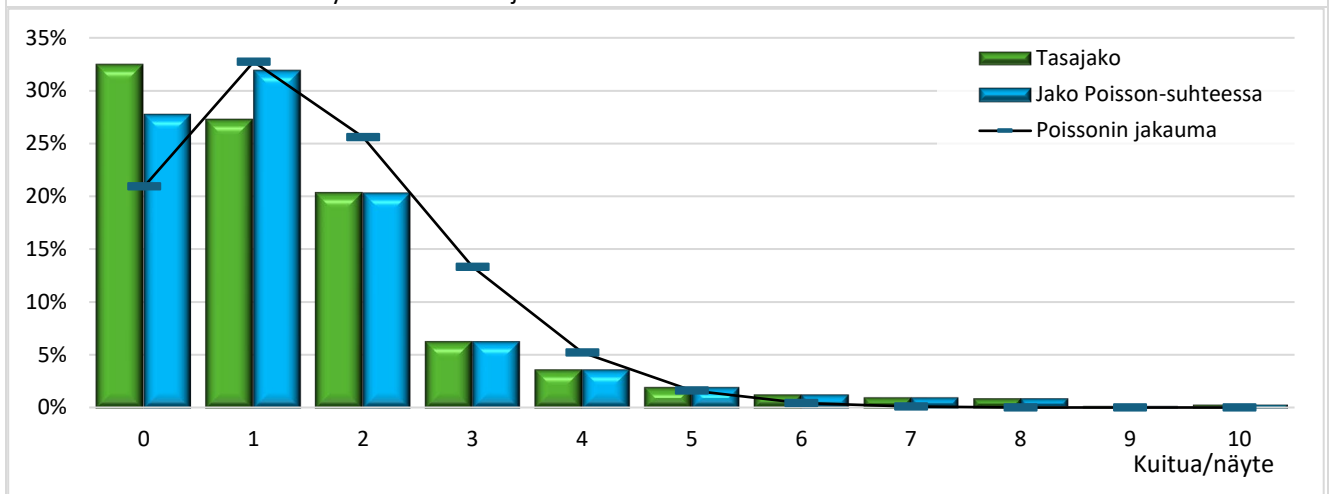
	14 vrk laskeuma		Tuloilmajärjestelmä		Yhteensä
	–2021	2021–	–2021	2021–	
Analyysivastaukset	676	94	402	70	
Näytteet	3571	1359	1638	329	6897
Rakennukset	422	77	270	61	507
Rakennuksenosat	447	77	282	61	536
Tutkimukset	588	87	359	64	761

Kahden viikon laskeumanäytteissä havaitut kuitupitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä. Sekä kuitukatsauksen (18) että tämän hankkeen aineistossa näytteiden mediaani eli keskimäinen arvo on alle  $0,1 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$  ts. yli puolet näytetuloksista jää alle määritysrajan. Tällöin yksittäiset poikkeavat tulokset vääristävät voimakkaasti näytekieskiarvoja, kuten katsauksen (18) aineiston käsittelyssä (32). Keskiarvoja laskettaessa laskeumanäytteiden tuloksista onkin hylätty selvästi tavanomaisesta poikkeavat tulokset ( $>1,0 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$ ). Vastaavasti tuloilmajärjestelmän näytteistä on hylätty yli  $100 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$  olevat tulokset (osa laboratorioista lopettaa laskennan kuitupitoisuuden ylittäessä selvästi arvon  $30 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$ ). Esimerkiksi vuoden 2017 laskeumanäytteissä ainoastaan yhden poikkeavan analyysivastauksen näytteiden poisto muutti keskiarvon pitoisuudesta  $0,61 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$  huomattavasti aineistoa paremmin kuvaavaan arvoon  $0,17 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$ .

Määritysrajana käytetyn arvon  $0,1 \text{ kuitua}/\text{cm}^2$  vuoksi merkittävässä osassa analyysivastauksia ei ole erotettu havaittuja 0 tai 1 kuitua. Tilastollisten arvojen laskemiseksi näiden näytteiden tulokset jaettiin puoliksi em. tuloksille. Tämä vääristi näitä arvoja vähemmän kuin niiden jättäminen kokonaan laskuista pois. Koska kuitulaskeuman pitäisi teoriassa noudattaa kohtuullisesti ns. Poissonin jakaumaa, kokeiltiin tulokset 0 ja 1 kuitua/näyte jakaa jakauman suhteessa. Selväksi kuitenkin tuli, ettei tulosten jakauma näin menetellenkään noudata pienillä arvoilla jakaumaa (Kuva 48), joten tasajako katsottiin perustellummaksi. Tilastollisissa testeissä (khin neliö) kyseiset tulokset luokiteltiin samaan luokkaan, joten tehdyllä jaolla ei ollut niihin vaikutusta.



Kuva 47. Tietokannan kuitunäytteiden määrät ja osuudet maakunnittain.



Kuva 48. Tietokannan kahden viikon laskeumanäytteiden kuitupitoisuudet eivät vastanneet pienillä pitoisuuksilla teoreettista Poissonin jakaumaa. Aineistossa on jakaumaan verrattuna liikaa tuloksia 0 ja 1 kuitua/näyte riippumatta siitä, jae-taanko analysivastauksissa määrittämättä jätetyt 0 ja 1-tulokset tasan (vihreä) tai Poissonin jakauman suhteessa (sininen). Poissonin jakauman on epäjatkuva, musta viiva on esitetty havainnollistukseksi.

## 5.4 Tulokset

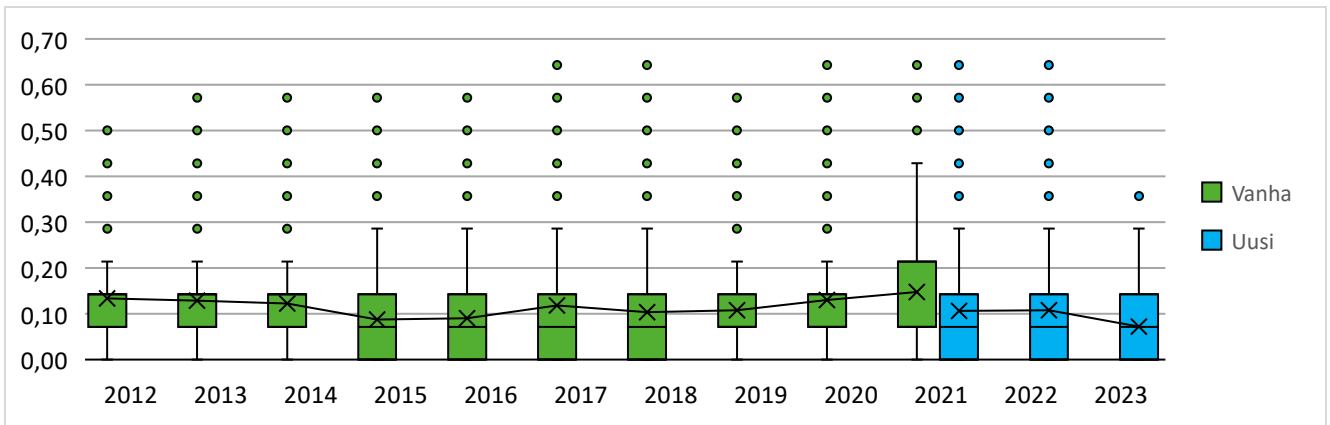
### 5.4.1 Mineraalikitujen määrät kahden viikon laskeumanäytteissä

#### Kuitupitoisuudet tietokannan aineistossa

Tietokannan kahden viikon laskeumanäytteiden vuosittaiset lukumäärät ja tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 17 eriteltyinä vanhan (2021 asti) ja uuden laskentakriteerin (2021 alkaen) näytteisiin. Taulukossa on esitetty myös tunnuslukuja laskettaessa hylättyjen poikkeavan suurten näytteiden osuudet kaikista näytteistä. Tuloksia on havainnollistettu kuvassa 49, jossa on esitetty sekä vanhalla että uudella menetelmällä otettujen



näytteiden tunnusluvut: laatikoiden ala- ja yläreunat vastaavat ala- ja yläneljänneksiä, viiva laatikon sisällä mediaania ja rasti keskiarvoa. Janan päät vastaavat pienintä ja suurinta arvoa yli 1,5 laatikon korkeuden päässä laatikon ylä- ja alareunoista ja ympyrät poikkeavia näytepisteitä.

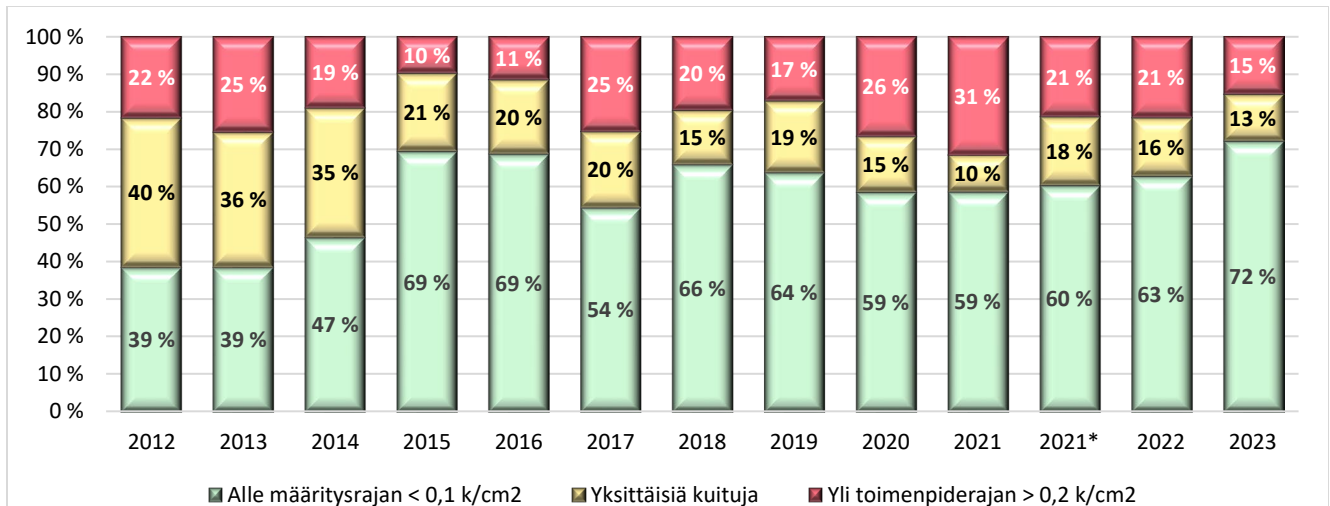


**Kuva 49.** Tietokannan kuitunäytteiden (2 viikon laskeuma) vuosittaiset tilastolliset tunnusluvut sekä vanhoiin että uusiin laskentakriteerein analysoiduista näytteistä.

**Taulukko 17.** Tietokannan kahden viikon pölylaskeumasta otettujen vuosittaiset lukumäärät, tilastolliset tunnusluvut, toimenpiderajan lukuarvon ylitysten osuudet sekä alle määrittysrajan olevien tulosten osuudet näytteistä. \*Laskentakriteerit muuttuivat v. 2021.

Vuosi	Kriteeri	Lkm	Hylätyt [%]	Keskiarvo [k/cm <sup>2</sup> ]	Mediaani [k/cm <sup>2</sup> ]	P90 [k/cm <sup>2</sup> ]	Ylitykset > 0,2 k/cm <sup>2</sup>	Alle määrittysrajan
2012	L>20 µm	88	2,3 %	0,15	0,14	0,36	21,6 %	38,6 %
2013	L>20 µm	194	3,1 %	0,15	0,14	0,29	25,3 %	38,7 %
2014	L>20 µm	286	0,7 %	0,13	0,14	0,21	18,9 %	46,5 %
2015	L>20 µm	411	0,2 %	0,09	0,07	0,14	9,7 %	69,3 %
2016	L>20 µm	332	1,5 %	0,09	0,07	0,21	11,4 %	68,7 %
2017	L>20 µm	386	7,5 %	0,13	0,07	0,36	25,1 %	54,4 %
2018	L>20 µm	610	1,8 %	0,10	0,07	0,29	19,5 %	65,9 %
2019	L>20 µm	563	2,0 %	0,11	0,07	0,29	17,1 %	63,8 %
2020	L>20 µm	493	2,2 %	0,13	0,07	0,29	26,4 %	58,6 %
2021	L>20 µm	201	5,0 %	0,13	0,07	0,41	31,3 %	58,7 %
2021*	L>3 µm, L:D>3:1	490	1,0 %	0,11	0,07	0,29	21,2 %	60,4 %
2022	L>3 µm, L:D>3:1	554	1,4 %	0,12	0,07	0,31	21,5 %	62,8 %
2023	L>3 µm, L:D>3:1	315	2,9 %	0,07	0,07	0,21	15,2 %	72,1 %
YHT	L>20 µm	3564	2,5 %	0,11	0,07	0,29	19,8 %	59,8 %
YHT	L>3 µm, L:D>3:1	1359	1,6 %	0,11	0,07	0,29	19,9 %	64,1 %
YHT	Kaikki	4923	2,2 %	0,11	0,07	0,29	19,8 %	61,0 %

Aineistossa on havaittavissa vuosittaista vaihtelua, mutta tilastollisissa suureissa ei ole tapahtunut koko ajanjaksoa tarkastellen havaittavia muutoksia: Keskiarvoissa suurimmat arvot ovat vuosilta, joilta näytteitä on vähiten. Mediaani on pysynyt vakiona vuodesta 2015 alkaen eli koko Asumisterveysasetuksen voimassaoloajan. Tarkasteltaessa toimenpiderajan numeerisen arvon (0,2 kuitua/cm<sup>2</sup>) ylittävien ja määrittysrajan (0,1 kuitua/cm<sup>2</sup>) alittavien näytteiden vuosittaisia osuuksia (Kuva 50) todetaan niissäkin vuosittaista vaihtelua, mutta selkeää trendiä vuoden 2015 jälkeen ei ole havaittavissa. Sekä ennen että jälkeen vuoden 2021 muutoksen, kuten myös koko aineistossa, toimenpiderajan numeerisen arvon ylittävien näytteiden määrä on n. 20 %.



**Kuva 50.** Toimenpiderajan numeerisen arvon ylittävien ja määritysrajan alittavien näytteiden osuudet vuosittain tietokannan kuituaineistossa. \* Vuodesta 2021 alkaen otettu uudet laskentakriteerit käyttöön kuituanalyyseissä.

### Laskentakriteerien- ja näytteenotto-ohjeiden muutosten vaikutukset

Edellä esitetystä kuituaineistosta ei ole havaittavissa merkittäviä muutoksia ennen ja jälkeen vuotta 2021, jolloin sekä laskentakriteerit muuttuivat että näytteitä tuli kerätä petrimaljojen sijaan suoraan huonepinnoilta. Kahden riippumattoman otoksen t-testin perusteella näytteenotto- ja laskentamenetelmien muutos ei ole aiheuttanut merkitsevää eroa tuloksiin,  $t(4634) = 1,769$ ;  $p = 0,078$ ; 2-suuntainen.

### Kuitupitoisuudet Työterveyslaitoksen kuitukatsauksen aineistossa

Katsauksen (18) väitteen teollisten mineraalikuitujen vähentymisestä toimistotyypisissä sisäympäristöissä esitetään perustuvan katsauksessa julkaistuihin Työterveyslaitoksen palvelutietokannan kuitunäytteiden analyysituloksiin vuosilta 2007–2019 (Taulukko 18). Väitettä on käsitelty laajemmin hankkeen aikana tehdyssä julkaisussa (32), jossa todettiin aineiston tilastollisista tunnusluvuista ainoastaan keskiarvon pienentyneen tarkastellulla ajanjaksolla. Keskiarvoja laskettaessa ei kuitenkaan ole huomioitu selvästi poikkeavia arvoja (vuosittaiset suurimmat yksittäiset arvot jopa 450-kertaisia P90-arvoon verrattuna). Lisäksi keskiarvovertailussa ylikorostuu ajanjakso 2007–2013, jolloin menetelmää vasta alettiin ottaa käyttöön ja jolloin koko jakson näytemäärät olivat pienemmät kuin minkään muun yksittäisen vuoden näytemäärät tarkastelulla ajanjaksolla.

**Taulukko 18.** Työterveyslaitoksen toimistotyypisistä rakennuksista analysoiden, geeliteipeillä tasopinnoilta kerättyjen 2 viikon pölylaskeumanäytteiden pitoisuuksia ja tunnuslukuja. (18)

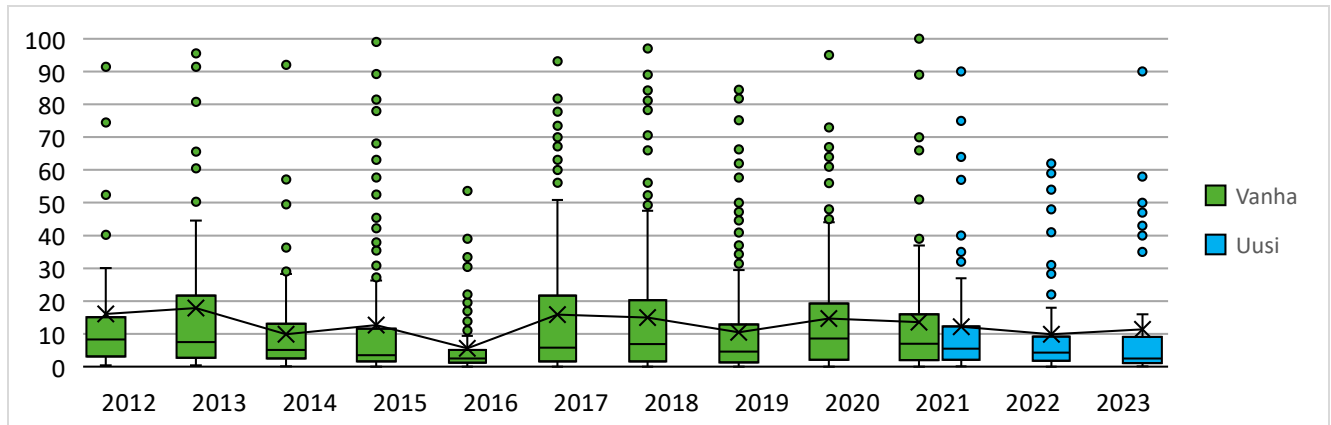
Ajanjakso	Laskentakriteeri	Näytteitä [kpl]	Keskiarvo [kpl/cm <sup>2</sup> ]	Mediaani [kpl/cm <sup>2</sup> ]	P90 [kpl/cm <sup>2</sup> ]	Suurin arvo [kpl/cm <sup>2</sup> ]
2007–2013	L > 20 µm	717	0,42	<0,1	0,4	31
2014	L > 20 µm	894	0,31	<0,1	0,4	50
2015	L > 20 µm	887	0,11	<0,1	0,1	12
2016	L > 20 µm	938	0,09	<0,1	0,1	4,5
2017	L > 20 µm	859	0,22	<0,1	0,2	69
2018	L > 20 µm	744	0,13	<0,1	0,3	1,5
2019	L > 20 µm	734	0,12	<0,1	0,3	1,2

## 5.4.2 Mineraalikuitujen määrät tuloilmajärjestelmän näytteissä

### Kuitupitoisuudet tietokannan aineistossa

Tietokannan tuloilmajärjestelmästä otettujen näytteiden vuosittaiset lukumäärät ja tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 19 eriteltynä vanhan (2021 asti) ja uuden laskentakriteerin (2021 alkaen) näytteisiin. Taulukossa on esitetty myös tunnuslukuja laskettaessa hylättyjen poikkeavan suurten näytetulosten (>100

kuitua/cm<sup>2</sup>) osuudet kaikista näytteistä. Tuloksia on havainnollistettu kuvassa 51, jossa on esitetty sekä vanhalla että uudella menetelmällä otettujen näytteiden tunnusluvut.



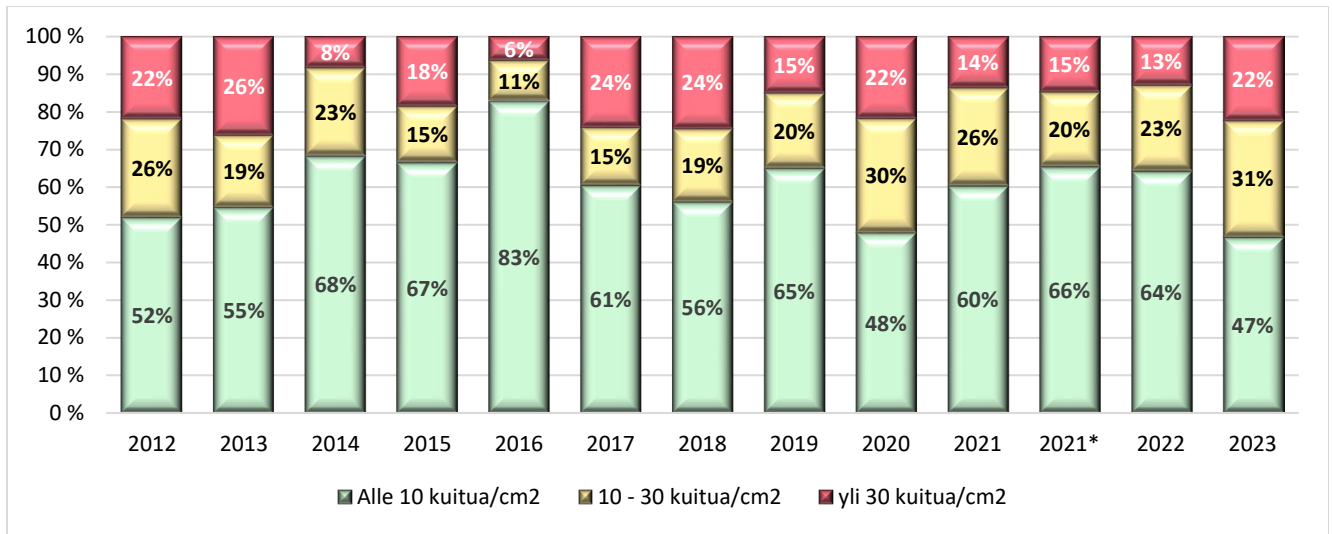
**Kuva 51.** Tietokannan kuitunäytteiden (tuloilmajärjestelmä) vuosittaiset tilastolliset tunnusluvut sekä vanhoihin että uusiin laskentakriteerein analysoiduista näytteistä.

**Taulukko 19.** Tietokannan tuloilmajärjestelmästä otettujen kuitunäytteiden vuosittaiset lukumäärät, tilastolliset tunnusluvut. Lisäksi aiemmin käytetyn viitearvojen ylittävien näytteiden osuudet. \*Laskentakriteerit muuttuivat v. 2021.

Vuosi	Koko	Lkm	Hylätyt [%]	Keskiarvo [k/cm <sup>2</sup> ]	Mediaani [k/cm <sup>2</sup> ]	P90 [k/cm <sup>2</sup> ]	> 10 k/cm <sup>2</sup>	> 30 k/cm <sup>2</sup>
2012	L>20 µm	46	4,3 %	16,11	8,32	47,18	47,8 %	21,7 %
2013	L>20 µm	73	5,5 %	17,84	7,50	50,29	45,2 %	26,0 %
2014	L>20 µm	120	2,5 %	9,91	5,07	24,10	31,7 %	8,3 %
2015	L>20 µm	174	6,3 %	12,13	3,50	39,00	33,3 %	18,4 %
2016	L>20 µm	141	2,1 %	5,63	2,50	15,94	17,0 %	6,4 %
2017	L>20 µm	183	4,9 %	15,85	5,82	50,57	39,3 %	24,0 %
2018	L>20 µm	288	7,6 %	14,99	6,86	40,17	43,8 %	24,3 %
2019	L>20 µm	301	5,3 %	10,47	4,57	31,89	34,9 %	15,0 %
2020	L>20 µm	231	8,2 %	14,66	8,57	42,70	51,9 %	21,6 %
2021	L>20 µm	81	4,9 %	12,45	6,93	31,40	39,5 %	13,6 %
2021*	L>3 µm, L:D>3:1	116	5,2 %	12,14	5,46	31,50	34,5 %	14,7 %
2022	L>3 µm, L:D>3:1	132	2,3 %	9,79	4,29	31,00	22,7 %	12,9 %
2023	L>3 µm, L:D>3:1	81	4,9 %	12,85	4,21	42,20	30,9 %	22,2 %
YHT	L>20 µm	1638	5,7 %	12,72	5,29	37,06	38,5 %	18,3 %
YHT	L>3 µm, L:D>3:1	329	4,0 %	11,35	4,71	35,00	28,9 %	15,8 %
YHT	Kaikki	1967	5,4 %	12,49	5,07	36,91	36,9 %	17,9 %

Vuosittainen vaihtelu tuloilmajärjestelmän näytteissä on selvästi suurempaa kuin laskeumanäytteissä, mikä on ymmärrettävää koska yksittäisen näytteiden kuitupitoisuudet vaihtelevat huomattavasti enemmän. Toisaalta tulokset ovat itse menetelmän osalta luotettavampia, koska kuituja esiintyy käytännössä jokaisesta näytteestä. Selvää aikatrendiä tuloilmajärjestelmän näytteissäkään ei ole havaittavissa.

Tarkasteltaessa tuloksia aiemmin voimassa olleeseen tavanomaisena pidettävään arvoon 10–30 kuitua/cm<sup>2</sup>, havaitaan tähän väliin osuvan koko aineistosta 19 %. Vuosittainen vaihtelu aineistossa on välillä 10–30 % (Kuva 52). Koko aineistossa alle 10 kuitua/cm<sup>2</sup> -tulosten osuus on n. 63 %.



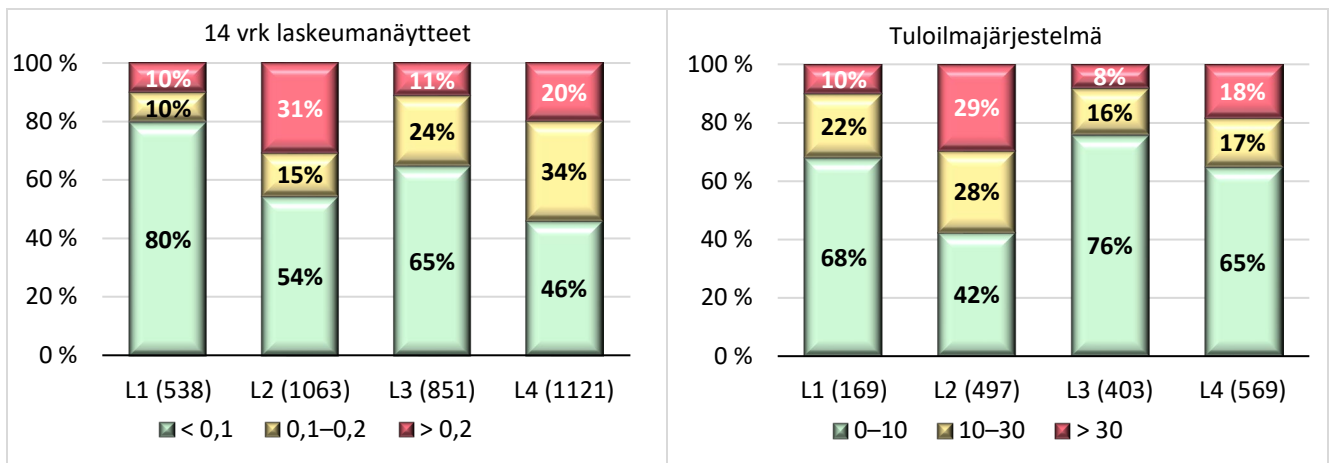
**Kuva 52.** Tulosjakaumat suhteessa aiempaan viitearvoon tietokannan tuloilmajärjestelmän kuitunäyteaineistossa. \*Vuodesta 2021 alkaen otettu uudet laskentakriteerit käyttöön kuituanalyysissä.

### Laskentakriteerien- ja näytteenotto-ohjeiden muutosten vaikutukset

Tuloilmajärjestelmän näytteillä ei uusien laskentakriteerien vaikutuksesta havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa tuloksiin,  $t(1860) = 1,316$ ;  $p = 0,188 > 0,05$ .

### 5.4.3 Laboratorioiden väliset erot

Laboratorioiden välisten erojen selvittämiseksi (vanha, vuoteen 2021 käytössä ollut menetelmä) sekä laskeuma-että kanavanäytteiden tulokset luokiteltiin toimenpiderajan ja ohjearvojen perusteella. Laskeumanäytteet luokiteltiin kuitupitoisuuksien perustella kolmeen luokkaan: alle määritysrajan ( $< 0,1$  kuitua /  $cm^2$ ), alle toimenpiderajan ( $0,1-0,2$  kuitua/ $cm^2$ ) ja toimenpiderajan ylittävät ( $> 0,2$  kuitua /  $cm^2$ ). Vastaava kanavanäytteiden tulosluokat ovat: 0–10, 10–30 ja  $>30$  kuitua/  $cm^2$ . Eri laboratorioiden analyysivastausten jakautuminen em. luokkiin on esitetty kuvissa 53 ja 54.



**Kuva 53.** Kahden viikon laskeumanäytteiden tulosjakaumat tietokannan vuosien 2012–2021 (vanhat laskentakriteerit) neljässä eri laboratoriossa.

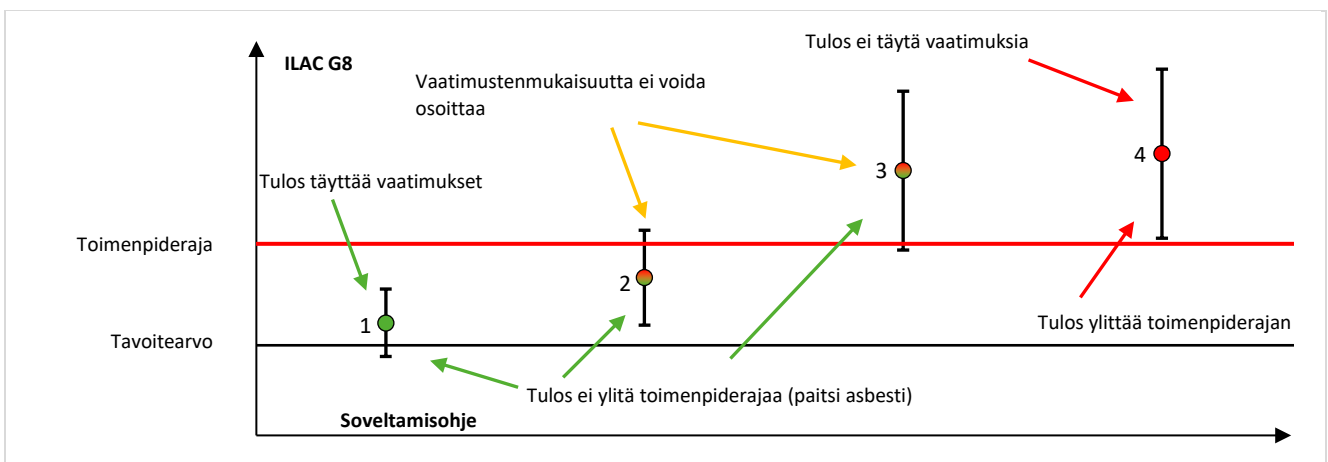
**Kuva 54.** Tuloilmajärjestelmän kuitunäytteiden tulosjakaumat tietokannan vuosien 2012–2021 (vanhat laskentakriteerit) neljässä eri laboratoriossa.

Kuvan perusteella laboratorioiden tulosjakaumissa on selkeitä eroja. Laskeumanäytteissä toimenpiderajan ylittävien näytteiden osuus kaikista näytteistä vaihteli välillä 10–31 % ja vastaavasti ns. nollanäytteiden määrä välillä 46–80 %. Kanavanäytteissä erot olivat samaa suuruusluokkaa. Erot todettiin Khiin neliö -testillä molemmissa tapauksissa tilastollisesti erittäin merkitseviksi: laskeumanäytteillä  $\chi^2(6) = 332,2$ ,  $p = 1,03 \cdot 10^{-68} < 0,001$  ja kanavanäytteillä  $\chi^2(6) = 132,2$ ,  $p = 4,45 \cdot 10^{-68} < 0,001$ .

## 5.4.4 Mittausepävarmuuden vaikutus tuloksiin

### Mittausepävarmuuden huomioiminen soveltamisohjeessa

Vaikka Asumisterveysasetuksessa on vuodesta 2015 alkaen edellytetty toimenpiderajan ylitystä tarkasteltaessa huomioimaan mittausepävarmuus, konkretisoitui tämä vasta soveltamisohjeen julkaisun myötä 2016 ja teollisten mineraalikulitujen osalta vuoden 2021 päivityksen yhteydessä. Mittausepävarmuuden huomioimiseen on useita vaihtoehtoja, joita on kattavasti selvitetty oppaassa ILAC G8 (33). Soveltamisohjeen tarkoittama, joskin vaikeasti selvitettävissä oleva, tapa poikkeaa yleisesti riskinarvioinnista ja edustaa tulkinnessaan ääripäätä: jotta Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan asettamat vaatimukset eivät täytyisi, tulee mittaustuloksen ylittää varmuudella (eli myös mittausepävarmuuden alarajalla) toimenpiderajan numeerinen arvo (Kuva 55). Yleisesti riskinarviossa tulos täyttää vaatimukset vain, jos myös mittausepävarmuuden yläraja alittaa toimenpiderajan (tulos 1). Jos epävarmuuden yläraja ylittää toimenpiderajan (tulokset 2 ja 3) vaatimustenmukaisuutta ei voida osoittaa. Tällöin vaatimusten täyttymisen osoittaminen on sitä vaikeampaa mitä epäluotettavampi mittaus on. Soveltamisohjeen tulkinnessa menetellään vain asbestin osalta samoin kuin edellä. Kaikkien muiden tulosten osalla tulkitaan, että vain tulos 4 ylittää toimenpiderajan (ei täytä vaatimuksia). Tällöin vaatimusten täyttäminen on sitä helpompaa mitä epäluotettavampi mittaustulos on.



**Kuva 55.** Mittausepävarmuus huomioiminen sovellettuna toimenpiderajan ylittymiseen yleisesti riskinarviossa (33) (yllä) ja soveltamisohjeen (1) tulkin mukaisesti (alla). Edellisen mukaan ainoastaan tulos 1 täyttää vaatimukset, jälkimmäisen mukaan vain tulos 4 ei täytä.

Soveltamisohjeen tulkin vaikutus korostuu osassa jo pitkään käytössä olleista tutkimusmenetelmistä, joissa näytetulokset ovat yleensä pieniä ja mittausepävarmuudet näihin nähden suuria. Tällaisia menetelmiä Asumisterveysasetuksessa ovat ainakin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ilmanäytteet sekä teollisten mineraalikulitujen laskeumanäytteet. Kummankaan kohdalla ei voida numeerisesti huomioida kaikkia todellisia virhelähteitä, kuten esimerkiksi näytteenoton virheitä, koska tällöin mittausepävarmuus nousisi yli 100 %:n. Tällöin toimenpideraja ei ylittyisi koskaan.

### Mittausepävarmuuden vaikutus laskeumanäytteiden tuloksiin

Loppuraporttia julkaistaessa tulee kuitunäytteissä mittausepävarmuus huomioida viranomaisohjeiden mukaan näytekohtaisesti. Numeerisesta näytetuloksesta tulee vähentää laboratorion ilmoittama mittausepävarmuus ja näin saatua tulosta verrataan toimenpiderajaan. Laboratorioiden käyttämää mittausepävarmuutta ei ole määrätty ja usealla laboratorion sisäiseen tarkkuuteen ollen suuruudeltaan n. 25–35 %. Jos mittausepävarmuus on alle 30 % riittää toimenpiderajan ylitykseen 4 kuitua näytteessä, vähintään 30 % mittausepävarmuudella ylittyminen vaatii 5 kuitua/näyte. Menetelmän taustalla olevassa tieteellisessä tutkimuksessa ja toimenpiderajan määrätymisen perusteena olleessa näyteaineistossa mittausepävarmuutta ei ole huomioitu. Käytännössä vuoteen 2021 asti tulkittiin toimenpiderajan ylittyvän, jos näytteeltä laskettiin vähintään 3 kuitua (0,21 kuitua/cm<sup>2</sup>). Menetelmään liittyvä suuri mittausepävarmuus tiedostettiin ja se voitiin tulosten tulkinnessa huomioida ottamalla useita näytteitä ja arvioida tuloksia yhdessä havaittujen kuitulähteiden kanssa.

Osa laboratorioista käyttää mittausepävarmuutena Poissonin jakaumaan liittyvää virhettä, joka kuitujen laskeumanäytteissä kuvaa käytännössä satunnaisuutta, jolla sisäilman kuidut laskeutuvat huonepinnoille. Poissonin jakaumaa perustuvaa mittausepävarmuutta käytettäessä toimenpiderajan ylittyminen soveltamisohjeen tulkitattavalla edellyttää näytteeltä havaittavan vähintään 7 kuitua (Liite 1). Samalla mittausepävarmuuden ylärajaksi tulee 14 kuitua/näyte (1,0 kuitua/cm<sup>2</sup>). Näin ollen Soveltamisohjeen päivityksillä ei mittausepävarmuustarkastelun epämääräisyyden vuoksi ole vielä saatu pienennettyä laboratorioden välisiä eroja.

Taulukossa 20 on esitetty, miten eri mittausepävarmuuden vaikuttavat tietokannan näyteaineistossa toimenpiderajan ylittävien näytteiden osuuteen. Soveltamisohjeen osan 3 keväällä 2024 tehdystä päivityksestä alkaen käytössä ollut mittausepävarmuuden huomioiminen vähentäisi tietokannan aineistossa toimenpiderajan ylitysten osuutta 19,8 %:sta vähintään 13,1 %:iin verrattuna vuoteen 2021 käytössä olleeseen tilanteeseen.

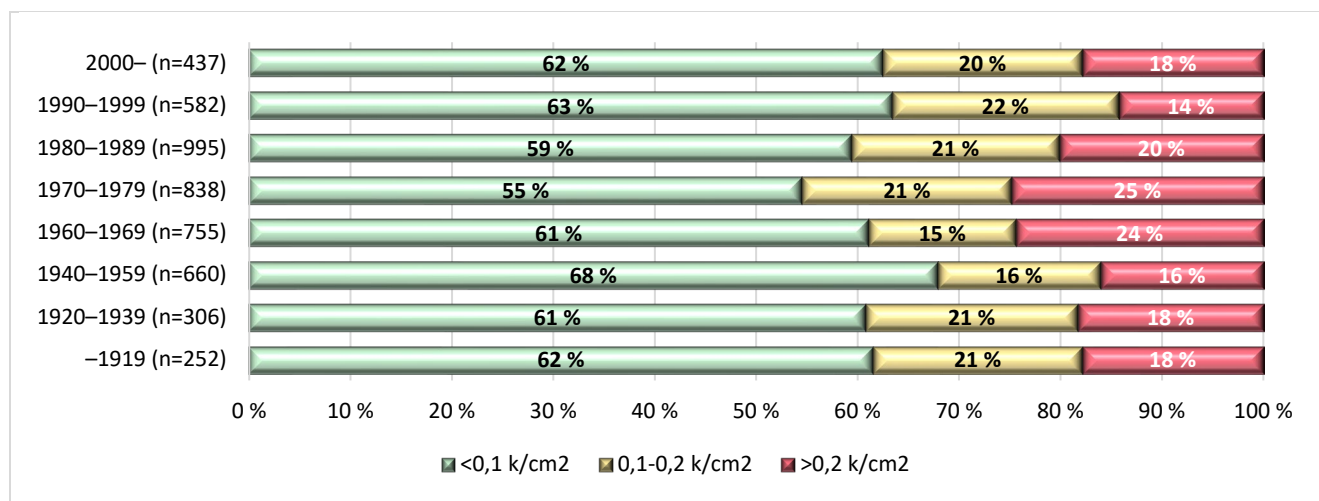
**Taulukko 20.** Mittausepävarmuuden vaikutus toimenpiderajan ylittymiseen tietokannan näyteaineistossa (n = 4930).

Mittausepävarmuuden huomiointi	ylittäviä näytteitä [kpl]	ylitysten osuus näytteistä [%]
Ei huomioida numeerisesti (-2021 asti), $\geq 3$ k/näyte (0,21 k/cm <sup>2</sup> )	977	19,8
Mittausepävarmuus enintään 29 %, $\geq 4$ k/näyte (0,29 k/cm <sup>2</sup> )	647	13,1
Mittausepävarmuus 29–43 %, $\geq 5$ k/näyte (0,36 k/cm <sup>2</sup> )	462	9,4
Poissonin jakaumaan perustuva, $\geq 7$ k/näyte (0,50 k/cm <sup>2</sup> )	286	5,8

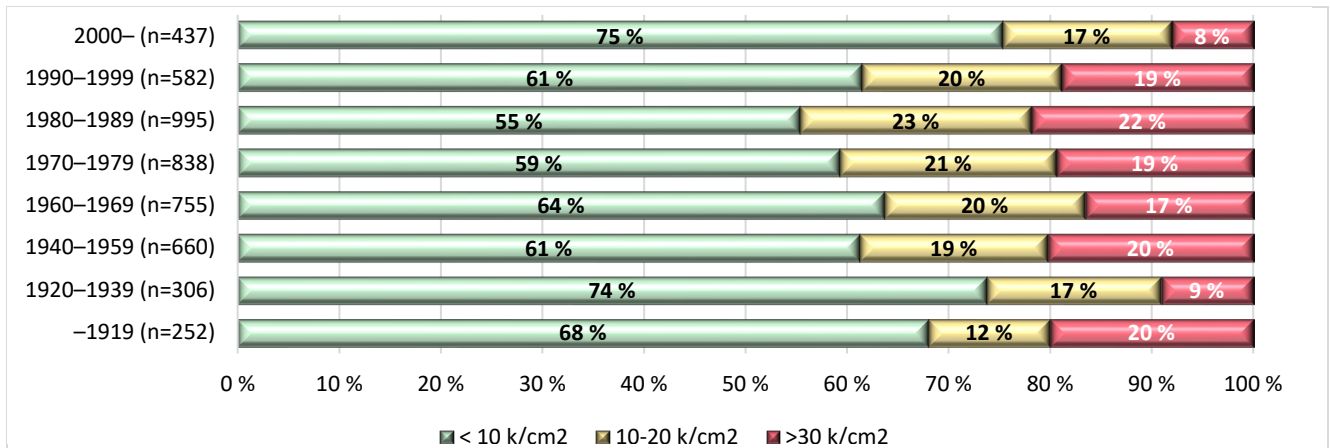
Soveltamisohjeen päivitysten seurauksena vuosina 2021–2024 käytössä ollut tilakohtaisten keskiarvojen laskeminen mittausepävarmuuksineen johti vielä suurempaan muutokseen. Hankkeen osatulosten julkaisut (34; 32; 35) johtivat keväällä 2024 siihen, että vaatimus keskiarvojen käytöstä poistettiin ohjeesta.

### 5.4.5 Kuitunäytteiden tulokset rakennusajankohdan ja käyttötarkoituksen mukaan

Tarkasteltaessa kahden viikon laskeumanäytteiden pitoisuuksia eri ikäisissä rakennuksissa (Kuva 56) huomataan odotetusti, että suuria kuitupitoisuuksia havaittiin yleisimmin 1960–1980-lukujen rakennuksissa. Tuloilmajärjestelmän näytteissä useimmin poikkeavia määriä kuituja havaittiin 1980-luvun järjestelmissä (Kuva 57). Otantaa vääristää se, että 1900-luvun alun rakennusten mineraalikuidut eivät ole rakennusten alkuperäisistä materiaaleista, vaan niitä on rakennuksiin tuotu peruskorjausten ja äänenvaimennusmateriaalien tai ilmanvaihdon asennuksen myötä.

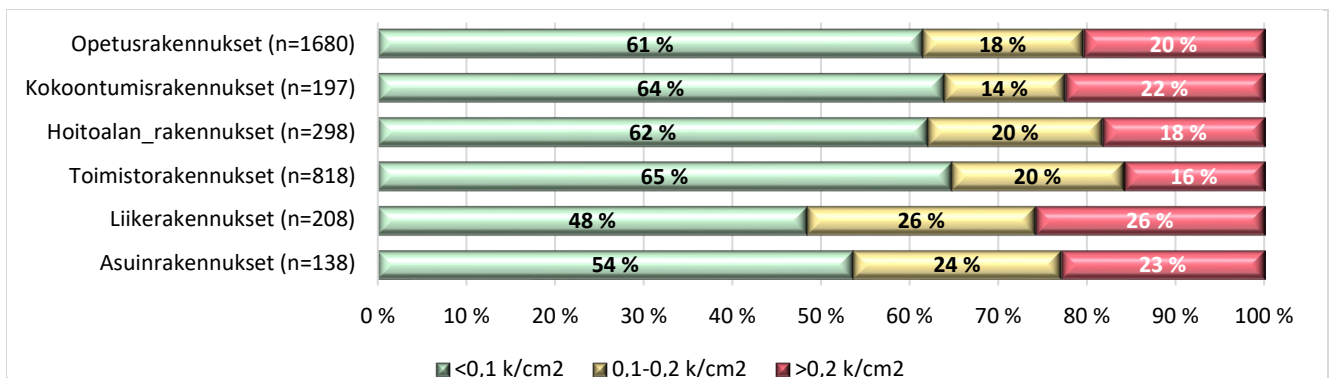


**Kuva 56.** Tietokannan kahden viikon laskeumanäytteiden kuitupitoisuuksien tulosjakaumat rakennusten valmistusajankohdan mukaan luokiteltuna.



**Kuva 57.** Tietokannan tuloilmajärjestelmästä otettujen kuitunäytteiden tulosjakaumat rakennusten valmistusajankohdan mukaan luokiteltuna.

Merkittäviä eroja kuitunäytteiden pitoisuuksissa ei havaittu myöskään eri käyttötarkoituksen rakennuksissa (Kuva 58). Useimmin poikkeavia määriä kuituja laskeumanäytteissä havaittiin liikerakennuksissa (26 %) ja vähiten toimistorakennuksissa (16 %).

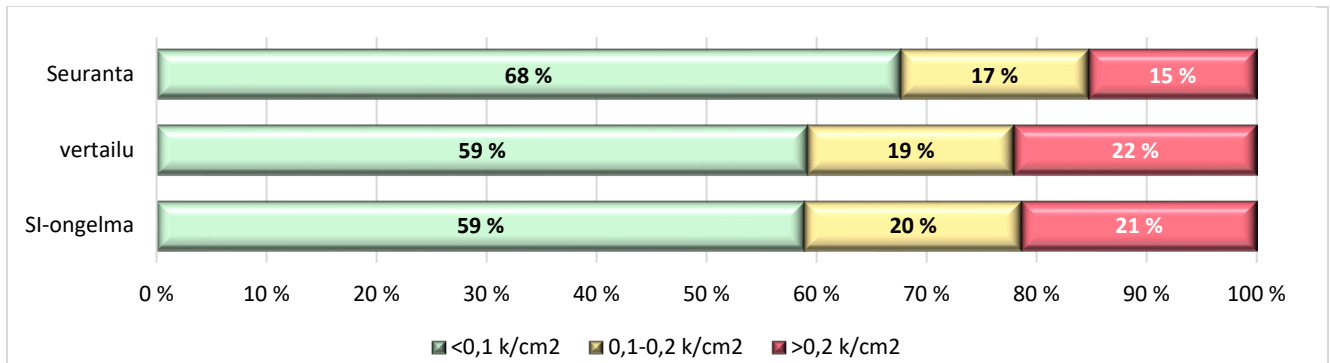


**Kuva 58.** Tietokannan kahden viikon laskeumanäytteiden kuitupitoisuuksien tulosjakaumat rakennusten käyttötarkoituksen mukaan luokiteltuna.

### 5.4.6 Kuitunäytteiden tulokset sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa

Kahden viikon laskeumanäytteiden tulosjakaumat on esitetty kuvassa 59 erikseen sisäilmaongelma- vertailu- ja seurantakohteissa. Seurantakohteiden tulosjakauma poikkeaa selvästi sekä ongelma- että vertailukohteista, joiden jakaumat ovat hyvin lähellä toisiaan. Tilastollinen tarkastelu vahvistaa havainnon. Sisäilmaongelma- (n = 3 249), vertailu- (n = 613) ja seurantakohteiden (n = 918) kahden viikon laskeuman kuitunäytteiden tuloksissa havaittiin khin neliö -menetelmällä tilastollisesti erittäin merkitsevä ero:  $\chi^2(4) = 25,96$ ;  $p = 3,2 \cdot 10^{-5} < 0,001$ . Ero johtuu seurantamittaustuloksista, jotka parivertailussa poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi kahdesta muusta ryhmästä. Sen sijaan ongelma- ja vertailukohteiden välinen ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä:  $\chi^2(2) = 0,369$ ;  $p = 0,83 > 0,05$ .

Kaikkien kahden viikon laskeumanäytteiden keskiarvoissa ongelma-, vertailu- ja seurantakohteet (0,20; 0,16 ja 0,13 kuitua/cm<sup>2</sup>) erottuvat myös toisistaan. Kahden riippumattoman otoksen t-testin perusteella ongelma- ja vertailukohteiden kuitupitoisuuksien keskiarvot poikkesivat toisistaan tilastollisesti melkein merkitsevästi,  $t(2394) = 1,989$ ;  $p = 0,047 < 0,05$ ; 2-suuntainen. Vertailu- ja seurantakohteiden välillä ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Selvästi tavanomaisesta poikkeavan suurien kuitupitoisuuksien (> 1,0 kuitua/cm<sup>2</sup>) havaittiin enemmän ongelma- ja vertailukohteissa (2,4 %) kuin seurantakohteissa (1,7 %). Sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden välistä vertailua voi vääristää se, että aistinvaraisesti havaittavat selvät kuitulähteet on etenkin sisäilmaongelma- ja vertailukohteissa päätetty joka tapauksessa uusien ilman kuitunäytteiden ottoa.



**Kuva 59.** Kahden viikon laskeumanäytteiden tulosjakaumat erikseen sisäilmaongelma-, vertailu- ja seurantakohteissa (n = 4 780).

## 5.5 Yhteenveto

Teollisten mineraalikuitujen laskeutuminen huonepinnoille on satunnaista, harvinaista ja toisistaan riippumattonta. Kuidut jakautuvat tilaan epätasaisesti ja tilojen käyttö sekä turbulenssit ilmavirtauksissa voivat vaikuttaa paikallisiin pitoisuuksiin. Suomessa mineraalikuitujen sisäilmapitoisuuksia arvioidaan huonepinnoille kahden viikon aikana laskeutuneesta pölystä otettavin geeliteippinäyttein. Menetelmän käyttö perustuu siihen, että laskeutuneessa pölyssä on sisäilmaa paremmin edustettuna ärsytysoireiden kannalta merkityksellisemmät isokoiset kuidut. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa kuitujen keräysmenetelmää ja tulkintaa on vuosien kuluessa päivitetty mm. edellyttämällä keskiarvojen ottamista tilakohtaisista tuloksista mittausepävarmuus huomioiden. Toimenpiderajaa ei kuitenkaan ole muutettu. Kansainvälisen ISO-standardin mukaan usean näytteen keskiarvon määrittäminen soveltuu vain kahden homogeenisen pinnan keskinäiseen vertailuun. Koska kuitujen määrä pintapölyssä noudattaa karkeasti Poissonin jakaumaa, vääristää yksittäisten näytteiden keskiarvo tulosta merkittävästi. Tämän hankkeen välituloksena esitettyjen havaintojen perusteella soveltamisohjeesta poistettiin keväällä 2024 vaatimus tulkita näytteet tilakohtaisten keskiarvojen perusteella mittausepävarmuus huomioiden.

Tietokantahankkeen kuitunäyteaineisto koostuu Siraten vuosina 2011–2023 keräämistä kahden viikon pölylaskeumasta ja tuloilmajärjestelmästä otetuista geeliteippinäytteistä. Kaikkiaan viidessä eri laboratorioissa analysoituja näytteitä on yhteensä 6 897 kpl. Aineisto on luokiteltavissa mm. kohderakennuksen sijainnin, käyttötarkoituksen ja iän sekä näytteen analysoineen laboratorion mukaan.

Näyteaineiston perusteella kahden viikon pölylaskeuman kuitupitoisuuksien mediaani on pysynyt vakiona vuodesta 2015 alkaen eli koko Asumisterveysasetuksen voimassaoloajan. Myös toimenpiderajan numeerisen arvon ylittävien näytteiden määrä on ollut jatkuvasti n. 20 %, eli kuituongelma ei ole poistunut rakennuskannasta. Vuosittainen vaihtelu tuloilmajärjestelmän näytteissä on selvästi suurempaa kuin laskeumanäytteissä, mutta selvää aikatrendiä tuloilmajärjestelmän näytteissäkään ei ole havaittavissa.

Näyteaineiston perusteella eri laboratorioiden kuituanalysien välillä on tilastollisesti merkitsevä ero. Tämän viittaa siihen, että nykyinen ohjeistus kuitujen määrittämiseen laboratorioissa mm. kuitukimpuille, -klustereille ja -matriiseille tai katkenneille kuiduille on puutteellista.

Sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden välisessä vertailussa ei todettu tilastollisesti merkitsevää eroa kahden viikon laskeumanäytteiden tuloksissa. Kaikkien laskeumanäytteiden keskiarvot ongelma- ja vertailukohteissa poikkesivat toisistaan tilastollisesti melkein merkitsevästi siten, että ongelma- ja vertailukohteissa todettiin useammin selvästi poikkeavan suuria kuitupitoisuuksia. Kuitunäytteissä vertailua voi vääristää se, että aistinvaraisesti havaittavat selvät kuitulähteet on etenkin sisäilma-ongelma- ja vertailukohteissa päätetty joka tapauksessa uusien ilman kuitunäytteiden ottoa. Kuitukorjausten jälkeen tehtyjen seurantamittausten tulokset kuitenkin eroavat sisäilmaongelma- ja vertailukohteista, mikä osoittaa kuitukorjauksilla olevan merkitystä.

Teollisten mineraalikuitujen osalta saadut tulokset osoittavat, että rakennuksissa edelleen esiintyy kuituongelmia, mutta näytteenotto- ja analyysimenetelmiin liittyy haasteita.



## 6 Olosuhdearvio

### 6.1 Ohjeistukset olosuhdearvion laatimiseksi

Kuntotutkimustuloksiin tai sisäilmastaselvityksiin perustuva sisäilma-altisteita arvioiva altistumisolosuhteiden tai olosuhteiden arviointi poikkeaa tavanomaisesta riskinarviosta, jossa huomioidaan sekä altistumisen todennäköisyys että seurauksen vakavuus. Sisäilma-altisteiden osalta toimenpiderajat eivät yleisesti ole terveysperusteisia eikä kuntotutkimustulosten perusteella tehtävä terveydellisen merkityksen arviointi kuulu kuntotutkijoille. Osin tämän vuoksi sisäilmayhteydessä siirryttiin ohjeen (36) myötä käyttämään altistumisriskin sijaan termiä altistumisolosuhde.

Tietokantahanketta aloitettaessa aineiston kattavasti kuntotutkituille rakennuksille oli tarkoitus laatia altistumisolosuhdearvio silloin voimassa olleen Työterveyslaitoksen ohjeen (36) mukaisesti. Ohje perustui tutkimukseen (37), jossa sitä oli testattu 27 sairaalarakennuksen 111 kerrokseen ja osaan. Ohjeen mukaan altistumisolosuhteiden arvioinnissa tuli huomioida mm. päästölähteiden laajuus, voimakkuus, sijainti ja ilmayhteys sisäilmaan sekä muut epäpuhtauksien leviämiseen vaikuttavat tekijät kuten ilmanvaihto, paine-erot, mahdollisesti toiminta tiloissa ja ulkoilmaolosuhteet. Käytännössä arvioitiin neljää eri tekijää, joille kullekin tuli valita ohjeeseen laadituista taulukoista parhaiten sopiva vaihtoehto. Arvioitavat tekijät olivat:

1. rakenteiden mikrobivaurioiden laajuuden arviointi
2. ilmayhteys ja ilmavuotoreitit epäpuhtauslähteestä sisäilmaan sekä rakennuksen paine-erot
3. ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus sisäilman laatuun
4. rakennuksesta peräisin olevat sisäilman epäpuhtaudet

Tekijän 1 arvio tuli perustua rakenneavauksiin, rakennekosteusmittauksiin ja materiaalinäytteiden mikrobiologisiin analyysihin. Epäpuhtauslähteen vaikutusta (tekijä 2) sisäilman laatuun tuli arvioida kyseisen rakenteen tiiviiden ja ilmavuotoreittien määrittämiseen sekä rakennuksen painesuhteisiin (ilman kulkusuunta). Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus arvioitiin järjestelmän puhtauden, toimintakunnon ja ilmamäärien riittävyden perusteella kahteen luokkaan. Rakennuksesta peräisin olevat epäpuhtaudet tuli selvittää rakennus- tai taloteknisiin selvityksiin, jotka tuli tulkita tilan käyttötarkoituksen mukaan asetetuilla viite- ja ohjearvoilla.

Ohjeen mukaisen arvioinnin ongelmana pidettiin sitä, että sen käytännön osiossa (taulukot) sekoittui osin altistumisolosuhteen ja terveydellisen merkityksen arviointi. Arvioinnissa kaikki eri epäpuhtaudet ja altisteet arvioitiin yhdessä, mutta mikrobi- ja kosteusvaurioille annettiin muita suurempi merkitys kokonaistuloksessa. Arviotyhteenvetotaulukon valinnat koettiin myös osin epämääräiseksi ja usein valinta kahden tai kolmen eri arviointituloksen välillä oli vaikeaa: jokaista tulosluokkaa vastaavista kuvauksista osa sopi kohteeseen osa ei. Tässä hankkeessa olikin jo alun perin tarkoitus laatia vaihtoehtoinen altistumisarviomenetelmä, jossa arvio tehdään altistekohtaisesti.

Hankkeen aikana Työterveyslaitos korvasi edellä mainitun altistumisolosuhteen arviointiohjeensa uudella, vuonna 2022 julkaistulla olosuhdearviointiohjeella (38), joka päivitettiin nykyiseen muotoonsa vuonna 2023. Myös korvaava olosuhdearvio-ohje koettiin hankalaksi käyttää, minkä vuoksi kuntien sisäilmaverkosto esitteli keväällä 2024 kommentoitavaksi omat tarkennuksensa arvion laatimiseksi. Valmis työ on ilmeisesti tarkoitus esittää Sisäilmastoseminaarissa 2025.

Useiden ohjemuutosten vuoksi tämän hankkeen aikana ei ehditty arvioida kuin pieni osa kuntotutkimuskohteista uusien ohjeiden mukaisesti. Työtä on tarkoitus jatkaa ja kokemukset ja havainnot on tarkoitus esittää Sisäilmastoseminaarissa 2025.

### 6.2 Ilmavuodot rakenteiden kautta

Jotta rakennusosien ja rakenteiden sisällä olevalla epäpuhtauslähteellä ja siitä mahdollisesti irtoavilla epäpuhtauksilla voisi olla vaikutusta sisäilman laatuun ja olosuhteisiin, tulee lähteestä olla ilmayhteys sisäilmaan.

Aikaisemmissa altistumisriskin arvioissa, ammattitautiselvityksissä sekä myös julkaisuun (37) perustuvassa altistumisolosuhteen arvioinnissa keskeinen selvitettävä asia olikin tämä ketju: vaurion tai epäpuhtauslähteen laajuus ja merkittävyys, ilmayhteys sisäilmaan (ilmavuotoreitit) sekä ilman kulkeutuminen/kulkusuunta epäpuhtauslähteestä sisäilmaan (painesuhteet). Myös uudistetussa olosuhdearviossa on yleisesti rakennuksen ilmatii- viydellä, ilmavuotoreiteillä ja rakennuksen painesuhteilla suuri painoarvo, vaikka edellä kuvattu ketju nimen- omaan todetusta epäpuhtauslähteestä sisäilmaan jää vähälle merkitykselle.

Ilmavuotoreittejä ja niiden merkittävyyttä voidaan selvittää merkkiainetutkimuksin, lämpökuvauksin ja joissain tapauksessa myös aistinvaraisesti merkkisavua hyödyntäen.

## 6.2.1 Ilmavuotojen merkittävyyden arviointi

Ilmavuotojen merkittävyyden arvioinnin odotetaan perustuvan vuonna 2015 julkaistun RT 14-11197 -ohjekor- tissa (39) esitettyyn luokitteluun:

### RT14-11197-ohjekortti:

- **Pistemäinen ilmavuoto:** Selvästi pienelle alueelle rajautuva reikämäinen epätiivelyskohta, jonka koko on 1–2 mm. Suurempi reikä luokitellaan merkittäväksi ilmavuodoksi suuremman virtausvolyymin vuoksi. Esimerkkejä: Patterin kiinnike, karmiliitokset.
- **Vähäinen ilmavuoto:** Pistemäistä laaja-alaisempi rakomainen (2–1000 mm), mutta volyymiltaan heikko ilmavuoto (ei näkyvää rakoja). Jos vuodon volyymi suuri tai rako on näkyvä, se luokitellaan merkittäväksi ilmavuodoksi. Esimerkkejä: karmin ja seinän liitoksien ei näkyvät raot, betonielementtien saumojen kusti- tumaraot, lattian ja seinän liitosten ei näkyvät raot.
- **Merkittävä ilmavuoto:** Vuoto on heikkona laaja-alainen (>1000 mm) ja systemaattisesti rakenneliitok- seen liittyvä tai paikallisena erityisen suuren volyymin omaava reikä tai rakomainen ilmavuoto. Jos ilmavuoto on havaittavissa aistinvaraisesti, lämpökameralla tai merkkisavulla, se on silloin merkittävä. Esimerkkejä: Lattia- ja seinäliitosten sekä ikkunakarmien ja seinän liitosten näkyvät raot

Todellisuudessa esitetty luokitus soveltuu ainoastaan tiivistyskorjausten laadunvarmistustutkimuksiin. Luokitte- lua kirjaimellisesti sovellettaessa jokaisessa kuntotutkimuskohteessa olisi merkittäviä ilmavuotoja. Luokittelu on myös ilmavuotomäärien osalta perustelematon ja ristiriitainen: Luokittelun kuvailutekstit ja asettelu viittaisivat siihen, että ilmavuodon merkitys kasvaisi edellä esitetystä järjestyksessä pistemäinen -> vähäinen -> merkittävä. Näin on selvästi myös tulkittu ainakin kuntien sisäilmaverkostossa olosuhdearvioinnin ohjeistusta tarkennetta- essa. Jos kuitenkin tarkastellaan RT-kortissa kuvailtujen kaltaisten ilmavuotojen kautta tietyn paine-eron vaiku- tuksesta virtaavia ilmamääriä, järjestys ei olekaan itsestään selvä.

Riittävä rakennusfysikaalinen tarkastelu voidaan tehdä esimerkiksi yleisesti saatavilla olevan Terveet Tilat 2028 -ohjelman tuottaman aineiston (40) perusteella. Fysikaalisena lähtökohtana tulee kuitenkin muistaa, että raken- nuksen sisään ja ulos rakennuksesta kulkeutuu yhtä paljon ilmaa. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon raken- nuksessa tämä tarkoittaa yksinkertaistettuna sitä, että hallitsematon ilmavuoto rakenteiden läpi on määrältään yhtä suuri kuin tulo- ja poistoilmamäärien erotus. Tällöin rakennuksen ilmatiiviys määrää, kuinka suuri paine- ero ulkovaipan yli tällöin muodostuu. Koska tulo- ja poistoilmamäärien ero on usein yksittäisissäkin huoneissa suuruusluokkaa litroja sekunnissa (l/s). Tähän verrattuna RT-kortin luokittelun mukaiset ilmamäärät ovat usein mitättömiä.

### Pistemäinen ilmavuoto aukon kautta

Jos tarkastellaan pistemäistä, halkaisijaltaan 1–2 mm ilmavuotoa ohuen rakennekerroksen—esimerkiksi höyryn- sulkumuovin—läpi, voidaan tarkastelu tehdä lähteen (40) kaavaa V.8.6 ja esimerkkitehtävää V.8.3 vastaavasti. Merkkiainetutkimuksissa suositellussa alipaineessa (paine-ero,  $\Delta p = -10$  Pa) halkaisijaltaan,  $d = 2$  mm, aukosta virtaavan ilman keskimääräinen virtausnopeus on

$$v = \sqrt{\frac{\Delta p}{0,9 \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{10 \text{ Pa}}{0,9 \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 3,04 \text{ m/s}, \quad (1)$$

missä  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  on ilman tiheys. Tilavuusvirta  $Q_v$  em. pinta-alaltaan  $A$  ( $A = \pi r^2 = \pi (d/2)^2 \approx 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ) olevan aukon läpi on 9,2 ml/s. Tätä suuremmat (halkaisijaltaan yli 2 mm) pistemäiset vuodot tulisi tulkita merkittäväksi. Mikäli ilmapuoreitti on putkimainen ja kulkee paksumman (esim. 10 cm vahvan rakenteen) läpi, pistemäinen virtaus voisi olla enintään 2,2 ml/s. Tämän perusteella siis vähintään 10 ml/s ilmapuoto olisi jo merkittävä.

### Vähäinen ja merkittävä ilmapuoto

Jos pistemäistä ilmapuotoa levitetään vain yhteen suuntaan enimmillään 1000 mm, puoto luokitellaan ohjekortin kuvauksen mukaan vähäiseksi. Laskennallisesti kuitenkin jo 2 mm rako 5 cm matkalla 10 cm vahvuisen rakenerroksen mahdollistaisi samassa 10 Pa alipaineessa 190 ml/s ilmapuodon (n. 20-kertainen edellä laskettuun merkittävään ilmapuotoon verrattuna). Sama 2 mm rako 1 metrin matkalla tuottaisi jo 3,8 l/s ilmapuodon (n. 400-kertainen merkittävään ilmapuotoon verrattuna).

Toisaalta vähäisen ilmapuodon kuvauksessa kuitenkin toistuvasti kerrotaan, että rako ei saa olla näkyvä. Epäselvää kuitenkin on, mitä tällä tarkoitetaan. Pitääkö raosta näkyä koko rakenteen läpi? Sisäpinnalla selvästi erottuvasta edellä mainitusta 2 mm raosta ei paksussa rakenteessa useinkaan näy läpi, eikä rako myöskään ole säännöllinen. Käytännössä paljain silmin on erotettavissa vähintään 0,1 mm rako. (Heikommallakin näkökyvyllä esim. 0,5 mm lyijykynällä vaalealle seinällä piirretty viiva on erittäin helposti erotettavissa.) Metrin matkalla olevasta 0,1 mm raosta (15 cm rakenne, -10 Pa) vuotaa enimmillään 0,3 ml/s (n. kolme sadasosaa pistemäisen ja merkittävän rajasta) ja 0,5 mm raosta 40 ml/s (nelinkertainen merkittävään ilmapuotoon verrattuna).

Lisäongelmaa tulkintaan tuottava on kuitenkin myös merkittävän ilmanpuodon kuvauksen viimeinen virke aistinvaraisesti, merkkisavulla tai lämpökameralla havaittavasta ilmapuodosta. Käytännössä näillä kaikilla on mahdollista havaita jo pistemäinenkin ilmapuoto. Erilaisiin ilmapuoreitteihin liittyviä laskennallisia enimmäisilmapuotomääriä on esitetty taulukossa 21 luokiteltuina RT-kortin mukaisina pistemäisiksi, vähäisiksi ja merkittäviksi. Suurien ilmapuotomäärien kohdalla tulee muistaa, että ilmapuoto on enintään tulo- ja poistoilmamäärien suuruinen. Suurilla ilmapuotomäärillä esitetyt yhtälöt ja laskennan oletukset eivät enää päde ja taulukossa ne esittävät lähinnä suuruusluokkaa.

**Taulukko 21.** Vuotoilmamääriä erilaisten rakenteiden ilmapuoreittien kautta sekä näiden RT-kortin mukainen luokittelu pistemäiseksi (vihreä tausta), vähäiseksi (keltainen) ja merkittäväksi (punainen). \*virtaus ei enää laminaarista, tulos ei päde.

	Aukko höyrynsulussa			reikä rakenteessa			Suorakulmainen rako rakenteen läpi						
halkaisija, d [mm]	2	2,5	6	2	2,5	6							
raon leveys, a [mm]							0,1	0,5	1,5	2	10	10	
raon pituus, b [mm]							1000	1000	50	1000	50	1000	
Rak. vahvuus, L [mm]	0,2	0,2	0,2	100	100	100	150	150	100	100	100	150	
Paine-ero [Pa]	Enimmäisilmapuotomäärä ilmapuoreitin kautta $Q_v$ [l/s]												
2	0,0041	0,006	0,037	4·10 <sup>-4</sup>	0,001	0,036	3·10 <sup>-5</sup>	0,008	0,016	0,76	4,7	63	
5	0,0065	0,010	0,059	0,001	0,003	0,078*	2·10 <sup>-4</sup>	0,020	0,040	1,9	12	158	
10	0,0092	0,014	0,083	0,002	0,005	0,111*	3·10 <sup>-4</sup>	0,039	0,080	3,8	23	315	
15	0,011	0,018	0,102	0,003	0,008	0,136*	5·10 <sup>-4</sup>	0,059	0,120	5,7	36	473	
30	0,016	0,025	0,144	0,007	0,016	0,192*	9·10 <sup>-4</sup>	0,118	0,240	11,4	71	947	

Todellisissa kuntotutkimuksissa vuotoilmareitit ovat lähes poikkeuksetta kaikkiin edellä kuvattuihin ilmapuotoihin verrattuna massiivisia. Mitenkään poikkeuksellista ei ole esim. 1 cm raot seinän eristetilasta ikkunaliittymän kautta (Kuvat 60 ja 61).



**Kuva 60.** Ikkunaliitoksen ilmavuototarkastelu merkkiainetutkimuksella.



**Kuva 61.** Todellisessa kohteessa ikkunaliitoksessa usean metrin matkalla todettu n. 1 cm levyinen rako ulkoseinän eristetilaan.

## 6.2.2 Rakennuksen ilmatiivyyden ja painesuhteiden merkitys ilmavuotomääriin

Ilmavirtaus rakenteiden kautta edellyttää virtausreitin ja virtausta aiheuttavan voiman (40). Virtausta aiheuttavana voimana toimii rakenteen yli mm. tuulesta, savupiippuvaikutuksesta tai koneellisesta ilmanvaihdosta aiheutuva paine-ero. Ilmanvaihdosta aiheutuvan paine-eron suuruuteen vaikuttavat koneellisesti siirrettyjen ilmavirtojen suuruudet ja rakennuksen vaipan ilmanpitävyys (virtausreittien määrä ja laatu), joka voidaan määrittää mittauksin.

Rakennuksen ilmapitävyyttä kuvataan ilmanvuotoluvulla  $qE_{50}$ , joka kertoo rakennuksen vuotoilman ( $Q_{50}$ ) määrän vaipan pinta-alaa kohti 50 Pascalin paine-erolla. Uusille rakennuksille ilmanvuotoluvun tulee olla enintään  $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  (41) ja hyvänä (tiivinä) pidetään rakennusta, jolle  $qE_{50} \leq 1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Vuotoilman määrä  $Q_v$  riippuu aiheutetusta paine-erosta yhtälön (2) mukaan, ts.

$$Q = C(\Delta p)^n \quad (2)$$

jossa  $C$  ja  $n$  ovat mittauksessa rakennukselle määritettävät vakiot. Eksponentti  $n$  on suuruudeltaan tyypillisesti 0,6–0,7. Vuotoilmamäärä  $Q_{50}$  50 Pa paine-erolla saadaan kertomalla ilmavuotoluku rakennuksen ulkovaipan pinta-alalla ts.  $Q_{50} = qE_{50} \cdot A$ .

Tarkasteltaessa vain koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamaa paine-eroa (ei huomioida tuulta tai savupiippuvaikutusta) vuotoilmamäärä rakennuksen vaipan läpi  $Q_v$  on yhtä suuri kuin tulo- ja poistoilmavirtojen erotus. Tällöin voidaan laskea ilmanvaihdosta aiheutunut paine-ero

$$\Delta p = \left( \frac{Q_v}{A \cdot qE_{50}} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot 50 \text{ Pa}. \quad (3)$$

Vastaavasti voidaan laskea vuotoilmamäärä tietyssä paine-erossa:

$$Q_v = A \cdot qE_{50} \cdot \left( \frac{\Delta p}{50 \text{ Pa}} \right)^n. \quad (4)$$

### Esimerkki: Ilmanvuotoluvun merkitys

Tarkastellaan yksikerroksista koulurakennusta, jossa on kahdeksan luokkaa (6 m x 10 m) keskikäytävän molemmin puolin sekä kaksi uloskäyntiä auloiheen ja wc-tiloiheen. Rakennuksen pinta-ala on 15 m x 50 m = 750 m<sup>2</sup>, huonekorkeus 3 m, jolloin tilavuus on 2 250 m<sup>3</sup> ja ulkovaipan pinta-ala on 1 890 m<sup>2</sup>. Jokainen luokka on mitoitettu 25 henkilölle, jolloin vaadittu henkilöperusteinen ulkoilmavirta on luokissa 150 l/s ja koko rakennukselle 1250 l/s, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa 2 h<sup>-1</sup>.

**Taulukko 22.** Esimerkin koulurakennuksen alipaineistamiseksi vaadittava tuloilmamäärän ylittävä poistoilmamäärä eri ilmatiivyyden rakennuksissa.

$qE_{50}$ [ $m^3/(h m^2)$ ]	A) 0,5 (tiivis)	B) 1,0	C) 2,0	D) 4,0	E) 8,0
Paine-ero [Pa]	$Q_v$ [l/s]	$Q_v$ [l/s]	$Q_v$ [l/s]	$Q_v$ [l/s]	$Q_v$ [l/s]
2	32	65	130	259	518
5	59	118	235	470	940
10	92	184	369	738	1475
15	120	240	480	960	1920
30	188	377	753	1507	3013
50	263	525	1050	2100	4200

Erittäin tiiviin rakennuksen (A) alipaineistaminen ulkoilmaan verrattuna 10 Pa alipaineiseksi, edellyttäisi poistoilmamäärän olevan 92 l/s tuloilmamäärää suurempi (ero n. 7 %). Yksittäistä luokkaa kohden tämä vastaisi 11,5 l/s enemmän poistoa. Vastaavasti ilmatiivyydeltään erittäin heikossa rakennuksessa E, 10 Pa alipaine edellyttäisi poistoilmamäärän olevan yli kaksinkertainen (1 475 l/s suurempi) tuloilmamäärään nähden.

Edellä esitetystä tarkastelusta on oleellista ymmärtää, että koko rakennuksessa hallitsemattomien ilmavuotojen määrä on yhtä suuri kuin tulo- ja poistoilmamäärien erotus. Ulkovaipan yli mitattua paine-eroa vastaava kokonaisvuotoilmamäärä riippuu rakennuksen ilmatiivyydestä. Tiiviissä rakennuksessa pienikin ero tulo- ja poistoilmamäärissä aikaansaa mitattavan paine-eron. Tiiviydeltään heikossa rakennuksessa sen sijaan vuotoilmamäärät voivat olla satoja litroja sekunnissa, vaikka paine-ero ulkovaipan yli on lähellä nolaa. Vaurioalueen ilmavuotojen merkityksen arvioimiseksi tulisikin tietää merkkiaine- tai lämpökuvaushavaintojen lisäksi sekä rakennuksen ilmatiiviyys, painesuhteet että ilmavaihdon tasapaino (tulo- ja poistoilmamäärät).

## 6.3 Työterveyslaitoksen olosuhdearvio

Työterveyslaitoksen vuonna 2022 julkaisema ja seuraavana vuonna päivittämä ohje olosuhdearvion tekemiseen (38) perustuu hieman edeltäjänsä tapaan eri osa-alueiden arviointiin annettujen kriteerien perusteella sisäilmastaselvityksen tulosten pohjalta. Arvioitavat osa-alueet ovat 1. rakennusosien ilmatiiviyys ja vuotoilma, 2. rakennusosien riskitekijät, 3. ilmastointijärjestelmä sekä 4. biologiset, fysikaaliset ja kemialliset tekijät. Osa-alueilla 1–3 on kussakin 6–7 kriteeriä, joilla on neljä vaihtoehtoa vastaten pisteitä 0–3. Osa-alueen pistemääräksi valikoituu se pistemäärä, jota vastaavia vaihtoehtoja kriteerit täyttävät eniten. Tasatilanteessa asiantuntijan tehtäväksi tulee valita parhaiten tutkittua rakennusta tai sen osaa kuvaava osatulos. Osa-alueella 4 kriteerejä on yksi ja sille neljä vaihtoehtoa. Jokaisesta osatuloksesta on mahdollista saada 0–3 pistettä, joiden yhteenlasku antaa arvioinnin kokonaispistemäärän, jonka perusteella tutkimusalue luokitellaan yhteen neljästä luokasta A–D.

### 6.3.1 Ilmavuotojen merkitys olosuhdearviossa

Ilmavuotoreitit huomioidaan olosuhdearviossa ensisijaisesti osa-alueessa 1. Kuitenkin myös osa-alueella 2 on yksi vuotoilmaan liittyvä kriteeri ja osa-alueella 3 kaksi näihin liittyvää kriteeriä. Arvion 20 kriteeristä siis yhteensä 9 liittyy ilmavuotoihin. Kuitenkaan näissä ei ohjeen mukaan saisi huomioida mahdollisia rakennusosista vuotoilman mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia, jotka tulisi arvioida osa-alueessa 4. Hieman ristiriitaisesti tämän kanssa tulisi kuitenkin arvioida seuraavat kriteerit (numeroitu ohjeessa esitetyn järjestyksen perusteella):

3. Vuotoilmareittien tai epätiivin materiaalin sijainti ei lisää/voi lisätä vähän/jonkin verran/paljon epäpuhtaan vuotoilman riskiä.

11. Vuotoilmaa kulkeutui rakennusosan sisältä, missä näkyviä kosteusvaurioita ei ole/on vähän/jonkin verran/paljon.

Ilmavuotojen merkityksen arviointikriteereissä valittava vaihtoehto perustuu mittaustulosten sijaan laadullisiin arvioihin vähän, jonkin verran paljon. Rakennuksen ilmatiiviyys, painesuhteet, ilmamäärät ja ilmavuotoreitit

arvioidaan erikseen, ei niiden yhteisvaikutuksen perusteella. Käytännössä samaa asiaa arvioidaan kriteereissä eri sanamuodoin useaan kertaan, esim. painesuhteita kriteereissä:

5. Vuotoilmaa tai poikkeavaa hajua ei kulkeudu/kulkeutuu ajoittain/lähes kokoaikaisesti/kokoaikaisesti rakennusosasta sisäilmaan.
6. Käytönaikainen alipaine ei lisää/lisää vähän/jonkin verran/paljon vuotoilman kulkeutumista.
15. Järjestelmästä johtuva alipaine ei lisää/voi lisätä/voi lisätä paljon/erittäin paljon vuotoilman kulkeutumisriskiä tai ylipaine ei aiheuta/voi aiheuttaa ajoittain/lähes kokoaikaisesti/kokoaikaisesti kosteusrasitusta rakennusosiin.

Ilmavuotojen merkityksen arviointi ei myöskään perustu edellä esitettyyn RT-kortin (39) luokitteluun, vaan se antaa asiantuntijalle mahdollisuuden arvioida näitä kyseistä luokitusta paremmin käyttäen kuitenkin laadullisia kriteereitä pistemäisiä/pieniä/keskikokoisia/suuria. Tästä luokittelussa mahdollisesti eri asiantuntijoiden välillä syntyviä eroja vähentääkseen kuntien sisäilmaverkoston ohjelunoksessa arviointi halutaan palauttaa RT-kortin luokitukseen, jota myös sovelletaan mahdollisimman tiukasti.

### 6.3.2 Olosuhdearvion laatimiseen liittyviä ongelmia

Jo edellisessä kappaleessa esille tuli mittaustulosten ohittaminen laadullisilla arvioilla, jotka aiheuttavat vaihtelua tuloksissa eri arvioijien välillä. Tätä lisää se, että monin paikoin käytetty termistö, ohjeistus ja tutkimusmenetelmät poikkeavat esimerkiksi Ympäristöministeriön kuntotutkimusoppaassa esitetyistä. Samoin edellä todettiin, että ohjeissa kielletty epäpuhtauksien huomioiminen vaikeuttaa osan kriteereistä arvioimista. PAH-yhdisteitä ei esimerkiksi saa huomioida osa-alueessa 1 vaan osa-alueessa 4, mutta niiden haju tulee kuitenkin arvioida osa-alueessa 1 eikä osa-alueessa 4.

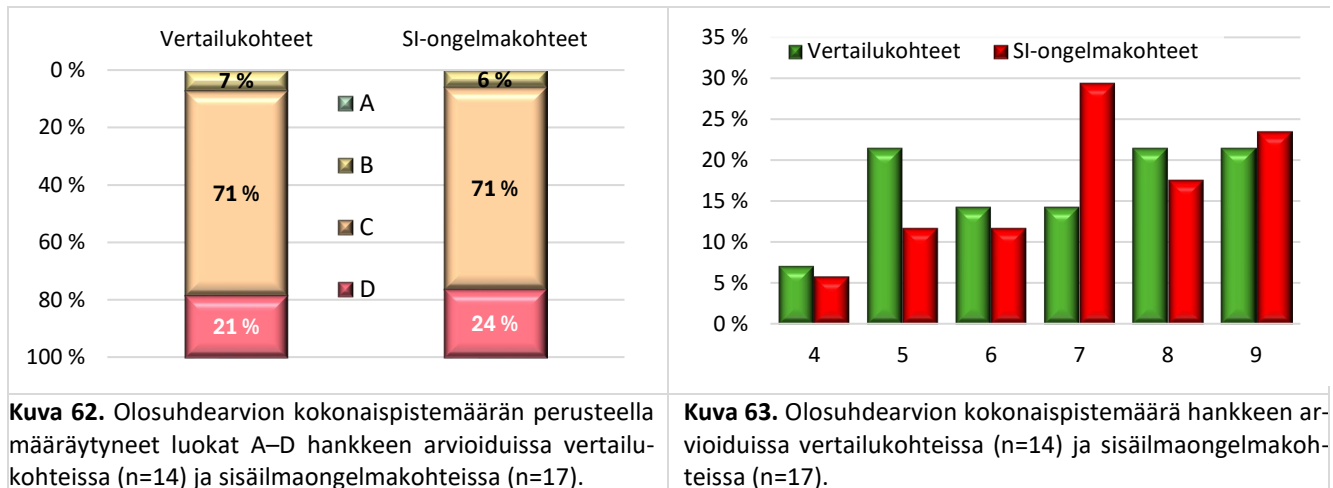
Osa-alueen 4 arviointi on myös haastavaa, koska mittaus- ja analyysitulokset tulee arvioida suhteessa tutkimusalueen kokoon. Osa-alueen pisteytyksessä saa huomioida vain ne tulokset, jotka eivät täytä vaadittuja ohje-, viite-, raja-arvoa tai toimenpiderajaa. Kuitenkin osatulos neljä edellyttää, että näistä viitearvon ylittävistä tuloksista suurin osa ei täytä viitearvoja. Ohjeen esimerkkien perusteella voidaan myös manipuloida arvion tulosta: vähentämällä näyte- ja mittausmääriä voidaan varmistua siitä, että viitearvot ylittävien tulosten määrät jäävät vähäisiksi suhteessa tutkimusalueen kokoon, vaikka ne kaikki ylittäisivät vaaditut viitearvot. Osa-alueen 4 haasteiden myötä arvioinnissa usein jopa toteutumattoman riskin merkitys on suurempi kuin todennetulla riskin toteutumisella.

Edellisten tekstimuotoiluihin liittyvien ongelmien lisäksi pisteytykseen liittyy haasteita. Hankkeen kuntotutkimuskohteita arvioitaessa hyvin nopeasti tuli vastaan useita tilanteita, jossa jonkin kriteerin valinta kahdesta vaihtoehdosta huonommaksi, johti osa-alueen kokonaisarvion muuttuvan paremmaksi. Tämä johtuu siitä, että yksittäisen kriteerin pisteytykset eivät summaudu. Samoin tämä voi johtaa siihen, että arvioinnissa parempaan luokkaan pääseminen voi onnistua jättämällä vauriot korjaamatta ja korjaamalla asiaa, jossa ei ollut merkittävää ongelmaa. Todellisissa kohteissa usein päädyttiin myös tilanteeseen, jossa sekä osatulos 0 että 3 saavat yhtä monta kriteeriosumaa. Epäselväksi ohjeistuksessa jää, tuleeko asiantuntijan tällöin valita osa-alueen tulokseksi jompikumpi näistä vai voiko hän valita myös tuloksen 1 tai 2, joita vastaavista kriteereistä ei välttämättä yksikään täyty.

Arvioinnin kokonaispisteiden perusteella määräytyy tulokseksi jonkin luokista A–D. Luokan A saavuttaminen on käytännössä mahdotonta, koska tällöin ei yhdenkään osa-alueen arviointi saa poiketa nollasta.

### 6.3.3 Olosuhdearviot hankkeen kuntotutkimuskohteissa

Edellä esitettyjen ohjepäivityksen vuoksi nykyohjein ei hankkeessa ehditty arvioida kuin pieni osa kuntotutkituista rakennuksista. Tämän vuoksi vertailu sisäilmaongelmakohteiden (17 kpl) sekä vertailukohteiden (14 kpl) on parhaimmillaankin suuntaa antava. Kuvassa 62 on esitetty näiden jakautuminen arvion perusteella luokkiin A–D sekä kuvassa 63 kokonaispistemäärät. A–D-luokituksessa ei havaita eroja vertailu- ja ongelmakohteiden välillä. Kokonaispisteiden keskiarvo vertailukohteissa oli hieman pienempi (6,8) kuin ongelmakohteissa (7,1).



Vaihteluja arvion laatimisessa testattiin kahdella kohteella A ja B, joista kummankin arvioi 7 eri rakennusterveysasiantuntijaa. Arviointi tehtiin kohteesta laaditun tiivistelmän perusteella ja siinä vastattiin kymmeneen (1–3, 6–8, 11, 15, 16 ja 20) arvioinnin 20 kohdasta, ja loput kiinnitettiin mittaustulosten tai havaintojen perusteella vaihtoehtoisiksi.

Arvioinnissa kohteesta A saatiin 6 ja kohteesta B 7 erilaista 10 vastauksen riviä. Kummassakin kohteessa eniten hajontaa aiheutti kriteeri 15 eli ilmastointijärjestelmästä johtuvan alipaineen vaikutuksesta vuotoilman kulkeutumisen riskiin tai rakennusosien kosteusrasitukseen (kummassakaan rakennuksessa ei ollut ilmastointia vain koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä). Kummankin rakennuksen kohdalla valituiksi tulivat kaikki vaihtoehdot 0–3. Muita vaikeita kriteerejä olivat numerot 6, 8 ja 11 (molemmissa rakennuksissa valittiin kolmea eri vaihtoehtoa).

Erilaisista valinnoista huolimatta rakennus A valikoitui kaikissa luokkaan C, kokonaispisteet olivat välillä 5–8 (yhdessä vastauksessa myös luokkaa D vastaava tulos 9 olisi ollut mahdollinen asiantuntija-arviona yhden osa-alueen tasatuloksen vuoksi).

Kohde B päättyi arvioiden perusteella joko luokkaan B (2 vastausta) tai C (5 vastausta, joista 3 olisi asiantuntija-arviona voinut päätyä luokkaan B). Kokonaispistemäärät vaihtelivat välillä 4–6, mutta asiantuntija-arviona osa-alueiden tasapisteiden vuoksi kokonaispistemäärä olisi voinut vaihdella välillä 2–7.







## 6.4 Tietokantahankkeen altistumisarvion periaatteet

Tietokantahankkeessa laadittu ja kokeiltu altistumisarviointi perustuu siihen, että jokainen altiste arvioidaan erikseen. Testattavaan kuntoon hankkeessa ehdittiin saada arviot mikrobiepäpuhtauksien ja teollisten mineraalikulitujen osalta. Tehtäessä arvio altisteittain, ei toisen altisteen tutkimustulokset sekoita arviota. Eri altisteita tai niiden mahdollista terveydellistä merkitystä ei arvioida eikä arveteta.

Toinen periaate on, että arviointikriteerit pyritään laatimaan mahdollisimman yksiselitteisiksi ja suoraan mitaus- ja analyysituloksiin perustuvaksi. Eri vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden mahdollinen vaikutus sisäilmaan laatuun pyritään selvittämään kokonaisuutena. Esimerkiksi ulkoseinässä todetun kosteus- ja mikrobivaurion merkitys perustuu materiaalinäytteiden tulosten perusteella arvioituun vaurion laajuuteen sekä kyseisestä ulkoseinärakenteesta todettujen ilmapuotojen merkityksen arvioimiseen rakennuksen tiiviys, painesuhteet ja ilmanvaihto huomioiden.

Tässä kappaleessa esitettävä arviomenetelmä on kehitetty ensisijaisesti tätä tutkimushanketta varten, eikä se ole vielä valmis. Menetelmää on toistaiseksi testattu vain pienelle määrälle kohteita. Tarkoitus on laajennetun testauksen perusteella tarkastella erikseen jokaisen arviointikriteerin toimivuutta. Vasta tämän jälkeen voidaan arvioida menetelmän käytettävyyttä yleisemmin.

### 6.4.1 Mikrobivaurioiden laajuus

Mikrobivaurioiden merkitystä arviotaessa vaurioiden laajuudet luokiteltiin erikseen rakenteiden ja sisäpintojen osalta. Lisäksi huomioitiin myös mikrobiperäisen hajun esiintyminen. Arviointikriteerit on esitetty taulukoissa 23–25. Taulukossa esitetyt koodien arvot kasvavat vaurioiden laajuuden myötä. Ne eivät sellaisenaan kuitenkaan anna arviota mikrobivaurion merkityksestä, koska tähän vaikuttaa etenkin rakenteiden vaurioiden osalta myös ilmapuodot ko. rakenteesta sisäilmaan. Eri taulukoiden koodit eivät siten ole keskenään vertailukelpoiset.

**Taulukko 23.** Rakenteiden mikrobivaurioiden laajuuden arviointikriteerit.

RTTK Rakenteiden mikrobivaurion laajuus	koodi
Ei ole riskirakenne. Materiaalinäytteissä ei analyysin varmistettua/aistinvaraisesti havaittavaa mikrobikasvua.	1
On riskirakenne. Materiaalinäytteissä ei analyysin varmistettua/aistinvaraisesti havaittavaa mikrobikasvua.	2
Rakenteessa on materiaalinäyttein/aistinvaraisesti todennettuna enintään paikallisia, pienialaisia mikrobivaurioita.	3
On riskirakenne, jota ei ole tutkittu (/kyetty tutkimaan) materiaalinäyttein.	4
Rakenteessa on materiaalinäyttein todettuna laaja-alainen mikrobivaurio.	5
Rakenteita ei ole tutkittu riittävästi arvioinnin tekemiseksi. Altistumisriskiä mikrobiepäpuhtauksille ei voida arvioida!	X

Rakenteiden mikrobivaurion laajuuden arvioiminen materiaalinäytetulosten perusteella edellyttää, että niitä on otettu riittävästi, joka tapauksessa useita jokaisesta arvioitavasta rakenteesta. Esimerkiksi edellä esitetyn rakennuksen B tuulettumaton tiili-villa-tiili -ulkoseinä on riskirakenne. Sen lämmöneristeistä otetuista 23 näytteestä yhdenkään tulos ei osoittanut mikrobikasvua. Ainoastaan yhdessä näytteessä esiintyi poikkeavaa lajistoa siten, että näytteen tulos on: voi viitata mikrobikasvuun. Tuloksen perusteella valittaisiin arvioinnissa koodia 2 vastaava vaihtoehto.

Asumisterveysasetuksen mukaan korjaamaton kosteusvaurio rakennuksen sisäpinnoilla ylittää toimenpiderajan mikrobeiden osalta. Sisäpintojen kosteusvaurioiden arvioinnissa vaurion laajuus tulee suhteuttaa arvioitavan tilan kokoon. Käytännössä voi olla hyödyllistä tehdä arvio erikseen sekä rakennuksen muille tiloille että alueelle, jossa kosteusvaurioita on havaittu. Suurella tilalla vaurion systemaattisuus vaikuttaa asiaan. Kosteusvaurioksi ei tule automaattisesti tulkita jokaista kosteuden aiheuttamaa jälkeä pinnalla. Yleisesti vauriossa jokin materiaali muuttuu pysyvästi, ei vain likaannu.

**Taulukko 24.** Sisäpintojen kosteusvaurioiden luokittelukriteerit.

RTTK Sisäpintojen kosteusvauriot	koodi
Sisäpinnoilla ei ole kosteusvaurioita	1
Sisäpinnoilla on arviointialueen laajuuteen suhteutettuna paikallinen/yksittäisiä paikallisia, pienialaisia kosteusvaurioita	2
Sisäpinnoilla on arviointialueen laajuuteen suhteutettuna useita paikallisia, pienialaisia kosteusvaurioita	4
Sisäpinnoilla on arviointialueen laajuuteen suhteutettuna laaja-alainen kosteusvaurioita	6

Kuntotutkimusten yhteydessä toistuvasti havaittu ja mikrobiperäiseksi tunnistettu hajua vahva indikaattori mikrobikasvusta jossain rakenteessa, josta ilmaa kulkeutuu sisätiloihin. Havainto jää usein helposti materiaalinäytteen tulosten varjoon, minkä takia katsottiin tarpeelliseksi arvioida se erikseen.

**Taulukko 25.** Mikrobiperäisten hajujen arviointikriteerit

RTTK Mikrobiperäiset hajut	koodi
Arviointialueella ei ole havaittu mikrobiperäistä hajua (tutkijat ja käyttäjät)	1
Arviointialueen laajuuteen suhteutettuna pienellä alueella on havaittu ajoittain mikrobiperäistä hajua (tutkijat)	2
Arviointialueen laajuuteen suhteutettuna pienellä alueella on havaittu toistuvasti/lähes jatkuvasti mikrobiperäistä hajua (tutkijat)	3
Arviointialueen laajuuteen suhteutettuna laajalla alueella on havaittu ajoittain mikrobiperäistä hajua (tutkijat)	5
Arviointialueen laajuuteen suhteutettuna laajalla alueella on havaittu toistuvasti/lähes jatkuvasti mikrobiperäistä hajua (tutkijat)	6

## 6.4.2 Ilmavuotojen merkityksen arviointi

Jotta rakenteiden sisällä olevien vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden vaikutusta sisäilman laatuun voidaan arvioida, tulee selvittää ilmavuotojen merkitys kyseisestä rakenteesta sisäilmaan. Kuten edellä esitettiin, tulee tässä huomioida ilmavuotoreittien kartoituksen ja laajuuden lisäksi rakennuksen painesuhteet (paine-ero tutkittava rakenteen yli) sekä rakennuksen ilmatiiviyys ja/tai ilmanvaihdon tasapaino (tulo- ja poistoilmamäärien suhteet). Ilmavuotojen merkitys arviointi ei seuraavan ohjeistuksen avulla ole yksiselitteistä ja vaatii kokemusta. Ilmavuotoina vaurioalueelta sisäilmaan kulkeutuvan ilmamäärän suuruusluokka pitäisi kuitenkin kyetä arvioimaan ja suhteuttamaan tilan kokoon ja kokonaisilmanvaihtoon. Esimerkiksi suuruusluokaltaan ml/s olevan ilmavuodon vaikutus edes pienessä tilassa, jonka tuloilmamäärä on tähän nähden tuhatkertainen (luokkaa l/s), ei voi olla kovin merkittävä.

### Ilmavuotoreittien laajuus

Ilmavuotokartoituksessa merkkiainetutkimuksin tai lämpökuvauksin havaitut ilmavuodot luokitellaan RT-kortista (39) poiketen seuraavasti:

- **Pistemäinen:** halkaisijaltaan enintään 2 mm oleva paikallinen vuoto, joka -10 Pa alipaineessa on merkkiainekokeessa selvästi havaittavissa ja paikannettavissa, mutta ei estä muiden lähelläkään sijaitsevien vuotojen paikantamista. Esimerkiksi tiivistyskorjauksen pienet työvirheet. Ilmavuoto on havaittavissa myös hyvällä lämpökameralla ja mahdollista varmentaa merkkisavulla. Ilmavuotomäärä vuotoreitin kautta on enimmillään luokkaa 10 ml/s 10 Pa alipaineessa. Määrittely vastaa RT-kortin määritelmää.
- **Vähäinen:** halkaisijaltaan enintään 6 mm reikä tai maksimissa 1,5 mm rakomainen vuoto enintään 5 cm matkalla ("monta pistemäistä vierekkäin). Merkkiainetutkimuksissa vuoto erottuu selvästi, mutta ei häiritse muiden vastaavien tai pistemäisten vuotojen havaitsemista. Ilmamäärä vuodon kautta on luokkaa 100 ml/s 10 Pa alipaineessa ja 250 ml/s 30 Pa alipaineessa.
- **Kohtalainen:** enintään 1 mm rakomainen vuoto enintään 1 m matkalla (2 mm rako 10 cm) Ilmamäärät vuotoreitin kautta luokkaa 0,5 l/s 10 Pa ja 1,5 l/s 30 Pa alipaineissa. Merkkiainetutkimuksessa esim. rakenneliittymä, josta vuotoa tulee, on paikallistettavissa, pistemäiset ja vähäiset vuodot eivät erotu. Vuoto ei estä havaitsemasta muista vastaavista saman tilan rakenneliittymistä tulevaa vuotoa. Lämpökuvauksessa vuoto on hyvällä kameralla selvästi havaittavissa.
- **Merkittävä:** ilmavuoto, jonka kautta huoneeseen leviävä merkkiaine estää nopeasti eri vuotolähteiden erottamisen toisistaan. Ilmavuotomäärä vastaa tai ainakin lähestyy suuruudeltaan tulo- ja poistoilmamäärien erotusta.
- **Suora ilmayhteys:** Selvästi erottuva, vähintään sentin leveä koko rakenteen läpäisevä rako, josta näkyy suoraan esim. seinän eristetilaan. Ilmavuotomäärä vastaa suuruudeltaan tulo- ja poistoilmamäärien erotusta. Arvioidaan jatkokäsittelyssä samaan luokkaan kuin merkittävä ilmavuodot.

Kartoitus tehdään 10 Pa alipaineessa tai tätä suuremmassa alipaineessa, mikäli se vastaa normaalia käyttötilanetta. Kriteeristö on suhteutettu 1–2 hlön huoneen tutkimukseen. Laajemmissa tiloissa tulee huomioida vuotoreittien systemaattisuus.

Kartoituksen perusteella luokitellaan ilmavuodot rakennekohtaisesti taulukon 26 mukaisesti luokkiin:

**Taulukko 26.** Ilmavuotojen luokittelu rakennekohtaisesti.

RTTK Ilmavuodot	koodi
Ei ilmavuotoja alipaineistettuna (-10 Pa)	1
Pistemäisiä tai vähäisiä ilmavuotoja alipaineistettuna (-10 Pa)	2
Kohtalainen ilmavuoto alipaineistettuna (-10 Pa)	3
Merkittävä ilmavuoto alipaineistettuna (-10 Pa)	4
Ilmavuotoja rakenteista ei ole selvitetty,	X

### Painesuhteiden luokittelu

Rakennuksen painesuhteita ulkovaipan ja eri tilojen välillä ilmanvaihdon kaikissa käyttötilanteissa tulee selvittää vähintään viikon paine-eroseurannoin. Seurantamittausten tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida paine-eron perustasot ilmanvaihdon eri käyttötilanteissa, ei mittausjakson suurinta ja pienintä arvoa. Seurantamittausten tulosten perusteella valitaan taulukosta 27 rakennuksen painesuhteita parhaiten kuvaava vaihtoehto.

**Taulukko 27.** Painesuhteiden luokittelu altistumisarviota varten.

RTTK Paine-erot	koodi
Jatkuvasti ylipaineinen ulkoilmaan/vauriotuneisiin rakenteisiin nähden (> 5 Pa)	1
Jatkuvasti lähes nollapaineinen -2 Pa...+5 Pa	2
Rakennus on merkittäviä aikoja lievästi alipaineinen, enimmillään -5 Pa	3
Rakennus on toistuvasti merkittäviä aikoja selvästi alipaineinen (-15...-5 Pa)	4
Rakennus on toistuvasti merkittäviä aikoja voimakkaasti alipaineinen (...-15 Pa)	5
Paine-eroseurantoja ei ole tehty	X

### Rakennuksen ilmatiiviys

Rakennuksen ilmatiiviys luokitellaan joko suoraan mittaustuloksesta (objektiivisena suositeltavin tapa) tai esimerkiksi lämpökuvauksen, ilmamäärämittausten, paine-eroseurantojen ja selvitettyjen rakenteiden perusteella arvioituna. Tiiviysmittauksen ja paine-eroseurannan tulosten perusteella voidaan hyvällä tarkkuudella laskea, paljonko rakennukseen (tai rakennuksesta) kulkeutuu ilmaa hallitsemattomasti. Jos ilmatiiviuden arviointi ei perustu mittaukseen, voidaan apuna käyttää esimerkiksi taulukon 22 tietoja: jos paine-eroseurannassa rakennus on jatkuvasti voimakkaasti (> 15 Pa) alipaineinen, sen ilmatiiviys tuskin on huono. Mitattua tai arvioitua ilmatiiviyttä vastaava vaihtoehto valitaan taulukosta 28.

**Taulukko 28.** Rakennusten luokittelu mitatun tai arvioidun ilmatiiviytensä perusteella, ilmanvuotoluvun  $q_{E50}$  yksikkö on  $m^3/(h m^2)$ .

Rakennuksen ilmatiiviys	koodi
Tavanomaista tiiviimpi, $q_{E50} < 1$ (mitattu)	1
Tavanomainen $1 \leq q_{E50} < 4$ (mitattu tai arvioitu esim. lämpökuvauksen perusteella)	2
Tavanomaista heikompi $4 \leq q_{E50} < 8$ (mitattu tai arvioitu)	3
Huono $q_{E50} > 8$ (mitattu, poikkeustapauksissa arvion perusteella)	4

## 6.4.3 Mikrobivaurioiden merkityksen arviointi

Edellisten tehtyjen valintojen (Taulukot 23, 26, 27 ja 28) perusteella arvioidaan mikrobivaurioiden merkitys kahdessa vaiheessa kuvissa 66 ja 67 esitettyjen taulukoiden avulla. Taulukoiden käytön selittäminen tekstinä voi vaikuttaa monimutkaiselta. Tämä voidaan kuitenkin helposti automatisoida esim. Excel-taulukkoon, siten että täyttämällä kuvissa 64 ja 65 kysytyt tutkimustiedot rakenteittain, saadaan objektiivisesti näitä tietoja vastaava arviointiehdotus asiantuntijan tarkastettavaksi.

Arviointi aloitetaan yhdistämällä ensin painesuhteet ja ilmavuotojen laajuudet kuvan 66 taulukon avulla seuraavasti. Vasemman reunan värjäämättömältä asteikolta valitaan taulukosta 27 valittua vaihtoehtoa vastaava vaakarivi (1–5). Alarivin asteikolta valitaan pystysarake taulukosta 26 valitun vaihtoehdon mukaan (1–4) perusteella. Mikäli rakenteesta todetaan merkittäviä ilmavuotoja (koodi 4) ja rakennuksen ilmatiiviys on tavanomainen (taulukon 28 koodi 2) käytetään pystysaraketta 5. Jos ilmatiiviys on vielä tätä heikompi, käytetään pystysaraketta 6. Valitun vaakarivin ja pystysarakkeen risteyksestä luetaan arvo ilmavuodon merkitykselle. Esimerkiksi jos taulukosta 27 on painesuhteita kuvaavaksi koodiksi valittu 4 ja taulukosta 26 ilmavuodoille koodi 3, luetaan vastaukseksi ilmavuotoa kuvaava arvo 3 (nuolet kuvassa 66).

Saadun arvon mukaan valitaan kuvan 67 taulukosta pystyriivi ja taulukon 23 perusteella vaakarivi, joiden risteyksestä saadaan numeerinen arvio (1–6) kyseisen rakenteen mikrobivaurion merkitykselle. Tarkastelu tulee tehdä rakenteittain ja kokonaisarviona käytetään edellä kuvatulla tavalla saatua suurinta arvoa.

		Ilmatiiviys					
		1	2	3 ja 4			
Painesuhteet (taulukko 27)	5	2	2	3	5	6	<del>6</del>
	4	1	2	3	4	6	6
	3	1	2	2	3	5	6
	2	1	2	2	3	4	5
	1	1	1	1	2	2	1
		1	2	3	4	5	6
		Ilmavuodot (taulukko 26)					

		Ilmavuotojen merkitys (kuva 66)					
		1	2	3	4	5	6
Vaurion laajuus (taulukko 23)	5	2	3	4	5	6	6
	4	1	2	3	4	5	5
	3	1	2	2	3	4	4
	2	1	1	1	2	2	3
	1	1	1	1	1	1	2
		1	2	3	4	5	6

**Kuva 66.** Ilmavuodon merkityksen arviointi ilmavuotojen laajuuden, painesuhteiden ja rakennuksen ilmatiiviuden perusteella. Nuolet selkeyttävät tekstin esimerkkiä.

**Kuva 67.** Rakenteiden mikrobivaurion merkityksen arviointi vaurion laajuuden ja ilmavuotojen merkityksen perusteella.

#### 6.4.4 Teollisten mineraalikuitujen altistumisarvio

Teollisten mineraalikuitujen osalta altistumisarvio tehdään sekä näytetuloksiin että kuitulähdehavaintojen perusteella erikseen sisäpinnoilta ja tuloilmajärjestelmästä. Taulukosta 29 valitaan kuitunäytetulosten perusteella sopivin vaihtoehto. Taulukon teksteissä on suluisia esitetty toimenpiderajan ylitystä vastaavat näytetulokset, mikä mittausepävarmuus on alle 30 %.

**Taulukko 29.** Arvioitavan alueen luokittelu kahden viikon pölylaskeumasta otettujen kuitunäytteiden tulosten perusteella.

Mineraalikuidut, näytetulokset 14 vrk laskeuma (suhteutettuna arviointialueeseen)	
Kaikissa näytteissä kuitupitoisuus alle määrittysrajan eli $< 0,1 \text{ k/cm}^2$	1
Yksittäisiä kuituja ( $0,1\text{--}0,21 \text{ k/cm}^2$ ) näytteissä, kaikki alle tmp:n (lukuarvot ilman mittausepävarmuuden huomioimista)	2
Toimenpideraja ylittyy yksittäisissä ( $< 15\%$ ) laskeumanäytteissä (tulos $\geq 0,28 \text{ k/cm}^2$ , ilman mev vähennystä)	3
Toimenpideraja ylittyy muutamissa ( $15\text{--}30\%$ ) laskeumanäytteissä (tulos $\geq 0,28 \text{ k/cm}^2$ , ilman mev vähennystä)	4
Toimenpideraja ylittyy useissa ( $> 30\%$ ) laskeumanäytteissä, tulos $\geq 0,28 \text{ k/cm}^2$ (ilman mittausepävarmuutta)	5
Kahden viikon laskeumanäytteitä ei ole otettu	X

Näytetulosten lisäksi arvioidaan myös sisäpintojen kuitulähteiden esiintymistä taulukon 30 perusteella. Tässäkin arvioinnissa tulos tulee suhteuttaa arvioitavan alueen laajuuteen. Yksittäistä rikkoutunutta akustiikkalevyä isossa avotoimistossa ei tule luokitella merkittäväksi kuitulähteeksi. Tosin sen korvaaminen on yksinkertainen toimenpide, joka tulisi tehdä ilman tutkimuksiakin.

**Taulukko 30.** Sisäpintojen kuitulähteiden merkityksen arviointi.

Kuitulähteet, sisäpinnot, rakenteet	
Ei havaittu kuitulähteitä sisäpinnoilla	1
Vähäisiä kuitulähteitä sisäpinnoilla (esim. osin pinnoittamattomat akustiikkalevyt)	2
Rakenteissa olevaa mineraalivilla on suorassa ilmayhteydessä sisäilmaan	3
Merkittäviä kuitulähteitä sisäpinnoilla (esim. iäkkäät ja haurastuneet ja/tai rikkoontuneet akustiikkalevyt)	4
Poikkeuksellisia kuitulähteitä sisäpinnoilla, esim. laajoja avoimia villapintoja	5

Tuloilmajärjestelmän kuituja arvioidaan vastaavasti sekä näytetulosten että kuitulähdehavaintojen perusteella taulukoista 31 ja 32. Mikäli arvioitavassa tilassa käytetään palautusilmaa, tulee myös poiston kuitulähteet huomioida. Tuloilmakanavien kuitunäytteille/-pitoisuuksille ei ole annettu toimenpiderajaa eikä nykyään enää muitakaan viitearvoja. Tässä ehdotuksessa käytetyt rajat  $10$  ja  $30 \text{ kuitua/cm}^2$  on valittu aiemmin käytössä olleiden viitearvojen mukaan.

**Taulukko 31.** Tuloilman teollisten mineraalikuitujen merkityksen arviointi tuloilmajärjestelmän sisäpinoilta otettujen teipinäytteiden perusteella.

Mineraalikuidut, näytetulokset tuloilmajärjestelmä (myös poisto, jos käytetään palautusilmaa)	
Kaikissa tuloilmajärjestelmän näytteissä kuitupitoisuus alle 10 k/cm <sup>2</sup> .	1
Näytteiden kuitupitoisuudet enintään välillä 10–30 kpl/cm <sup>2</sup>	2
Yksittäisissä näytteissä kuitupitoisuudet yli 30 kpl/cm <sup>2</sup> , ja muissa pääosin (>70 %) alle 10 kpl/cm <sup>2</sup> .	3
Yksittäisissä näytteissä kuitupitoisuudet yli 30 kpl/cm <sup>2</sup> , ja useassa (> 30 %) välillä 10–30 kpl/cm <sup>2</sup>	4
Useissa näytteissä (>30 %) kuitupitoisuudet yli 30 kpl/cm <sup>2</sup>	5
Tuloilmajärjestelmästä ei ole otettu kuitunäytteitä	X

**Taulukko 32.** Tuloilman kuitulähteiden merkityksen arvioiminen

Kuitulähteet, tuloilmajärjestelmä (myös poisto, jos käytetään palautusilmaa)	
Ei havaittu kuitulähteitä tuloilmajärjestelmässä	1
Vähäisiä kuitulähteitä (esim. ehjät kankaalla pinnoitetut äänenvaimentimet)	2
Kohtalaisia kuitulähteitä (esim. pieniltä alueilta rikkoutunut suojakangas villan päällä)	3
Merkittävä yksittäinen kuitulähde (esim. pinnoittamatonta pienellä alalla, kuten yksittäinen äänenvaimennin/päätelaitte)	4
Merkittäviä kuitulähteitä tuloilmajärjestelmässä (esim. pinnoittamatonta villaa systemaattisesti tai laajasti IV-koneen sisäpinoilla)	5

Taulukoiden 29–32 valintojen perusteella valitaan kuvien 68 ja 69 taulukoista vastaavasti kuin mikrobivaurioita arviotaessa.

kuitunäytteet (2 vko), taulukko 29	5	5	5	5	5	5	kuitunäytteet (tuloilma), taulukko 31	5	3	4	4	5	5
	4	4	4	4	5	5		4	2	3	3	4	5
	3	2	2	3	4	5		3	2	2	3	4	5
	2	1	2	2	4	5		2	1	2	3	4	5
	1	0	1	2	3	5		1	0	1	2	3	5
		1	2	3	4	5			1	2	3	4	5
<b>Sisäpintojen kuitulähteet, taulukko 30</b>						<b>tulo-IV:n kuitulähteet, taulukko 32</b>							
<p><b>Kuva 68.</b> Teollisten mineraalikuitujen altistumisarvio laskeumanäytteiden ja sisäpintojen kuitulähteiden perusteella.</p>						<p><b>Kuva 69.</b> Teollisten mineraalikuitujen altistumisarvio tuloilmanvaihtojärjestelmän näytteiden ja kuitulähteiden perusteella.</p>							

## 6.4.5 Yhteenvedon arvioinnin tuloksista

Kun edellä esitetyt arvioinnit on tehty, tulee niiden tulokset vielä koota yhteen kokonaisarvioksi. Tässä voidaan käyttää apuna esimerkiksi taulukkoja 33 ja 34.

**Taulukko 33.** Koontitaulukko altistumisarviosta mikrobiepäpuhtauksille.

ALTISTUMISRISKI MIKROBIEPÄPUHTAUKSILLE	Arvio 1–6
Ilmavuotojen merkitys	5
Rakenteiden sisällä olevien mikrobivaurioiden merkitys (merkityksellisin rakennusosa)	2,0
Rakenteissa olevien mikrobivaurioiden merkitys ilmanvaihdon tehokkuus huomioituna	2,0
Sisäpinoilla olevien kosteusvaurioiden merkitys ilmanvaihdon tehokkuus huomioituna	2,0
Mikrobi-peräisen hajun esiintyvyys	1,0
<b>ALTISTUMISRISKI MIKROBIEPÄPUHTAUKSILLE asteikolla 1–6</b>	<b>2,0</b>
<b>Kokonaisarvio altistumisriskistä mikrobiepäpuhtauksille</b>	
Tutkimuksiin perustuvan arvon perusteella todennäköisyys altistua mikrobiepäpuhtauksille on pieni (2/6).	

Taulukossa 33 on esitetty erikseen ilmavuotojen merkitys, joka on huomioitu rakenteiden sisällä olevien mikrobivaurioiden merkityksen arvioinnissa. Ilmanvaihdon tehokkuus on tässä huomioitu sekä rakenteiden sisäisten että sisäpintojen vaurioiden merkityksen arvioinnissa siten, että moitteettomasti toimiva ja selvästi tavanomaista tehokkaampi ilmanvaihto (tuloilmamäärät > 8 l/s henkilöä kohden, sisäilman olosuhteet Sisäilmastolukituksen 2018 S1-luokassa) alentaa arviota yhdellä. Vastaavasti arviota korotetaan yhdellä, mikäli tuloilma ja sisäilman olosuhteet eivät täytä Asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen edellyttämiä vaatimuksia. Mikrobi-peräisten hajujen osalta ilmanvaihdon tehokkuutta ei huomioida. Kokonaisarvioksi (1–6) valitaan edellä esitetyistä korkein arvo. Selvää on, että taulukoiden lisäksi tulokset ja niiden perusteet tulee raportoida myös tekstinä.

**Taulukko 34.** Koontitaulukko altistumisarviosta teollisille mineraalikuuduille.

ALTISTUMISRISKI TEOLLISILLE MINERAALIKUIDUILLE		Arvio 0-5
Teolliset mineraalikulut, sisäpintojen lähteet ja 14 vrk laskeumanäytteet		3,0
Näytetulosten merkitys, tuloilmajärjestelmä		5,0
ALTISTUMISRISKI TEOLLISILLE MINERAALIKUIDUILLE		4
<b>Kokonaisarvio altistumisriskistä teollisille mineraalikuuduille</b>		
Tutkimuksiin perustuvan arvon perusteella todennäköisyys altistua teollisille mineraalikuuduille on tavanomaista suurempi (4/6).		

Teollisten mineraalikuutujen osalta altistumisarviossa suurempi painoarvo annetaan laskeumanäytteiden ja sisäpintojen kuitulähteiden perusteella tehdyille arvioille. Laskeumanäytteille on annettu toimenpideraja ja käytännössä tuloilmajärjestelmässä esiintyvät kuidut eivät aina kulkeudu sisäilmaan. Laskeumanäytteiden heikkouksien ja suurten virhemahdollisuuksien vuoksi kokonaisarviota ei kuitenkaan tehdä kokonaan niiden perusteella. Jos tuloilmajärjestelmän kuitujen arvosana on sisäilman ja -pintojen arviota suurempi, käytetään kokonaisarviona näiden keskiarvoa.

## 7 Kansallinen rakennusterveystietokanta

Rakennusterveystietokannan aineisto koostuu vain yhden alan toimijan kuntotutkimustiedoista. Kuitenkin jo tällä aineistolla saavutetut tulokset antavat perusteen tietokannan laajentamiseksi kansalliseksi sekä havainnollistavat sen merkitystä ja mahdollisuuksia rakennusterveyteen ja sisäilmaan liittyvässä tieteellisessä tutkimuksessa. Tietokannan laajentaminen valtakunnalliseksi nopeuttaisi aineiston keräämistä ja parantaisi merkittävästi tulosten yleistettävyyttä. Erityisesti maantieteellisen sijainnin vaikutusta rakennusten ja rakennuskannan kuntoon olisi luotettavampaa analysoida, mikäli kuntotutkimustuloksia olisi tasaisesti eri käyttötarkoituksen ja ikäluokkien rakennuksista kaikissa maakunnissamme.

Kansallisen tietokannan luomisessa olisi kustannustehokasta ja järkevää hyödyntää olemassa olevia rakennusterveystietokantoja, kuten Senaatti-kiinteistöjen tilatietopalvelua. Tilatietopalvelu perustuu keväällä 2020 käynnistyneessä Maakuntien tilakeskuksen hankkeessa luotuun tietojärjestelmään, johon oli tavoitteena koota kuntien ajantasaisia tilatietoja, kuten tilojen lukumääriä, pinta-aloja, käyttötarkoituksia, kuntoa, kustannuksia ja investointeja. Hankkeeseen osallistui kaksi kolmasosaa Manner-Suomen kunnista ja kesäkuussa 2023 mukana oli yli 200 sopimuskuntaa. Mikäli tietokantaan tallennettaisiin aikaleimattuina myös kuntotutkimus- ja korjaustiedot, olisi niiden perusteella mahdollista selvittää myös eri toimenpiteiden vaikutusta rakennuksen käytettävyyteen.

Tilatietopalvelussa, kuten Rakennusterveystietokannassakin, rakennus ja sen pysyvä rakennustunnus muodostavat yksiselitteisen ja identifioivan perusyksikön, joka on helppo luokitella mm. käyttötarkoituksen ja sijainnin perusteella. Kuntotutkimustuloksia varten tämä ei kuitenkaan ole riittävä luokittelu, koska ainakin rakennuksen iällä ja rakenteilla todettiin tässäkin hankkeessa olevan merkittävä vaikutus mm. mikrobivaurioiden esiintymiseen. Ikä ja rakenteet voivat vaihdella ei ainoastaan rakennusten välillä mutta myös saman rakennuksen eri osien välillä. Niinpä tietokannassa tulee erottaa ja identifioida rakennusten (pysyvä rakennustunnus) lisäksi myös rakennuksenosat, joihin kaikki tutkimukset tulee kohdistaa.

Tässä hankkeessa huomattavan suuri työpanos kului näyteaineiston keräämiseen, tarkastamiseen ja tarkentavien tietojen etsimiseen. Ehdoton edellytys toimivalle tietojen keruulle on, että näytelähetteisiin kirjataan tutkimus- ja näytekohtaisesti määrämuotoisina kaikki oleelliset näytteitä määrittävät tiedot. Nämä tiedot yhdessä näytetulosten kanssa tulisi siirtää suoraan laboratorioilta tietokantaan. Tämän edellytyksenä on luonnollisesti, että vaadittavat tiedot (esim. rakennetyypit) on määritetty yksiselitteisesti. Tässä voidaan hyödyntää tämän hankkeen kokemuksia.

Vuosien varrella sekä kuntotutkimusten ohjeistukset, menetelmät, raportointi ja myös tilaajien osaaminen on muuttunut ja kehittynyt. Näin ollen tietojen kerääminen tästä vanhasta aineistosta on huomattavan työlästä verrattuna sen tallentamiseen jo tutkimusraportoinnin yhteydessä. Uusissa tutkimuksissa voitaisiin myös jo tutkimussuunnitelmavaiheessa varmistua, että kaikki tarvittavat tiedot tulevat selvitettyiksi. Kiinteistön omistajien hallinnoimina tietokannan rakennuksille olisi mahdollista yhdistää riittävän laajat tiedot myös siinä tapauksessa, että tutkimukset tehdään osatutkimuksina usean toimijan toimesta (esimerkiksi ilmanvaihdon tutkimukset erillisinä).

Koettujen sisäilmaongelma ja -oireilutietojen yhteyttä rakennuksen kuntoon olisi mahdollista selvittää kansainvälisestikin ainutlaatuisella tavalla, mikäli samaan järjestelmään voitaisiin tuoda rakennuksiin kohdistettua tilastollista tietoa sisäilmakyselyistä, työterveyshuollosta tai jopa Kunta10-tutkimuksesta.



## 8 Johtopäätökset

Tutkimushankkeen tärkeimmät havainnot ja tulokset ovat seuraavia:

- Hankkeessa käytettyjen perusteellisesti kuntotutkittujen rakennusten määrä oli suuri (420 kpl), joista noin kolmasosa vertailurakennuksia. Tämä on poikkeuksellista, sillä tieteellisissä tutkimuksissa vertailurakennukset on yleensä valittu kyselytutkimusten tai pinnallisten kartoitusten perusteella, ilman laajoja kuntotutkimuksia.
- Rakennusten jako sisäilmaongelma- ja vertailukohteiksi oli onnistunut, koska näiden luokkien välille saatiin tilastollisesti erittäin merkitsevät erot sekä kuntoarviomenetelmin havaittavien merkittävien mikrobi- ja kosteusvaurioiden esiintymisessä että materiaalinäytteiden mikrobianalyyysien tulosjakaumissa.
- Hankkeen aineistossa kuntotutkimusmenetelmin merkittäviä kosteus- ja mikrobivaurioita havaittiin yhtä paljon, eli lähes 70 %:ssa kaikista kuntotutkituista rakennuksista riippumatta siitä, oliko niissä koettu sisäilmaongelmaa. Koska tieteellisissä sisäilmatutkimuksissa luokittelu ongelma- ja vertailurakennuksiin perustuu tyypillisesti aistinvaraisiin katselmuksiin, on mahdollista, että aineistojen vertailurakennuksissa on ollut myös kosteus- ja mikrobivaurioita, joiden todentaminen olisi edellyttänyt kuntotutkimuksia. Tällä olisi todennäköisesti ollut vaikutusta myös tutkimustulosten tulkintaan.
- Mikrobien suoraviljelynäytteiden tulkintaohjeet ovat monitulkintaisia. Verrattaessa kolmea eri soveltamisohjeen mahdollistamaa tulkintaa, todettiin eri tulkintojen muuttavan mikrobikasvuun mahdollisesti viittaavien tulosten osuutta näyteaineistossa jopa 6 %-yksikköä. Tulkintaohjeita tulisi selkiyttää.
- Soveltamisohjeessa aiempaan vaatimukseen lisätyn Hagem-alustan käytön M2-alustan rinnalla todettiin vaikuttavan alle 1 % näytetuloksista. Tuloksen perusteella tulisi harkita neljännen alustan tarpeellisuutta, koska sen poisjättäminen säästäisi kustannuksia vaikuttamatta merkittävästi tuloksiin.
- Mikrobinäytteiden tulosjakaumissa sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden välillä todettiin tilastollisesti merkitseviä eroja. Esim. mineraalivilla- ja kipsilevynäytteissä sekä sokkelihalkaisuista ja valesokkeleista otetuissa näytteistä esiintyy enemmän mikrobikasvua sisäilmaongelma- kuin vertailukohteissa. Yli kahdessa kolmasosassa (72 %) kuntotutkituista ongelmakohteista ja noin puolessa (51 %) vertailukohteista mikrobimateriaalinäytteistä yli 15 % osoitti mikrobikasvua. Aineiston laajuuden vuoksi kaikkia analyysejä ei ole vielä ehditty tekemään. Tutkimusaineiston analyysiä on suositeltavaa jatkaa.
- Näyteaineiston perusteella eri laboratorioiden teollisten mineraalikuitujen analyysien välillä on tilastollisesti merkitsevä ero. Tämän viittaa siihen, että nykyinen ohjeistus kuitujen määrittämiseen laboratorioissa mm. kuitukimpuille, -klustereille ja -matriiseille tai katkenneille kuiduille on puutteellista. Tulkintaohjeita tulisi selkiyttää.
- Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa kuitujen keräysmenetelmää ja tulkintaa on vuosien kuluessa päivitetty mm. edellyttämällä keskiarvojen ottamista tilakohtaisista tuloksista mittausepävarmuus huomioiden. Toimenpiderajaa ei kuitenkaan ole muutettu. Tämä on johtanut siihen, että toimenpiderajan ylitykset ovat vähentyneet. Toimenpiderajan numeerisen arvon ylittävien näytteiden määrä on kuitenkin ollut jatkuvasti n. 20 %, eli kuituongelma ei ole poistunut rakennuskannasta. Osatuloksen julkistuksen jälkeen ohjetta korjattiin keväällä 2024. Herkemille kuitututkimusmenetelmille sen sijaan olisi tarvetta.
- Useaan kertaan viime vuosina uudistetulla Työterveyslaitoksen olosuhdearviolla ei kyetty erottamaan ongelmakohteita vertailukohteista. Merkittäväksi ongelmaksi olosuhdearvioinnissa osoittautui rakenteiden ilmavuotojen merkityksen arviointi ja siihen liittyvä ohjeistus. Olosuhdearvioinnille esitetään hankkeessa vaihtoehtoinen menetelmä, jossa arvio tehdään altistekohtaisesti.

## Liitteet

1. Poissonin jakauma ja keskiarvon laskenta
2. Tietokannan mallirakenteet

## Kirjallisuus

1. Valvira, *Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 8/2016*. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Valvira, 2016. Dnro 2731/06.10.01/2016.
2. *Elinympäristön tieto- ja analyysipalvelu Liiteri*. Suomen ympäristökeskus, SYKE, <https://liiteri.ymparisto.fi/#>.
3. L. Nummenmaa, *Tilastotieteen käsikirja*, ISBN 978-952-04-0138-2, Tammi 2021.
4. P. Mäkelä, P. Paavilainen, A. Andersson, *Rakennusluokitus 2018, Käyttäjän käsikirja*. Tilastokeskus, 2018.
5. Tilastokeskus, *Kuntien ja maakuntien 2022 välinen luokitusavain*, [https://www2.tilastokeskus.fi/fi/luokitukset/cormaps/kunta\\_1\\_20220101%23maakunta\\_1\\_20220101/](https://www2.tilastokeskus.fi/fi/luokitukset/cormaps/kunta_1_20220101%23maakunta_1_20220101/).
6. Tilastokeskus, *Kunnat 2022*, <https://www2.tilastokeskus.fi/fi/luokitukset/kunta/>.
7. M. Pitkäranta (toim.) *Rakennusten kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus*. Ympäristöopas 2016, Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2016.
8. K. Tähtinen, C. Vornanen, T. Alapieti, T. Raunima, I. Valovirta, P. Kero, H. Miettinen, M. Simpanen. J. Vinha, H. Salonen, *Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto*, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:57. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-023-3>.
9. J. Rentola, *Rakenteiden riskianalyysi ja vaurioitumisherkyys*, opinnäytetyö, Savonia ammattikorkeakoulu, 2024, <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024052917614>.
10. Asumisterveysasetus 2015, *Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015*. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
11. A.-M. Pessi, K. Jalkanen, *Laboratorio-opas 2018. Mikrobiologisten asumisterveystutkimuksien näytteenotto ja analyysimenetelmät*, Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy, 2018.
12. Ruokavirasto2021. Ruokaviraston vertailulaboratorion uutiskirje 4/2021, <https://uutiskirje.ruokavirasto.fi/archive/show/4828851>.
13. H. Rintala, P. Tegelberg, M. Hänninen, T. Meklin, *Indikaattorimikrobien merkitys viljelytulosten tulkinnessa - suoraviljelyn, laimennossarjaviljelyn ja qPCR-menetelmän vertailu*. Sisäilmastoseminaari 2023, SIY raportti 41.
14. A. Viljamaa, H. Leppänen, K. Jalkanen, A. Salmela, A. Hyvärinen, *Kosteusvaurioindikaattorimikrobien rooli mikrobikasvuston määrittämisessä rakennus-materiaalista - aineistokatsaus*. Työpäpaperi 53/2022, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Helsinki 2022.
15. RT 83-11009. *Alapohjarakenteita. Ohjeet*, lokakuu 2010, Rakennustietosäätiö RTS, 2010.
16. RT 82-11006. *Ulkoseinärakenteita. Ohjeet*, lokakuu 2010. Rakennustietosäätiö RTS 2010.
17. H. Salonen, S. Lappalainen, H. Riuttala, A. Tossavainen, P. Pasanen, K. Reijula, *Man-made vitreous fibers in office buildings in the Helsinki Area*. J. Occup. Environ. Hyg. 6:10, 624-631, 2009. <https://doi.org/10.1080/15459620903133667>.
18. T. Tuomi, K. Wallenius, S. Mahiout, S. Rautiala, S. Lappalainen, *Teolliset mineraalikuidut toimistotyypisissä työtiloissa*, Työterveyslaitos 2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:9789522619167>.
19. J. Kilpikari, T. Tuomi, H. Maula, *Laboratoriomittauksia mineraalikuitujen irtoamisesta sisäkatosta*. Sisäilmayhdistys raportti 37, Sisäilmastoseminaari 2019.
20. T. Schneider, K. Lundqvist, *Man-made mineral fibers in the indoor, non-industrial environment*. Build. Environ. 21:129–133 (1986). [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(86\)90021-1](https://doi.org/10.1016/0360-1323(86)90021-1).
21. M. Tuomainen, M. Björkroth, R. Kämppi, H. Mussalo-Rauhamaa, S.-P. Salo, J. Säntti, T. Tuomi, R. Voutilainen, O. Seppänen, *Ilmanvaihtojärjestelmän mineraalivillakuitujen terveysvaikutukset*. Raportti B-76, Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 2003.
22. O. Talvitie, *Teolliset mineraalikuidut—mittausmenetelmät ja palvelunäytetietokanta*, AMK lopputyö, Turun ammattikorkeakoulu, 2019. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201905027350>.
23. Työsuojeluhallinto, *Lasikuidut ja eristysvillat, Ehdotus HTP-arvoiksi*. <https://tyosuojelu.fi/tyoolot/kemialliset-tekijat/raja-arvot/perustelumuiiot>, 2007.
24. T. Schneider, *Synthetic vitreous fibers*, in *Indoor Air Quality Handbooks*, J.D. Spengler, J.M. Samet, J.F. McCarthy (eds.).NewYork:McGraw-Hill, 2000. pp. 39.1–39.29.
25. T. Schneider, O. Nielsen, P. Bredsdorff, P. Linde, *Dust in buildings with man-made mineral ceiling boards*, Scand. J. Work. Environ. Health 16:434–439 (1990). <https://doi.org/10.5271/sjweh.1763>.

26. ISO 16000-27. *Determination of settled fibrous dust on surfaces by SEM (direct method)*. Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2015.
27. World Health Organization (WHO). *Determination of Airborne Fibre Number Concentrations. A Recommended Method by Phase-Contrast Optical Microscopy (Membrane Filter Method)*. Geneva: WHO (1997), <https://iris.who.int/handle/10665/41904>.
28. Asumisterveysohje. *Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät*. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaia 2003:1.
29. Asumisterveysopas. *Asumisterveysohjeen soveltamisopas*. Ympäristö ja terveys -lehti, Pori 2008.
30. K. Kovanen, I. Heimonen, J. Laamanen, R. Riala, R. Harju, H. Tuovila, R. Kämppe, J. Sääntti, T. Tuomi, S.-P. Salo, R. Voutilainen, A. Tossavainen, *Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt–Altistuminen, mittaaminen ja tuotetestaus*, VTT tiedotteita 2360, Espoo 2006. <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedot-teet/2006/T2360.pdf>.
31. ISO 14966:2019. *Ambient air - Determination of numerical concentration of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method*, Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2019.
32. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, *Teollisten mineraalikulitujen määrä toimistotyypisissä rakennuksissa ei ole vähentynyt*, Sisäilmastoseminaari 2024, Sisäilmayhdistys, raportti 42.
33. ILAC-G8:09/2019. *Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity*. International Laboratory Accreditation Cooperation ILAC, 2019, <https://ilac.org/?download=122722>.
34. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, T. Vehviläinen, *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen päivityksen vaikutus mineraalikulitunäytteisiin*, artikkeli, Rakennusfysiikka 2023 -seminaari, Tampere (2023).
35. V. Koskinen, V. Lappalainen, T. Murtoniemi, S. Kajanen, M. Rantanen, *Miten kuituongelma ratkaistiin soveltamisohjeen päivityksellä?* Sisäilmastoseminaari 2024, Sisäilmayhdistys ry, raportti 42.
36. S. Lappalainen, K. Reijula, K. Tähtinen, J. Latvala, V. Hongisto, R. Holopainen, P. Kurttio, M. Lahtinen, S. Rautiala, T. Tuomi, A. Valtanen, *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen*, Työterveyslaitos 2017. <https://urn.fi/URN:ISBN:9789522617224>.
37. K. Tähtinen, S. Lappalainen, K. Karvala, J. Remes, H. Salonen, *Association between Four-Level Categorisation of Indoor Exposure and Perceived Indoor Air Quality*. Int. J. Environ. Res. Public Health 2018, 15(4), 679. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040679>.
38. P. Isokääntä, S. Rautiala, *Sisäilmastonselvitys ja olosuhdearviointi : Ohje työpaikkojen sisäilmastonselvityksiä ja olosuhdearviointeja tekeville*, Työterveyslaitos 2023, <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-037-9>.
39. RT 14-11197. *Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein, ohjekortti*, Rakennustietosäätiö RTS, 2015.
40. Rafnet 2020, *Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille, Virtaukset*, [Online] Rafnet 2020-oppimateriaalin teoriaosan osio V (Virtaukset), Terveet Tilat 2028 -ohjelma, Ympäristöministeriö. [https://tilatjaterveys.fi/documents/39510712/102937006/Rakennusfysiikan+oppimateriaali+insinöörinkoulutukseen\\_Virtaukset.pdf](https://tilatjaterveys.fi/documents/39510712/102937006/Rakennusfysiikan+oppimateriaali+insinöörinkoulutukseen_Virtaukset.pdf).
41. Energiatodistusasetus. *Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017*, Ympäristöministeriö 2017. Voimaan 1.1.2018.

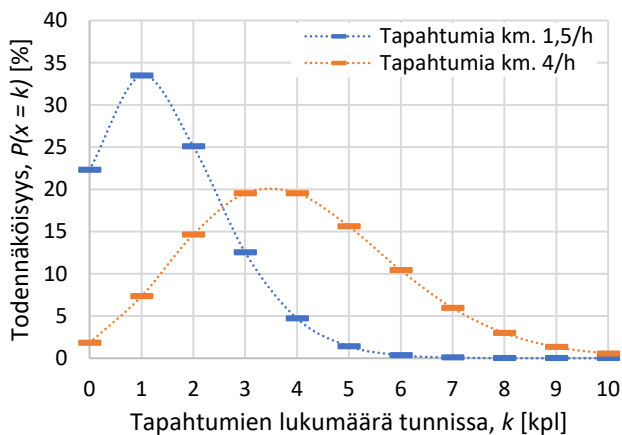
## Liite 1. Poissonin jakauma ja keskiarvojen laskenta

Teollisten mineraalikulitujen irtoamiset materiaalista ja laskeutumisasettumiset tietyille huonepinnalle ovat harvinaisia, satunnaisia ja toisistaan riippumattomia. Tilastolaskennallisessa käsittelyssä tällaista tapahtumaketjua kutsutaan Poisson-prosessiksi. Prosessi tuottaa todennäköisyysjakauman, joka kertoo todennäköisyydet näiden tapahtumien lukumäärälle tietyllä aikavälillä. Tätä jakaumaa kutsutaan Poissonin jakaumaksi (tai Poisson-jakaumaksi).

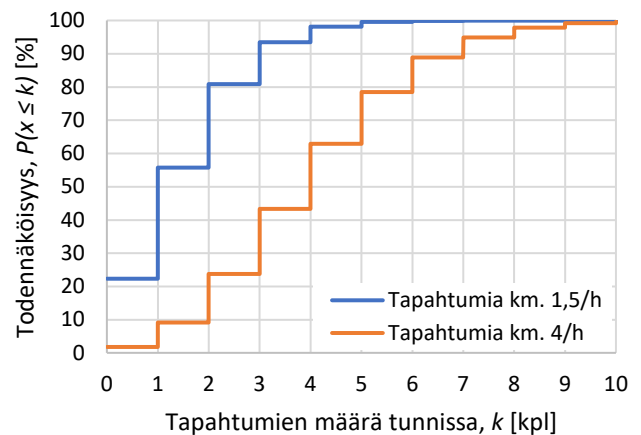
### Esimerkki Poisson-prosessista ja -jakaumasta

Arkisena esimerkkinä Poisson-prosessille voisivat olla kivijalkaliikkeit, joissa käy vain muutama asiakas päivittäin. Jos tiedetään, montako asiakasta liikkeessä käy keskimäärin tunnissa, Poissonin jakauma antaa todennäköisyydet sille, että tunnin aikana käy  $k = 0, 1, 2, \dots$  asiakasta, merkitään  $P(X = k)$ . Kuvassa L1.1 on esitetty Poissonin jakaumat, jos asiakaskäyntejä (tapahtumia) on keskimäärin 1,5 kpl tai 4 kpl tunnissa. Koska todellisten tapahtumien määrä  $k$  saa vain kokonaislukuarvoja (todellisuudessa ei ole puolikasta käyntiä) jakauma on epäjatkua. Kuvaajasta voidaan lukea esimerkiksi, että todennäköisyys sille, että tapahtumia on tunnin aikana tasan 2, on 25 %, jos asiakkaita käy keskimäärin 1,5 tunnissa ja 15 %, jos käyntejä on keskimäärin 4 tunnissa. Vastaavat todennäköisyydet tasan 4 tapahtumalle ovat vastaavasti 5 % ja 25 %.

Kuvan L1.2 kertymäfunktio kertoo puolestaan todennäköisyydet sille, että tapahtumia on enintään  $k$  kappaletta tunnin aikana, merkitään  $P(X \leq k)$ . Vähentämällä 100 %:sta kertymäfunktion arvo, saadaan todennäköisyys sille, että tapahtumia on tunnin aikana enemmän kuin  $k$  kpl, eli  $P(X > k) = 100\% - P(X \leq k)$ . Esimerkin tapauksessa on aika selvää, että jos liikkeen viereen avataan toinen samanlainen liike, ei liikkeissä yhteensä käyvien asiakkaitten lukumäärä kaksinkertaistu, mikä olisi edellytys sille, että kahden liikkeen kävijämäärien keskiarvo pysyisi samana kuin alkuperäisen liikkeen. Sama pätee myös yksittäisten kuitunäytteiden keskiarvolle.



**Kuva L1.1** Asiakaskäyntiesimerkki Poissonin jakaumasta, kun tapahtumia on keskimäärin 1,5 tai 4 tunnissa. Jakauma on määritelty vain tapahtumien määrän  $k$  kokonaislukuarvoilla, katkoviiva on esitetty hahmottamisen helpottamiseksi.



**Kuva L1.2** Kertymäfunktio kertoo todennäköisyyden sille, että tapahtumia on enintään  $k$  kpl tunnissa, kun niitä tapahtuu keskimäärin 1,5 tai 4 tunnissa. Kertymäfunktio on epäjatkua kokonaislukuilla  $k$  ja näiden välissä vaakasuora

### Poissonin jakauman tiheysfunktio

#### Tiheysfunktio

Diskreetin satunnaismuuttujan  $X$  sanotaan noudattavan Poissonin jakaumaa parametrillä  $\lambda > 0$ , jos sen tiheysfunktio (pistetodennäköisyysfunktio) on muotoa:

$$f(x) = P(X = k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}, \lambda > 0, k = 0, 1, 2, \dots$$

Tällöin merkitään  $X \sim \text{Poisson}(\lambda)$ . Jakauman odotusarvolle  $E(X)$  ja varianssille  $\text{Var}(X)$  pätee:

$$E(X) = \text{Var}(X) = \lambda.$$

### Poisson-jakautuneiden muuttujien summa

Poissonin jakaumaa parametrein  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  noudattavien satunnaismuuttujien  $X_1, X_2, \dots, X_n$  summa  $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$  noudattaa Poissonin jakaumaa parametrinaan  $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$  ts,  $Y \sim \text{Poisson}(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)$ . Laskettaessa yksittäisten mineraalikuitunäytteiden tuloksia yhteen, summajakauman parametrina on  $3\lambda$ .

## Todennäköisyydet eri kuitutuloksille

Tapahtumien lukumäärien laskemiseksi tiheysfunktion avulla tarvitaan arvo parametrille  $\lambda$ . Tässä arvona käytetään lähteessä [10] esitetyn, vuosina 2014–2021 kerätyn näyteaineiston ( $L > 20 \mu\text{m}$ ) keskiarvoa. Keskiarvoa laskehtaessa aineistosta on poistettu selkeästi poikkeavan suuret tulokset ( $\geq 10 \text{ k/näyte}$  eli  $\geq 0,71 \text{ k/cm}^2$ ), jolloin 3421 keskiarvoksi saatiin 1,557 k/näyte ( $0,11 \text{ k/cm}^2$ ) ja jakauma (Kuva 3) vastasi kohtuullisesti Poissonin jakaumaa.

### Todennäköisyys tasan $k$ kuidulle yhdessä tai useammassa näytteessä

Tiheysfunktion avulla voidaan laskea todennäköisyydet sille, että yhdelle näytteelle saadaan tasan  $k$  kuitua (Taulukko L1.1)

**Taulukko L1.1** Poissonin jakauman tiheysfunktion antamat todennäköisyydet tasan  $k$  kuidulle yhdellä näytteellä, kun keskimäärin 14 vrk laskeumajaksolla kuituja laskeutuu  $14 \text{ cm}^2$  näytealalla 1,557 kpl, ts.  $\lambda = 1,557$ .

kuitujen lkm, $k$	$P(X = N) = P(N, \lambda)$	kuitujen lkm, $k$	$P(X = N) = P(N, \lambda)$
0	21,1 %	5	1,6 %
1	32,8 %	6	0,42 %
2	25,6 %	7	0,09 %
3	13,3 %	8	0,02 %
4	5,2 %	9	0,003 %

Esimerkiksi todennäköisyys, että näytteelle saadaan tasan 3 kuitua

$$P(X = 3) = P(3; 1,557) = \frac{e^{-1,557} \cdot 1,557^3}{3!} \approx 0,1326 = 13,26 \%$$

Hyödyntäen tietoa Poisson jakautuneiden satunnaismuuttujien summasta, voidaan vastaavasti laskea todennäköisyydet sille, että esim. 3 näytteelle saadaan yhteensä tasan  $k$  kuitua (Taulukko L1.2).

**Taulukko L1.2** Poissonin jakauman tiheysfunktion antamat todennäköisyydet yhteensä tasan  $k$  kuidulle 3 näytteellä, kun keskimäärin 14 vrk laskeumajaksolla kuituja laskeutuu  $14 \text{ cm}^2$  näytealalla 1,557 kpl, ts.  $\lambda = 1,557$ .

kuitujen lkm, $k$	$P(X = N) = P(N, 3\lambda)$	kuitujen lkm, $k$	$P(X = N) = P(N, 3\lambda)$
0	0,9 %	5	17,3 %
1	4,4 %	6	13,5 %
2	10,2 %	7	9,0 %
3	15,9 %	8	5,3 %
4	18,5 %	9	2,7 %

Esimerkiksi todennäköisyys, että 3 näytteelle saadaan yhteensä tasan 9 kuitua:

$$P(X = 9) = P(9; 4,671) = \frac{e^{-4,671} \cdot 4,671^9}{9!} \approx 0,0273 = 2,73 \%$$

### Todennäköisyys alle $k$ kuidulle yhdellä tai useammalla näytteellä

Todennäköisyys alle  $k$  kuidulle yhdellä näytteellä saadaan kertymäfunktion avulla ts. käytännössä summana taulukosta L1.1. Esimerkiksi todennäköisyys sille, että yhdellä näytteellä on alle 3 kuitua, saadaan laskemalla yhteen pistetodennäköisyydet 0, 1 ja 2 kuidulle eli  $P(X < 3) = P(0, \lambda) + P(1, \lambda) + P(2, \lambda) = 21,08 \% + 32,82 \% + 25,56 \% \approx 79,4 \%$ .

Vastaavasti taulukosta L1.2 saadaan laskettua todennäköisyys sille, että 3 näytteessä on alle 9 kuitua:  $P(X < 9) = P(0, 3\lambda) + P(1, 3\lambda) + \dots + P(8, 3\lambda) \approx 95,1 \%$ .

### Todennäköisyys vähintään $k$ kuidulle yhdellä tai useammalla näytteellä

Todennäköisyys sille, että yhdellä näytteellä on vähintään  $k$  kuitua, saadaan edellisen kohdan komplementtina ts.  $P(X \geq k) = 1 - P(X < k)$ , koska todennäköisyys saada joko alle  $k$  kuitua tai vähintään  $k$  kuitua on tasan 1 eli 100 %.

Ilman mittausepävarmuuden huomioimista 3 kuitua yhdellä näytteellä ( $0,21 \text{ k/cm}^2$ ) ylittää toimenpiderajan numeerisen arvon. Todennäköisyys tälle on siis  $P(X \geq 3) = 1 - P(X < 3) = 100 \% - 79,4 \% = 20,6 \%$ . Vastaavasti voidaan laskea todennäköisyydet sille, että kolmella näytteellä on vähintään  $k$  kuitua (Taulukko L1.3).

**Taulukko L1.3** Poissonin jakauman perustuvat todennäköisyydet sille, että kolmessa näytteessä on joko alle  $k$  kuitua  $P(X < k)$  tai vähintään  $k$  kuitua  $P(X \geq k)$ .

kuituja, $k$	$P(X < k)$ [%]	$P(X \geq k)$ [%]	kuituja, $k$	$P(X < k)$ [%]	$P(X \geq k)$ [%]
0	0	100	9	95,1	4,9
1	0,93	99,07	10	97,9	2,1
2	5,31	94,69	11	99,1	0,9
3	15,5	84,5	12	99,7	0,3
4	31,4	68,6	13	99,89	0,11
5	50,0	50,0	14	99,96	0,04
6	67,3	32,7	15	99,99	0,01
7	80,9	19,1	16	99,997	0,003
8	89,9	10,1			

Jotta kolmen näytteen keskiarvo ylittäisi toimenpiderajan, pitäisi kolmella näytteellä olla yhteensä vähintään 9 kuitua ( $=9 \text{ k}/(3 \times 14 \text{ cm}^2) = 0,21 \text{ k/cm}^2$ ). Tämän todennäköisyys on 4,9 %, jos yksittäisiä kuituja näytteissä on keskimäärin 1,557 kpl (vrt. edellä toimenpiderajan ylittymisen todennäköisyys yhdellä näytteellä, 20,5 %). Mikäli parametrinä  $\lambda$  käytettäisiin arvoa 2 k/näyte ( $0,14 \text{ k/cm}^2$ ) todennäköisyydet olisivat yhdelle näytteelle 32 % ja kolmelle näytteelle 15 %.

## Keskiarvon luottamusväli

ISO 16000-27 -standardin [26] mukaan usean näytteen keskiarvon käyttö soveltuu vain vertailuun kahden sellaisen pinnan välillä, joilla kummallakin kuitulaskeuma on homogeeninen (vaatimus ei täyty soveltamisohjeen mukaisesti otettaville mineraalikuitujen geeliteippinäytteille). Keskiarvona saadun tuloksen luottamusvälin laskentaan voidaan käyttää esimerkiksi mukaisesti Poissonin ja  $\chi^2$ -jakaumien kertymäfunktioiden välistä yhteyttä:

$$F_{\text{Poisson}}(k, \lambda) = F_{\chi^2}(2\lambda, 2(k+1)) \text{ ja } P(X = k) = F_{\chi^2}(2\lambda, 2(k+1)) - F_{\chi^2}(2\lambda, 2k).$$

Tällöin luottamusvälin alaraja  $\lambda_u = D/2$  ja yläraja  $\lambda_o = E/2$ , missä  $\chi^2$ -jakauman taulukoista luettava

$D$  on  $\chi^2$ -jakauman kriittinen arvo vapausasteella  $2k$  merkitsevyystasolla  $1-\alpha/2$  ja

$E$  on  $\chi^2$ -jakauman kriittinen arvo vapausasteella  $2(k+1)$  merkitsevyystasolla  $\alpha/2$ .

Merkitsevyystasolla 95 % käytetään arvoa  $\alpha = 0,05$ . Luottamusväli 3 näytteen yhteiskuitumäärille on esitetty taulukossa L1.4.

**Taulukko L1.4** Luottamusvälit merkitsevyystasolla 95 % yhteiskuitumäärille 3 näytteelle. Tulokset on esitetty sekä näyte- että pinta-alayksikköä kohden laskettuina.

kuitua / 3 näytettä	keskiarvo k/näyte	keskiarvo k/cm <sup>2</sup>	D (df=2k)	E df=2(k+1)	Alaraja, λ <sub>u</sub> [kpl]	yläraja λ <sub>o</sub> [kpl]	Alaraja, λ <sub>u</sub> [k/cm <sup>2</sup> ]	yläraja λ <sub>o</sub> [kpl/cm <sup>2</sup> ]
0	0,00	0,00	0,000	7,378	0	3,689	0,00	0,09
1	0,33	0,02	0,051	11,143	0,026	5,572	0,00	0,13
2	0,67	0,05	0,484	14,449	0,242	7,225	0,01	0,17
3	1,00	0,07	1,237	17,535	0,619	8,768	0,01	0,21
4	1,33	0,10	2,180	20,483	1,090	10,242	0,03	0,24
5	1,67	0,12	3,247	23,337	1,624	11,669	0,04	0,28
6	2,00	0,14	4,404	26,119	2,202	13,060	0,05	0,31
7	2,33	0,17	5,629	28,845	2,815	14,423	0,07	0,34
8	2,67	0,19	6,908	31,526	3,454	15,763	0,08	0,38
9	3,00	0,21	8,231	34,170	4,116	17,085	0,10	0,41
10	3,33	0,24	9,591	36,781	4,796	18,391	0,11	0,44
11	3,67	0,26	10,982	39,364	5,491	19,682	0,13	0,47
12	4,00	0,29	12,401	41,923	6,201	20,962	0,15	0,50
13	4,33	0,31	13,844	44,461	6,922	22,231	0,16	0,53
14	4,67	0,33	15,308	46,979	7,654	23,490	0,18	0,56
15	5,00	0,36	16,791	49,480	8,396	24,740	0,20	0,59
16	5,33	0,38	18,291	51,966	9,146	25,983	0,22	0,62

Taulukosta havaitaan, että toimenpiderajan ylittäminen kolmen näytteen keskiarvona ja mittausepävarmuus soveltamisohjeen mukaisesti huomioituna (vähennettynä) edellyttää, että näytteissä havaitaan yhteensä vähintään 16 kuitua. Tämän todennäköisyys on taulukon L1.3 mukaan 0,003 %.

Huomioitavaa on, että tässä luottamusvälien laskennassa ei huomioida mitenkään kuitujen laskennassa tapahtuvia virheitä ts. laboratorioden määrittämiä sisäisiä tarkkuuksia. Nämä ovat olleet pääasiassa välillä 25–30 %.



## Liite 2. Tietokannan mallirakenteet

Tietokannassa käytetyt mallirakenteet on esitetty rakennusosittain seuraavissa taulukoissa, joissa rakenteet on lueltu sisältä ulospäin.

**Taulukko L2.1** Perustusten luokittelu Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 121 Perustukset	Lisenssi: -	
Organisaatio: Sirate Group Oy	URL: -	
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältä ulos)	Huomautukset
<b>PE10</b>	<b>Harkko- ja elementtiperustukset</b>	
PE101	lämmöneristetty sokkelelementti	
<b>PE20</b>	<b>Paikallavaletut betoniperustukset</b>	
PE201	perusmuuriperustus (ml. valesokkeli)	
PE202	laattaperustus	
<b>PE30</b>	<b>Luonnonkivistä ladottu perusmuuri</b>	

Ala- ja välipohjarakenteet muodostuvat sisäpintarakenteesta (taulukko L2.9), mallirakenteesta (L2.2 ja L2.3) ja pintamateriaalista (lattiapäällyste).

**Taulukko L2.2** Alapohjien rakennetyypit Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 122 Alapohjat	Lisenssi: -	
Organisaatio: Sirate Group Oy	URL: -	
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältä ulos)	Huomautukset
<b>AP10</b>	<b>Maanvaraiset betonialapohjat</b>	
AP101	betonilaatta-lämmöneriste (LE)	
AP102	betonilaatta, eristämätön alapuolelta	
AP109	Muu betonialapohja	
<b>AP11</b>	<b>Tuuletetut ontelolaatta-alapohjat</b>	
AP111	ontelolaatta-lämmöneriste-ryömintätila	
AP119	muu tuuletettu ontelolaatta-alapohja	
<b>AP12</b>	<b>Tuuletetut betonialapohjat</b>	
AP121	liittolevy+betonilaatta-lämmöneriste-ryömintätila	
AP122	betoni-/kevytbetonielementti-ryömintätila	
AP123	ontelollinen betonilaatasto (ala- tai kaksoislaattapalkisto)	
AP129	muu tuuletettu betonialapohja	
<b>AP50</b>	<b>Tuuletetut puupalkistoalapohjat</b>	
AP501	levy-/lautalattia-lämmöneriste-puupalkisto-ryömintätila	
AP503	pintabetoni-lämmöneriste-puupalkisto-ryömintätila	
AP509	muu tuuletettu puupalkistoalapohja	

**Taulukko L2.3** Välipohjien rakennetyypit Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 1235 Välipohjat	Lisenssi: -	
Organisaatio: Sirate Group Oy	URL: -	
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältä ulos)	Huomautukset
<b>VP10</b>	<b>Betonivälipohjat</b>	
VP101	betonilaatta	
VP102	liittolaatta	
VP103	alalaattapalkisto+täyte-lautalattia	
VP104	alalaattapalkisto+täyte-ylälaatta (muottilaudat)	
VP105	kaksoislaattapalkisto, muottilaudat+täytteet	
VP109	muu betonivälipohja	
<b>VP11</b>	<b>Ontelolaattavälipohjat</b>	
VP111	ontelolaatasto	
VP112	kotelolaatta+eriste (Nilcon)	
VP119	kuu ontelolaattavälipohja	
<b>VP20</b>	<b>Muuratut välipohjat</b>	
VP201	tiilimuurattu välipohja, täytteet, puulattia	
VP209	muu tiilimuurattu välipohja	
<b>VP50</b>	<b>Puuvälipohjat</b>	
VP501	levy-/lautalattia-puupalkisto+eriste	
VP502	pintabetoni-levy-puupalkisto+eriste	
VP509	muu puuvälipohja	

**Taulukko L2.4** Yläpohjien rakennetyypit Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 1236 Yläpohjat		Lisenssi: -
Organisaatio: Sirate Group Oy		URL: -
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältää ulos)	Huomautukset
<b>YP10</b>	<b>Betonirakenteiset yläpohjat</b>	
YP101	ontelolaattayläpohjat	
YP102	ontelollinen betonilaatasto (täyttö)	
YP103	betonilaatta-lämmöneriste	
YP104	käännetty katto/pihakansi	
<b>YP30</b>	<b>Teräsrunkoyläpohjat</b>	
<b>YP50</b>	<b>Puurunkoiset yläpohjat</b>	

Ulkoseinärakenteet muodostuvat sisäpinnasta (taulukko L2.9) mallirakenteesta (L2.5) ja julkisivuverhouksesta (L2.8).

**Taulukko L2.5** Ulkoseinien rakennetyypit Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 1241 Ulkoseinät		Lisenssi: -
Organisaatio: Sirate Group Oy		URL: -
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältää ulos)	Huomautukset
<b>US10</b>	<b>Betonirakenteiset ulkoseinät</b>	
US101	betoni-lämmöneriste (LE)-tuulensuoja (TS)-tuuletusväli (TV)-	
US102	betoni-LE+puurunko-TS-TV-	
US103	betoni-LE-betoni	
US104	betoni-LE-	
US109	Muu betonirakenteinen ulkoseinä	
<b>US20</b>	<b>Tiilirakenteiset ulkoseinät</b>	
US201	massiivitiiliseinä	
US202	tiili-LE-TS-TV-	esim. tuulettuva tiili-villa-tiili
US203	tiili-LE-	esim. tuulettumaton tiili-villa-tiili
US204	tiili-kevytbetoni-	
US209	muu tiilirunkoinen seinä	
<b>US30</b>	<b>Teräsrakenteiset ulkoseinät</b>	
US301	sisäkasetti-LE-Teräspoimulevy	
US302	höyrynsulku-teräsranka+LE-TS-TV-	
US309	muu teräsrakenteinen ulkoseinä	
<b>US40</b>	<b>Kevytbetoni- ja harkkoulkoseinät</b>	
US401	kevytbetoni/-saraharkkoseinä	
US402	kevytbetoni-LE-TS-TV-	
US403	harkko-LE-	
US405	lämpökivi (eristetty betoniharkko)	
US409	muu kevytbetoni/-saraharkkoseinä	
<b>US50</b>	<b>Puurakenteiset ulkoseinät</b>	
US501	Massiivipuuseinä (hirsi)	
US502	HS-puurunko+LE-TS+TV-	nykyaikainen tuulettuva puurunkoseinä
US503	HS-puurunko+LE-	tuulettumaton puurunkoseinä
US504	puurunko+LE-TS+TV-	tuulettuva
US505	puurunko+LE-	tuulettumaton
US509	Muu puurunkoinen seinä	
<b>US80</b>	<b>Maanvastaiset ulkoseinät</b>	
US801	betoni-VE-LE-soratäyttö	
US802	harkkoseinä-VE-LE-soratäyttö	
US803	betoniseinä-VE-soratäyttö	
US804	VE-betoniseinä-soratäyttö	
US809	muu maanvastainen ulkoseinä	

**Taulukko L2.6** Ikkunarakenteiden luokittelu Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 1242 Ikkunat		Lisenssi: -
Organisaatio: Sirate Group Oy		URL: -
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus	Huomautukset
<b>US90</b>	<b>Ikkunat</b>	
US901	ikkunarive/tilkevälieriste	
US902	ikkunan umpiosa	
US903	ikkunakarmi	

**Taulukko L2.7** Väliseinien rakennetyypit Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: 1311 Väliseinät		Lisenssi: -
Organisaatio: Sirate Group Oy		URL: -
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältää ulos)	Huomautukset
<b>VS10</b>	<b>Betonirunkoiset väliseinät</b>	
<b>VS20</b>	<b>Tiilirunkoiset väliseinät</b>	
VS201	eristämätön tiiliväliseinä	
VS202	eristetty tiiliväliseinä	
<b>VS30</b>	<b>Teräsrunkoiset väliseinät</b>	
VS301	eristämätön teräsrunkoväliseinä	
VS302	eristetty teräsrunkoväliseinä	
<b>VS40</b>	<b>Harkkuväliseinät</b>	
<b>VS50</b>	<b>Puurunkoiset väliseinät</b>	
VS501	hirsirunkoiset väliseinät	
VS502	eristämätön puurunkoväliseinä	
VS503	eristetty puurunkoväliseinä	

**Taulukko L2.8** Julkisivuverhoukset Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: Julkisivuverhoukset		Lisenssi: -
Organisaatio: Sirate Group Oy		URL: -
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältää ulos)	Huomautukset
JSV1	Betoni	
JSV2	tiili	
JSV3	pelti	
JSV4	kivi	
JSV5	puu (lauta, paneeli, yms)	
JSV6	lasi	
JSV7	lämpörappaus	
JSV8	JS-levy	
JSV9	metallikasetti	
JSV10	kevytbetoni	
JSV11	muu	

**Taulukko L2.9** Sisäpintarakenteet Rakennusterveystietokannassa.

Koodisto: Sisäpintarakenteet		Lisenssi: -
Organisaatio: Sirate Group Oy		URL: -
Koodi	Rakenteen nimi/kuvaus (sisältää ulos)	Huomautukset
<b>SPR</b>	<b>Seinien sisäpintarakenteet</b>	
SPR1	levy	
SPR2	levy-lämmöneriste	
SPR3	tiili-lämmöneriste	rivinteeraus
SPR4	tiili-ilmaväli	
SPR5	puu (lauta, paneeli, yms)	
SPR6	betoni-lämmöneriste	
SPR7	tiili	
<b>APR</b>	<b>Alapohjien sisäpintarakenteet</b>	
APR1	pintalaatta-lämmöneriste	
APR2	puukorokelattia-lämmöneriste	
<b>VPR</b>	<b>Välipohjien sisäpintarakenteet</b>	yläpuoliset rakenteet
VPR1	pintalaatta-eristys	
VPR2	puukorokelattia-eristys	



Rakennusterveystietokanta-hankkeessa kerätty ainutlaatuinen, julkisten rakennusten toteutuneisiin kuntotutkimuksiin perustuva ja tarkasti luokiteltu tietoaineisto analysoitiin tilastollisin menetelmin. Keinoälyä hyödyntäen kerättiin tietoa 1304 tutkimuksesta, joista laajoja kuntotutkimuksia oli 420.

Sisäilmaongelma- ja vertailukohteiden jako oli onnistunut: tilastollisesti merkitseviä eroja todettiin sekä aistinvaraisesti havaittavissa vaurioissa että mikrobinäytteiden tulosjakaumissa. Nyky-ohjeistuksen mukaisilla olosuhdearvioilla kohteita ei kuitenkaan kyetty erottelamaan toisistaan. Viranomaisohjeistuksissa todettiin merkittäviä puutteita.

Hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää mm. Terveystietokantajärjestelmän uudistuksessa, jolloin niillä on vaikutusta kaikkiin sisäilman laatuun liittyviin selvityksiin ja niiden tulosten tulkintojen yhdenmukaistamiseen.

**Sirate Group Oy**

Tampereentie 495  
33880 Lempäälä

[www.sirategroup.fi](http://www.sirategroup.fi)

ISBN 978-952-94-9921-2 (PDF)